

Oriel Tiago Kölln
Organizador

**Sistemas
para produção
agropecuária
sustentável
no norte pioneiro
do Paraná**



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE DO PARANÁ
ADMINISTRAÇÃO CENTRAL

Me. Fátima Aparecida da Cruz Padoan – Reitora
Dr. Fabiano Gonçalves Costa – Vice-Reitor
Dra. Vanderléia da Silva Oliveira – Pró-Reitora de Pesquisa e Pós-Graduação
Dr. Thiago Alves Valente – Diretor Geral da Editora UENP

EDITORA UENP
CONSELHO EDITORIAL

Conselho Pleno UENP

Dr. Ilton Garcia da Costa
Dr. Luiz Fabiano Zanatta
Dr. Marcio Luiz Carreri
Dra. Marilúcia dos Santos Domingos Striquer
Dra. Teresinha Esteves da Silveira Reis

Comissão Científico-Editorial

Dr. Jackson Kawakami (UNICENTRO)
Dr. Renan Caldas Umburanas (UNICENTRO)
Dr. Luiz Fabiano Zanatta (UENP)

EQUIPE EDITORIAL

Copidesque, revisão e normatização do texto

Equipe Executiva Editora UENP

Dr. Thiago Alves Valente – Diretor Geral
Dra. Anney Tojeiro Giordani – Diretora de Produção
Dra. Diná Tereza de Brito – Revisora de Língua Portuguesa
Me. Priscila Aparecida Borges Ferreira Pires – Assistente Editorial

Tradução

Coordenadoria de Relações Internacionais (CRI)

Projeto Gráfico, Diagramação e Capa

Editora CJA LTDA

Imagem da capa

William Morris, *Branch* (1872) / Rawpixel

Oriel Tiago Kölln
Organizador

**Sistemas
para produção
agropecuária
sustentável
no norte pioneiro
do Paraná**

Ficha catalográfica elaborada por Juliana Jacob de Andrade.
Bibliotecária da Universidade Estadual do Norte do Paraná – UENP –
Campus Cornélio Procópio – PR.

S623 Sistemas para produção agropecuária sustentável no norte pioneiro
do Paraná./ Kölln, Oriel Tiago (Organizador) - Cornélio Procópio:
Editora UENP, 2023.

E-book disponível em: <https://uenp.edu.br/editora>
376 f. il. cor.
ISBN: 978-65-87941-25-7

1. Sistemas para produção. 2. Agropecuária sustentável. I. Título

CDD 338

SUMÁRIO

9

APRESENTAÇÃO

13

PARTE I

PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA SUSTENTÁVEL

Part I: Sustainable agricultural production

15

O SOLO: A BASE PARA A PRODUÇÃO VEGETAL

Soil: the basis for plant production

Oriel Tiago Kölln

Sérgio Ricardo Silva

Alexandre Paludetto

61

GRÃO-DE-BICO PARA O CULTIVO DE INVERNO PARA A REGIÃO DO NORTE DO PARANÁ

Chickpeas for winter cultivation in the northern region of Paraná

Guilherme Henrique Teixeira Alves

Silvestre Bellettini

Oriel Tiago Kölln

87

PERCEPÇÕES DE PRODUTORES ORGÂNICOS NA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS

Perceptions of organic producers in the implementation of agroforestry systems

Flávio Guilherme dos Santos

Victor Ângelo Primo Bernardes

Rodrigo de Souza Poletto

105

RIZOBACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO DE PLANTAS

Plant growth-promoting rhizobacteria

Leopoldo Sussumu Matsumoto

Michaela Fernandes Sena

Paula Fernanda de Azevedo

139

PERCEPÇÕES SUSTENTÁVEIS EM SISTEMAS PRODUTIVOS ANIMAL

Sustainable perceptions in animal production systems

Marcos Augusto Alves da Silva
Petrônio Pinheiro Porto

167

PLANTAS MEDICINAIS COMO ESTRATÉGIA SUSTENTÁVEL PARA O CONTROLE SANITÁRIO ANIMAL

Medicinal plants as a sustainable strategy for animal health control

Rafael Antonio Sbardella
Gabriel Simili de Oliveira
Erika Cosendey Toledo de Mello Peixoto

193

**PARTE II
SANIDADE VEGETAL**

193

PART II: PLANT HEALTH

195

TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO PARA MILHO E SOJA

Application technology for corn and soybeans

Marco Antonio Gandolfo
Rone Batista de Oliveira

217

ENTOMOFAUNA NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR

Entomofauna in the sugarcane crop

Jael Simões Santos Rando
Rafael Alvim Gonzaga de Oliveira

245

ESTUDOS COM NEMATÓIDES ENTOMOPATOGÊNICOS NO ESTADO DO PARANÁ, BRASIL

Studies with entomopathogenic nematodes in the State of Paraná, Brazil

Viviane Sandra Alves
Bruna Aparecida Guide
Gabriela de Souza Doneze

269

PARTE III

INOVAÇÕES EM SANIDADE VEGETAL

269

PART III: INNOVATIONS IN PLANT HEALTH

271

**METABÓLITOS SECUNDÁRIOS MICROBIANOS NO
CONTROLE DE FITOPATÓGENOS**

Microbial secondary metabolites in the control of phytopathogens

Paula Fernanda de Azevedo

Giovanna Letícia Poltronieri da Silva

Leopoldo Sussumu Matsumoto

303

BIOFUNGICIDAS

Biofungicides

Nixau Wauter Macedo

Talita Rafaela Lima

Mayra Costa da Cruz Gallo de Carvalho

331

FUNGICIDAS DE RNA

ARN fungicide

Mayra Costa da Cruz Gallo de Carvalho

Valéria Lopes-Caitar

Roberta de Paula Saturnino Costa

369

SOBRE OS AUTORES

APRESENTAÇÃO

A obra intitulada **Sistemas para produção agropecuária sustentável no norte pioneiro do Paraná** traz importantes informações sobre a sustentabilidade da produção agropecuária. Há tempos que a agropecuária necessitou voltar sua atenção para a forma pela qual produz alimentos, vestuários, energia, entre outros itens. A agropecuária deve se atentar ao modo como esses produtos são obtidos dando preferência ao processo que gere menor impacto ambiental. Houaiss (2022) define a sustentabilidade¹ como: “característica ou condição do que é sustentável, condição do que é planejado com base na utilização de recursos e na implantação de atividades industriais, de forma a não esgotar ou degradar os recursos naturais”, sendo um tema atual e de grande importância no contexto mundial. O Brasil, país com grande vocação agropecuária e possuidor de grande extensão territorial, tem importante papel na implementação e aumento da adoção de práticas sustentáveis na produção agropecuária.

O Estado do Paraná, por sua vez, se destaca nacionalmente como importante ator da produção agropecuária, a qual sofre grande impacto das condições edafoclimáticas do local de produção. Dessa forma, estudos regionais da produção agropecuária são importantes para que as medidas propostas tenham êxito em sua implementação e sejam efetivamente adotadas pelos agropecuaristas.

Esta obra está dividida em três partes: *Produção agropecuária sustentável, Sanidade vegetal e Inovações em sanidade vegetal*. A primeira parte traz informações básicas que subsidiam o entendimento das demais partes. Nessa primeira

1 Sustentabilidade. In.: Houaiss, Grande Dicionário Houaiss. Rio de Janeiro: Objetiva, 2022. Disponível em: <https://houaiss.uol.com.br/corporativo/apps/uol_www/v6-0/html/index.php#1>. Acesso em: 6 jul. 2022.

parte, há seis capítulos que oferecem informações sobre solo, bactérias promotoras de crescimento vegetal, manejo da cultura de grão-de-bico, implantação de sistemas agroflorestais, utilização de plantas medicinais em animais e produção sustentável de ruminantes e não ruminantes. Na segunda parte, a obra possui três capítulos que abordam o tema proteção de plantas: tecnologia de aplicação de produtos, entomofauna em áreas de cana-de-açúcar e nematoides para manejo de insetos. A terceira e última parte discorre sobre outros três capítulos ligados à fitopatologia, trazendo assuntos inovadores: metabólitos microbianos, produtos biológicos e produtos de RNA para utilização no manejo de doença de plantas.

A obra será de grande valia para técnicos, estudantes e agropecuaristas que desejem aprofundar seus conhecimentos nesse tema tão caro para os dias atuais: produção agropecuária sustentável. A todos os leitores, meus votos de profícua e agradável leitura!

Dr. Jackson Kawakami

Eng^o Agrônomo, Professor Grandes Culturas, PhD, Deagro
Universidade Estadual do Centro-Oeste, Unicentro
Guarapuava, PR

PRESENTATION

The work entitled **Systems for sustainable agricultural production in the pioneer North of Paraná** provides important information on the sustainability of agricultural production. Agriculture has had a long necessity to turn its attention to how food, clothes, energy, among other items are obtained, giving preference to the process that generates less environmental impact. Houaiss (2022) defines sustainability as: “characteristic or condition of what is sustainable, condition of what is planned based on the use of resources and the implementation of industrial activities, so as not to deplete or degrade natural resources”, and it is a current subject, with great importance in the world context. Brazil, a country with a great agricultural vocation and possessing a large territorial extension, plays an important role in the implementation and increase in the adoption of sustainable practices in agricultural production.

The state of Paraná stands out nationally as important in agricultural production and it suffers a great impact from the edaphoclimatic conditions of the place of production. Therefore, regional studies of agricultural production are important, thus, the proposed measures could be successfully implemented and effectively adopted by agriculturalists.

It is divided into three parts: *Sustainable agricultural production*, *Plant health* and *Innovations in plant health*. The first part brings basic information that subsidizes the understanding of the other parts. In this first part, there are six chapters that provide information on soil, plant growth-promoting bacteria, chickpea crop management, implementation of agroforestry systems, use of medicinal plants in animals and sustainable production of ruminants and non-ruminants. In the second part, there are three chapters that address the issue

of plant protection: product application technology, entomofauna in sugarcane areas and nematodes for insect management. The third and final part discusses three other chapters related to phytopathology, bringing innovative topics: microbial metabolites, biological products and ARN products for use in the management of plant diseases.

Reading it will be the great value to technicians, students and agriculturalists who wish to deepen their knowledge of sustainable agricultural production that are very important in the present day. To all readers, my best wishes for a fruitful and pleasant reading!

Dr. Jackson Kawakami
Agronomist, Professor, Phd
Department of Agronomy, Deagro
State University of the Midwest, Unicentro

PARTE I
PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA
SUSTENTÁVEL
Part I: Sustainable agricultural production

O SOLO: A BASE PARA A PRODUÇÃO VEGETAL

Soil: the basis for plant production

Oriel Tiago Kölln

Sérgio Ricardo Silva

Alexandre Paludetto

Considerações iniciais

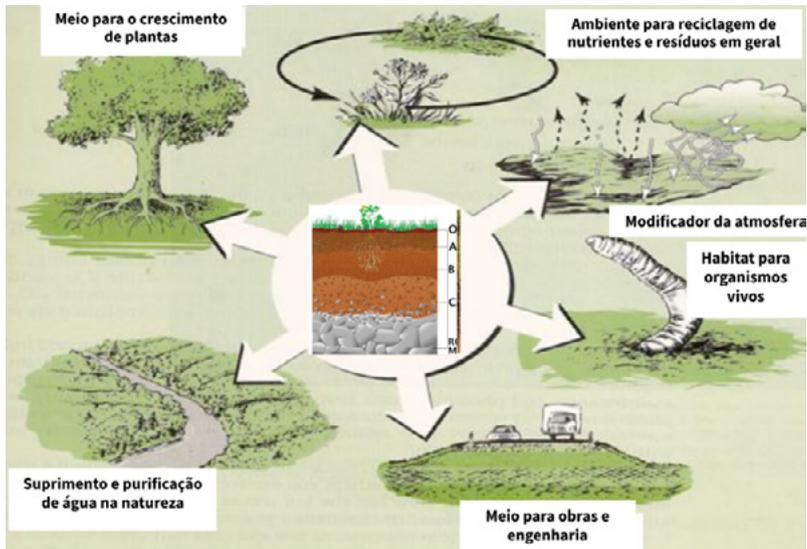
Um solo nasce do intemperismo de uma rocha, que por sua vez, é composta por muitos elementos minerais os quais vão lhe proporcionar características variáveis. Desde o momento da sua formação o solo vai se alterando de maneira natural por ação da chuva e da temperatura, modificando suas propriedades químicas e físicas. No entanto, o homem aprendeu a manejá-lo, melhorar essas características tornando-o mais produtivo para extrair grandes quantidades de alimento que possibilitaram a vida na terra.

De maneira direta o solo é responsável por seis funções essenciais para a vida humana na terra, sendo meio para crescimento de plantas; suprimento e purificação de água à natureza; suporte para obras de engenharia; habitat para microorganismos; modificador da atmosfera; e ambiente para reciclagem de nutrientes e resíduos em geral (Figura 1). De modo geral, ações antrópicas têm alterado muito o funcionamento desse sistema complexo, dinâmico e cíclico, fazendo com que respostas contrárias da própria natureza tragam impactos cada vez mais frequentes e severos, com destaque para o aumento da temperatura global do planeta que tem aumentado a intensidade e a frequência de fenômenos climáticos extremos.

A interação das propriedades físicas, químicas e biológicas nos solos controla a vida das plantas. Compreender esses processos e como são influenciados pelas condições ambientais nos permite otimizar a disponibilidade de nutrientes e

a produtividade das culturas. Este conhecimento é essencial para as decisões relativas ao manejo de nutrientes para criar condições mais favoráveis ao crescimento e à saúde das plantas e para minimizar os impactos da aplicação de nutrientes no meio ambiente. Um bom manejo das propriedades físicas e químicas do solo pode ajudar a suavizar os impactos negativos das ações antrópicas inevitáveis, potencializar a produção de grãos assegurando alimento e condições de sobrevivência para futuras gerações.

Figura 1 – Funções ecológicas essenciais do solo para a vida humana



Fonte: Adaptado de Brady e Weil (2013)

Assim, como o sol nasce no Leste, o Brasil traz consigo a certeza do papel fundamental, não só para a segurança alimentar do planeta, mas também energética. No entanto, a produção por si só demanda mais do que vastas áreas, alta tecnologia na produção de híbridos que resistem desde longos períodos de seca até o ataque incessante de pragas e doenças

e, máquinas e tecnologias que permitam aumentar a eficiência do sistema. Fato é que, de nada adianta a melhor genética, as melhores condições de cultivo, o melhor sistema de irrigação, a melhor máquina e as mais eficientes moléculas de defensivos, se o solo, a base de todo esse sistema, é falha.

O objetivo deste capítulo é revisar os princípios básicos da química e física do solo os quais são importantes para compreender sua capacidade de fornecer nutrientes e servir como substrato básico para o crescimento das plantas.

Química do solo e disponibilidade de nutrientes

Origem das cargas elétricas do solo

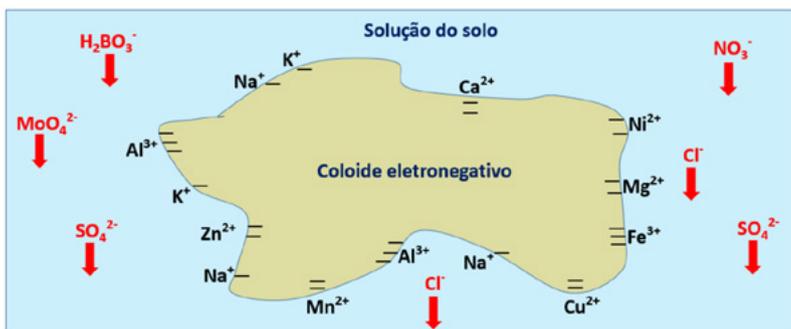
A fase sólida do solo é constituída por uma fração mineral (óxidos de Fe e Al, caulinita, sílica entre outros minerais) e outra orgânica (humina, ácido fúlvicos e húmicos), que conferem propriedades físicas (porosidade, retenção de água, coesão de partículas e outras) e químicas (retenção de nutrientes e acidez, por exemplo) ao solo. Muitas destas propriedades têm origem nas cargas elétricas que, por sua vez, estão associadas ao complexo coloidal do solo.

Partículas coloidais (ou coloides) apresentam tamanho de 1 nm–1 µm, e podem ser inorgânicas (argilominerais) ou orgânicas (substâncias húmicas). Devido ao pequeno tamanho dessas partículas, apresentam grande superfície específica que depende do tipo de mineral (caulinita = 10–30 m² g⁻¹; óxidos de Fe = 100–400 m² g⁻¹; montmorilonita = 700–800 m² g⁻¹; GROHMANN, 1975) e de matéria orgânica humificada (550–800 m² g⁻¹) (PENNELL; BOYD; ABRIOLA, 1995). Portanto, solos tropicais cauliníticos e oxídicos possuem, em geral, menor superfície específica do que solos de regiões temperadas, onde há predomínio de montmorilonita e de outras argilas silicatadas mais ativas (NOVAIS; MELLO,

2007). Embora a matéria orgânica do solo (MOS) ocorra em proporções pequenas (em relação à argila), ela contribui significativamente para o valor da superfície específica média do solo de um determinado local.

Geralmente os colóides do solo são eletronegativos, apresentando cargas elétricas predominantemente negativas, embora possam também conter cargas positivas em menor quantidade (NOVAIS; MELLO, 2007). Na realidade, grande parte dos colóides são anfóteros, ou seja, alteram o sinal da carga líquida da partícula em função do pH do solo (FONTES *et al.*, 2001). Assim, alguns solos altamente intemperizados são eletropositivos, com predomínio de cargas positivas, porém, esta situação é incomum. É importante destacar que o solo apresenta colóides com cargas positivas, negativas e com ambas. Em um caso hipotético, onde as partículas do solo tivessem apenas cargas negativas, haveria total perda por lixiviação dos ânions (NO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , etc.) adicionados (Figura 2).

Figura 2 - Representação esquemática de um colóide eletronegativo do solo e perda por lixiviação de ânions adicionados na solução que o envolve

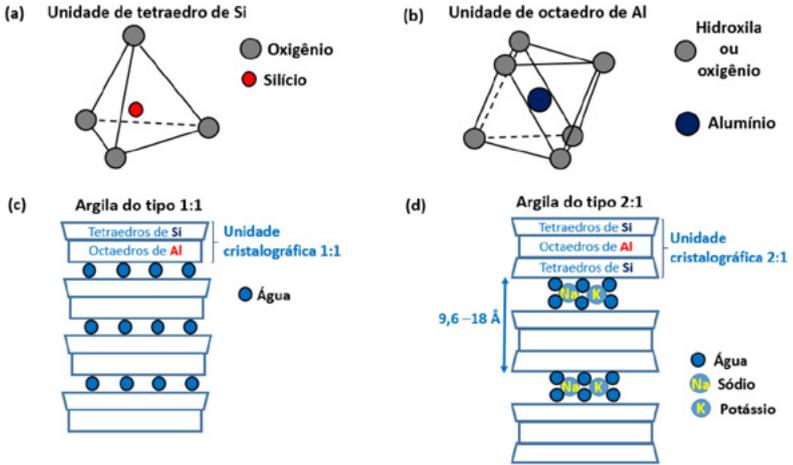


Fonte: Silva (2021)

Para melhor compreensão do processo de formação de cargas elétricas nos colóides do solo, é preciso recordar que

as argilas silicatadas podem ser do tipo 1:1 ou 2:1, conforme a proporção de unidades de tetraedros de silício e octaedros de alumínio formando os aglomerados de camadas ou lâminas justapostas (Figura 3).

Figura 3 - Representação esquemática de unidade de tetraedro de Si (a) e octaedro de Al (b) de argilas silicatadas do tipo 1:1 (c) e 2:1 (d)



Fonte: Silva (2021)

As cargas eletronegativas do solo possuem três origens principais (NOVAIS; MELLO, 2007):

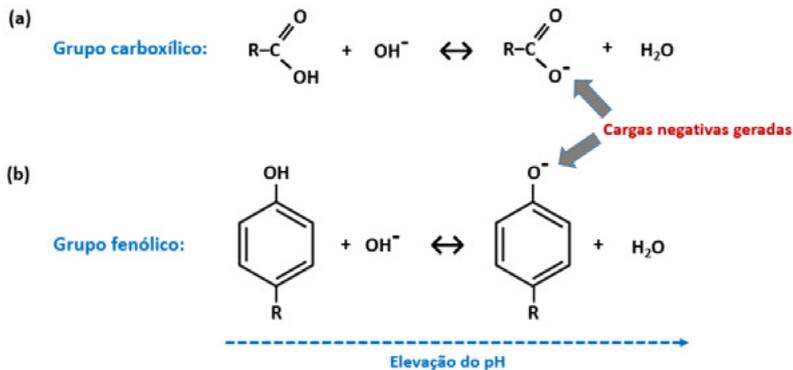
1. Dissociação do grupo $-OH$ nas arestas de argilas silicatadas: neste processo de formação de cargas negativas o grupo $-OH$ nas terminações octaédricas das argilas silicatadas (em faces quebradas das unidades cristalográficas) pode se dissociar, gerando uma carga negativa: $argila-OH + OH^- \leftrightarrow argila-O^- + H_2O$. Esta reação depende do pH e predomina em argilas do tipo 1:1, sendo que a elevação do pH do solo (por exemplo, com a realização de calagem) desloca o equilíbrio da reação para a direita.

2. Substituição isomórfica em argilas silicatadas do tipo 2:1: alguns átomos de Si^{4+} dos tetraedros podem ser substituídos

por Al^{3+} , bem como o Al^{3+} dos octaedros pode ser substituído por Mg^{2+} ou por outros cátions. Desta forma, a substituição do Si^{4+} (que se encontrava, inicialmente, neutralizando quatro cargas negativas) de um tetraedro por um cátion Al^{3+} irá resultar em uma carga negativa. De maneira semelhante, uma carga negativa será gerada pela substituição de um Al^{3+} de um octaedro por um cátion de Mg^{2+} . Vale destacar que o número de cargas geradas por este processo não é variável com alterações do pH do solo.

3. Dissociação do grupo $-\text{OH}$ na MOS: neste caso, as cargas negativas originam-se, principalmente, da dissociação de grupos carboxílicos e fenólicos da MOS, de acordo com as reações químicas (Figura 4).

Figura 4 - Representação esquemática da geração de cargas negativas em grupos carboxílicos (a) e fenólicos (b) da matéria orgânica do solo com o aumento do pH do solo. Nota: 'R' representa as cadeias alifáticas e aromáticas da humina, ácidos húmicos e fúlvicos



Fonte: Silva (2021)

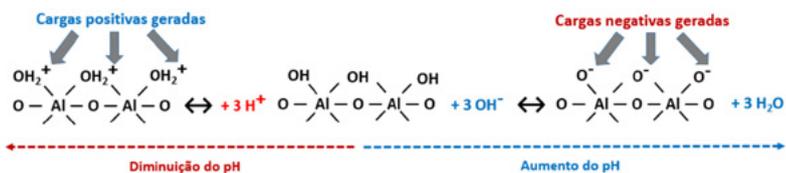
Os equilíbrios acima são deslocados para a direita com a elevação do pH do solo, ou seja, à medida que se aumenta a

dose de calcário para correção da acidez do solo, ocorre incremento de geração de cargas negativas na MOS do solo.

Em condições mais ácidas ($\text{pH} < 5,5$) o Al^{3+} está ativo (disponível) na solução do solo, podendo se ligar ao $-\text{OH}$ de grupos carboxílicos e fenólicos da MOS, formando complexos onde cargas negativas são neutralizadas. Porém, esta ligação é reversível com o aumento do pH, pois o Al^{3+} se precipita na forma de $\text{Al}(\text{OH})_3$, restaurando as cargas negativas (LOPES; GUIDOLIN, 1989).

As cargas eletropositivas do solo possuem apenas uma origem (NOVAIS; MELLO, 2007). Em óxidos e hidróxidos (óxidos hidratados) de Fe e de Al o grupo $-\text{OH}$ na superfície destas argilas pode se protonar com a diminuição do pH do solo até atingir uma condição mais ácida, gerando uma carga positiva (Figura 5). São nestas cargas eletropositivas que ocorre a adsorção de vários ânions, como o Cl^- , HPO_4^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , MoO_4^{2-} , H_2BO_3^- , dentre outros.

Figura 5 - Representação esquemática da geração de cargas positivas e negativas em um óxido hidratado de alumínio com a diminuição e o aumento do pH do solo, respectivamente



Fonte: Silva (2021)

As cargas elétricas são de grande importância, pois permitem que o solo funcione como um reservatório para armazenamento de nutrientes, reduzindo as perdas de cátions e ânions por lixiviação. Além disso, possibilitam que os nutrientes sejam liberados para a solução do solo em pequenas quantidades, gradualmente, para atender a demandas das plantas.

Adsorção e troca iônica no solo

Existe um equilíbrio eletroquímico entre os íons ligados a um colóide do solo e aqueles presentes na solução adjacente. Este equilíbrio é mantido por mecanismos de adsorção, desorção e troca iônica.

A adsorção é um fenômeno químico de atração ou ligação entre a carga de um colóide e um íon da solução do solo, o que proporciona a retenção de cátions e ânions no solo. Por sua vez, a desorção é o processo inverso, ou seja, consiste na liberação de substâncias que foram adsorvidas na superfície de um colóide (Figura 6).

Figura 6 - Representação esquemática dos mecanismos de adsorção e desorção de íons em um colóide eletronegativo e outro eletropositivo, em equilíbrio com os elementos na solução do solo



Fonte: Silva (2021)

As propriedades de adsorção iônica do solo são devidas, quase exclusivamente, aos argilominerais e à matéria orgânica coloidal, devido ao fato de serem partículas de elevada superfície específica, recoberta por cargas elétricas. Os íons envolvidos neste processo de adsorção ligam-se por eletrovalência (ligação iônica ou eletrostática) ou por covalência às partículas coloidais do solo (NOVAIS; MELLO, 2007). Neste

contexto, alguns fatores influenciam a energia de ligação entre os íons e os colóides do solo:

1. Valência: íons de maiores valências deslocam íons de menores valências (com exceção do H^+);

2. Raio hidratado: íons com menor raio hidratado apresentam maior energia de ligação;

3. Concentração: íons mais concentrados na solução do solo irão deslocar outros íons (com menor concentração) da superfície dos colóides;

4. Seletividade do coloide: cada tipo de coloide possui maior afinidade por determinados tipos de íons.

Em termos estequiométricos, os íons adsorvidos às partículas coloidais podem ser deslocados e substituídos por outros íons de mesmo tipo de carga (positiva ou negativa), dando-se uma troca iônica balanceada quali-quantitativamente.

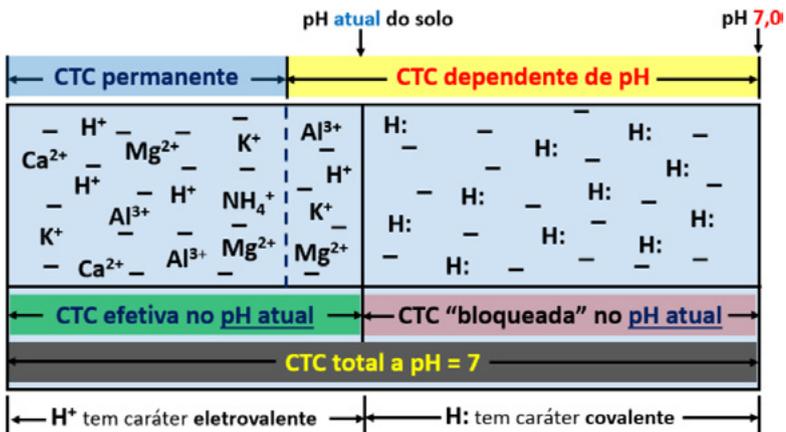
Em condições de campo, os cátions mais envolvidos na troca iônica são: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , H^+ , K^+ , Na^+ e NH_4^+ . Em geral, o Ca^{2+} é o cátion mais abundante em alguns solos, enquanto que, em outros, é o Al^{3+} . Por outro lado, os principais ânions envolvidos quantitativamente neste processo são: NO_3^- , SO_4^{2-} , HPO_4^{2-} , $H_2PO_4^-$ e Cl^- . Vale destacar que os micronutrientes (catiônicos = Cu, Mn, Zn e Fe; aniônicos = B, Cl e Mo) também participam deste processo de troca iônica, embora em quantidades menores.

Existem dois processos que suportam a troca iônica: 1) capacidade de troca catiônica (CTC) e 2) capacidade de troca aniônica (CTA).

A CTC é a quantidade máxima de cátions adsorvíveis e trocáveis que o complexo coloidal do solo pode reter. Na prática, a CTC total (T) de um solo é geralmente determinada a pH 7,0 (para a maioria dos tipos de solos) ou a pH 8,2 (para solos alcalinos e salinos), utilizando o acetato de cálcio $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ como extrator. Ela é calculada somando-se os teores das

principais bases trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+) com a acidez potencial (H^+ +Al). Também, há a determinação da CTC efetiva (t) na condição de pH em que o solo se encontra. Neste caso, é obtida pela soma das bases trocáveis com a acidez trocável (Al^{3+}). Portanto, uma fração da CTC total é dependente de pH, enquanto outra parte é permanente (Figura 7).

Figura 7 - Representação esquemática da CTC do solo, constituída por uma fração permanente e outra dependente de pH



Fonte: Silva (2021); adaptado de Novais e Mello (2007)

Dentre os cátions que neutralizam as cargas negativas da CTC efetiva do solo, incluem-se, principalmente, as bases (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ e NH_4^+), o Al^{3+} e, também, cátions H^+ de caráter mais eletrovalente (tipo ácido forte). No entanto, nos colóides do solo existem cargas negativas de caráter eletrovalente ou covalente, que se manifestam ou não, de acordo com o pH atual do solo. Assim, em um dado pH, parte das cargas dependentes do solo estará bloqueada por hidrogênio de caráter covalente ($\text{H}:$). Então, a CTC efetiva será dada pelas cargas permanentes mais aquelas dependentes de pH, porém livres do $\text{H}:$ (covalente). Quando se aumenta o pH do solo, mais

íons H: ligados a cargas dependentes de pH são neutralizados, resultando em conseqüente aumento da CTC efetiva do solo.

A CTC total do solo é função da quantidade e tipos de argila e de substâncias húmicas (Tabela 1).

Tabela 1 - Capacidade de troca catiônica (CTC) de alguns coloides (argilominerais e substâncias húmicas) do solo

Coloide	CTC (cmol _c dm ⁻³)
Montmorilonita (2:1)	50–100
Ilita (2:1)	10–50
Vermiculita (2:1)	100–150
Caulinita (1:1)	5–15
Óxidos de Fe e Al	2–5
Substâncias húmicas	150–500

Nota: número entre parêntese após nome de um coloide indica se ele é um argilomineral do tipo 1:1 ou 2:1 (tetraedro de Si: octaedro de Al).

Fonte: adaptada de Mello et al. (1983)

Em solos altamente intemperizados de regiões tropicais, como a maior parte do território brasileiro, as substâncias húmicas (constituintes da MOS) apresentam, geralmente, a maior participação no valor da CTC total do horizonte superficial do solo.

A troca de cátions, no contexto da CTC, é reversível, rápida e obedece à lei de equivalência química (estequiométrica). No entanto, a natureza dos cátions trocáveis influencia a ‘preferencialidade de troca’, ou seja, a preferência de adsorção de um íon na superfície de um coloide depende de sua densidade de carga, isto é, Z/r , onde Z é a carga do íon e r é o raio do íon hidratado (NOVAIS; MELLO, 2007). Assim, os cátions que têm maior densidade de carga são mais retidos nas cargas negativas do solo. Por isso, os cátions polivalentes são geralmente mais fortemente retidos no solo, com destaque

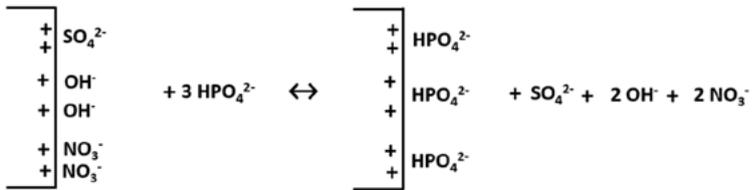
para o Al^{3+} (trivalente). Vale ressaltar que o H^+ , em razão de suas propriedades específicas, não se comporta como monovalente quanto à preferencialidade de troca, dependendo também da natureza (afinidade) do material trocador.

A concentração dos cátions na solução do solo é outro fator que influencia a preferencialidade de troca, pois, à medida que se dilui a solução, mantendo constantes as quantidades dos cátions presentes, ocorre aumento na preferencialidade de troca pelos cátions de menor valência, como o Na^+ . Além disso, em função do arranjo estrutural do material trocador (coloide) e de sua interação com os cátions, pode haver alguma preferencialidade nas regiões de troca. Por exemplo, os argilominerais do tipo 2:1 retêm, preferencialmente, o K^+ e o NH_4^+ , enquanto que, nas substâncias húmicas o H^+ e Ca^{2+} são os cátions mais retidos.

A CTA corresponde a quantidade máxima de ânions adsorvíveis e trocáveis que o complexo coloidal do solo pode reter. Ela é função, principalmente, da quantidade e tipos de óxidos e hidróxidos de Fe e Al. Além disso, em valor de baixo pH, arestas quebradas de argilominerais 1:1 também podem gerar cargas positivas, aumentando a CTA.

Majoritariamente, a troca de ânions na CTA é reversível, rápida e estequiométrica, sendo que os principais ânions que participam deste processo são: OH^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^- , Cl^- , HCO_3^- , F^- , MoO_4^{2-} e HBO_3^{2-} . O NO_3^- é extremamente móvel entre sua ligação nos coloides e sua liberação para a solução do solo. Por sua vez, o SO_4^{2-} pode ser retido fracamente sob certas condições, a despeito de ser bivalente. Finalmente, o HPO_4^{2-} possui elevada capacidade de deslocar outros ânions no complexo de troca (Figura 8).

Figura 8 - Representação esquemática da capacidade do HPO_4^{2-} de deslocar outros ânions no complexo de troca catiônica do solo

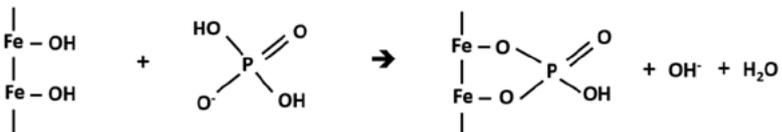


Fonte: Silva (2021)

Para ânions como nitrato (NO_3^-), cloreto (Cl^-) e fluoreto (F^-), que não sofrem interação específica com a superfície adsorvente, a adsorção aos coloides se dá por meio de atração entre cargas opostas (ligação eletrostática) à semelhança do que ocorre com a maioria dos cátions.

Um aspecto particular do comportamento de certos ânions no solo é a adsorção específica. Por este processo os ânions são retidos pela fase sólida por meio de ligações fortes (covalentes), passando a fazer parte da estrutura da micela (coloide) em sua superfície. Este tipo de adsorção é de baixa reversibilidade e é bem conhecida para o fosfato (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} e PO_4^{3-}), sendo o principal responsável pela fixação de fósforo no solo (Figura 9), principalmente, nos solos ricos em óxidos de ferro e alumínio (NOVAIS; SMYTH, 1999).

Figura 9 - Representação esquemática da fixação de fosfato (H_2PO_4^-) no solo



Fonte: Silva (2021); adaptado de Mengel e Kirkby (1982)

O ânion que pode deslocar o fosfato (H_2PO_4^-) da fase sólida do solo com maior eficiência é o silicato (H_3SiO_4^-). Em segundo lugar vem o SO_4^{2-} . Por outro lado, o NO_3^- e o Cl^- praticamente não têm poder de substituir o fosfato.

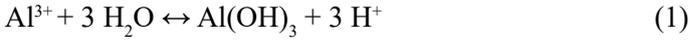
Para ânions adsorvidos de forma específica aos coloides do solo, as condições de reversibilidade e estequiometria não são satisfeitas, portanto, o conceito de capacidade de troca aniônica (CTA) não se aplica. Neste caso, o equilíbrio entre a fase sólida e a solução é caracterizado por meio de 'isotermas de adsorção', que possibilitam estimar parâmetros como a capacidade máxima de adsorção (CMA) de um ânion e a intensidade da energia de ligação. Para o fósforo, que está sujeito à adsorção específica, estes parâmetros são importantes.

Origem e classificação da acidez do solo

De modo geral, no contexto agrícola, são classificados como solos ácidos aqueles que possuem $\text{pH} < 6,0$ (VOLKWEISS, 1989). Esses solos apresentam frequentemente teores tóxicos de alumínio e manganês para as plantas, assim como, deficiências de nutrientes essenciais (molibdênio, cálcio e outros). A maioria destes solos pertence aos grupos dos Argissolos, Latossolos e Espodossolos. Estima-se um total mundial de 3,95 bilhões de hectares de terras aráveis afetadas pela acidez do solo, sendo 1,62 bilhões nas américas, concentrados na América do Sul (BIAN *et al.*, 2013).

Os solos ácidos se formam principalmente pelo processo de intemperismo sobre o material de origem (rochas: basalto, granito, arenito e outros). O processo de acidificação nas regiões tropicais e subtropicais inicia com a solubilização das rochas (por meio de fatores ambientais e biológicos: umidade, calor, microrganismos e outros) que resulta em perdas por percolação de cátions básicos de menor valência (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) e retenção nos coloides do solo (argila e matéria

orgânica) de cátions de maior valência (Al^{3+} , Fe^{3+} , Mn^{2+}). Os íons Al^{3+} , Fe^{3+} e Mn^{2+} trocáveis possuem caráter ácido, pois quando passam à solução do solo reagem com a água (hidrólise) gerando H^+ , segundo as equações (Eq. 1, 2 e 3):



É importante destacar que o íon H^+ reage com a H_2O formando o íon hidrônio (H_3O^+), que efetivamente está presente na solução do solo.

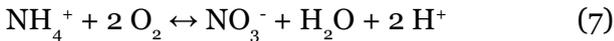
Durante o processo de intemperismo, a água de chuvas ácidas entra em contato com a rocha e resulta em sua dissolução e acidificação do solo. Porém, como ocorre a acidificação da água na atmosfera? Ela pode ocorrer naturalmente (Eq. 4) ou pela ação antrópica (Eq. 5 e 6):



Na atmosfera, a hidrólise de gases e partículas contendo enxofre e nitrogênio reativos produz ácidos fortes. Neste contexto, se destacam os óxidos de azoto (NO_x) gerados da queima de combustíveis fósseis e os compostos de enxofre (SO_x) provenientes da oxidação das impurezas sulfurosas existentes na maior parte dos carvões e petróleos.

No solo, os microrganismos também podem gerar acidez, por meio da produção de íons H^+ e sua liberação para a solução do solo. Este processo é mais intenso durante o processo de decomposição dos compostos orgânicos depositados na superfície (palhada ou serapilheira) ou no interior do solo (raízes mortas). A decomposição da matéria orgânica leva à formação de ácidos orgânicos solúveis (ácidos cítrico, láctico, oxálico, málico, etc.) que contribuem para a acidificação do solo. Além disso, a mineralização de compostos orgânicos

libera compostos de N e S reduzidos que, ao serem oxidados, liberam prótons H^+ na solução do solo (Eq. 7 e 8):

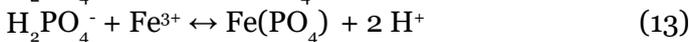
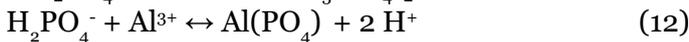
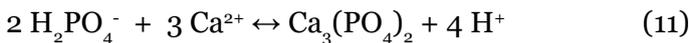


A adubação com alguns fertilizantes também pode gerar acidez na solução do solo. Por exemplo, adubos nitrogenados amoniacais, como o sulfato de amônio $[(NH_4)_2SO_4]$, o nitrato de amônio (NH_4NO_3) , o fosfato de amônio $[(NH_4)_3PO_4]$ e o cloreto de amônio (NH_4Cl) , quando utilizados com frequência em solos com baixo poder tampão, podem causar acidificação por meio da ação microbiana de oxidação (nitrificação) do NH_4^+ (Eq. 7).

A maioria dos adubos fosfatados solúveis em água se torna acidificante do solo ao longo do tempo de dissolução pós-adubação, devido à liberação de íons H^+ (Eq. 9 e 10).



Na sequência das reações acima (após os fertilizantes fosfatados liberarem $H_2PO_4^-$ e HPO_4^{2-} para a solução do solo), o $H_2PO_4^-$ pode reagir com Ca^{2+} (principalmente quando o pH é alto) ou com Al^{3+} e Fe^{3+} (em condições de baixo pH). Em todas essas reações há liberação de íons H^+ (Eq. 11, 12 e 13).

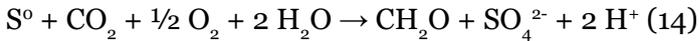


No caso de fertilizantes contendo enxofre, temos algumas situações (ERNANI, 2008):

i) O gesso ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) utilizado em grandes quantidades pode ocasionar reações secundárias que promovem um pequeno aumento ou pequena diminuição do pH, porém isso só acontece quando o pH do solo for bastante baixo. O aumento do pH resulta do deslocamento de OH^- da fase sólida pela adsorção específica de SO_4^{2-} . Por outro lado, a redução

do pH é consequência do deslocamento de Al^{3+} da fase sólida pelo Ca^{2+} , e só acontece quando existe Al^{3+} trocável (ou seja, em $\text{pH} < 5,5$).

ii) A adição de enxofre elementar (S^0) diminui o pH do solo devido à oxidação do S^0 por bactérias, principalmente *Thiobacillus thiooxidans* (Eq. 14).



No entanto, o enxofre elementar (S^0) não é comumente adicionado ao solo, a não ser quando se pretende diminuir o pH. Quando isto for necessário, estima-se que 1 tonelada de enxofre elementar neutraliza o efeito de aproximadamente 3 toneladas de calcário.

A acidez do solo pode ser classificada em: ativa, trocável, potencial, não-trocável e dependente de pH.

A acidez ativa (pH) corresponde à acidez na fase líquida do solo, a qual se refere à concentração de íons H^+ (i.e., H_3O^+) na solução do solo (Eq. 15).

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+] \quad (15)$$

Sendo $[\text{H}^+]$ dado em mol L^{-1} e proveniente de uma solução constituída pela relação 1:2,5 (v/v) solo: água destilada (ou CaCl_2 0,01 mol L^{-1}).

A acidez trocável (Al^{3+}) é representada pelo Al^{3+} mais o H^+ que está retido na superfície dos colóides por forças eletrostáticas. Como, em geral, a participação do H^+ eletrovalente é muito pequena (quase desprezível: <5% da acidez trocável) em relação ao Al^{3+} , este valor também é chamado de alumínio trocável. O alumínio na solução é considerado acidificante do solo, pois, por meio de hidrólise, gera acidez (Eq. 1). A determinação da acidez trocável é feita no pH original do solo (extração com solução não tamponada de KCl 1 mol L^{-1}).

A acidez potencial (H+Al) é caracterizada pela soma da acidez trocável ($\text{Al}^{3+} + \text{H}^+$ eletrovalente) com a acidez não trocável (H covalente = H:). Portanto, a acidez potencial

corresponde à acidez proveniente da fase sólida do solo. Ela caracteriza o poder tampão de acidez do solo e sua estimativa acurada é fundamental para se estimar a CTC a pH 7,0. A determinação da acidez potencial é realizada usando-se como extrator uma solução tamponada de acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ a pH 7,0.

Por sua vez, a acidez não-trocável em um dado valor de pH do solo, corresponde ao íon H⁺: de ligação covalente associado aos argilominerais de carga negativa. Ela inclui também o Al³⁺ complexado pela matéria orgânica e aos ácidos fracos de grupos carboxílicos e fenólicos das substâncias húmicas.

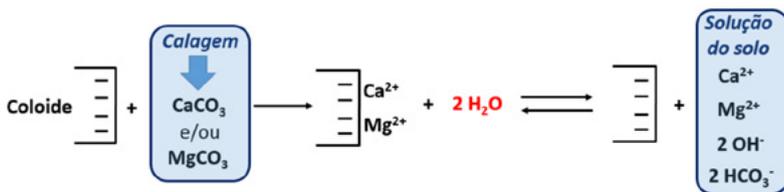
Finalmente, a acidez dependente de pH corresponde à diferença entre a acidez potencial e a acidez trocável, ou seja, (H+Al) – Al³⁺.

Efeitos da acidez e calagem sobre a disponibilidade de nutrientes

A acidez do solo influencia a disponibilidade de vários elementos minerais, afetando a sua solubilidade, além de alterar a taxa de mineralização e/ou decomposição de compostos orgânicos que possuem nutrientes em sua composição. Por outro lado, a correção da acidez por meio da calagem eleva o pH do solo, afetando suas propriedades químicas e, conseqüentemente, a disponibilidade de nutrientes para as plantas (MEURER, 2004), como veremos a seguir:

Cálcio e magnésio: à medida que o calcário se dissolve no solo ele libera Ca²⁺ e Mg²⁺, que são adsorvidos nas cargas negativas da matéria orgânica, e dos argilominerais. Assim, a calagem aumenta a quantidade desses cátions na fase sólida em equilíbrio com a solução do solo, aumentando sua disponibilidade para as plantas (Figura 10).

Figura 10 - Representação esquemática da disponibilização de cálcio e magnésio por meio da calagem



Fonte: Silva (2021)

É importante mencionar que não há efeito direto do pH sobre a disponibilidade de Ca^{2+} e de Mg^{2+} para as plantas. No entanto, pode-se considerar um efeito indireto do pH: quando o pH aumenta, ocorre aumento da CTC efetiva (ocupando parte da CTC dependente do pH) que resulta em aumento da adsorção de Ca^{2+} e de Mg^{2+} nos colóides de argilominerais e, conseqüentemente, redução da lixiviação destes cátions, aumentando indiretamente a disponibilidade deles para as plantas.

Nitrogênio: a disponibilidade de N (NH_4^+ e NO_3^-) aumenta com o aumento do pH do solo devido ao seu efeito de aumentar a taxa de mineralização da MOS. De acordo com Ernani (2008), o efeito do pH sobre a disponibilidade de N está relacionado à sua influência sobre a atividade microbiana que atua na mineralização da MOS: quando o pH é baixo (principalmente $<5,0$), o desenvolvimento e a atividade dos microrganismos mineralizadores da MOS são prejudicados, resultando em menor liberação de nutrientes da MOS para as plantas, principalmente de N. Portanto, recomenda-se adubar com maior dose de N os solos com pH muito baixo em relação àqueles com pH $>5,0$, de acordo com a exigência em N das culturas agrícolas.

Potássio: não há efeito direto do pH sobre a disponibilidade de K^+ para as plantas. No entanto, pode-se considerar um efeito indireto do pH, pois, quando ele aumenta ocorre aumento da CTC efetiva que resulta em aumento da adsorção de K^+ nos coloides de argilominerais e, conseqüentemente, reduzindo sua lixiviação, como comentado anteriormente para Ca^{2+} e Mg^{2+} .

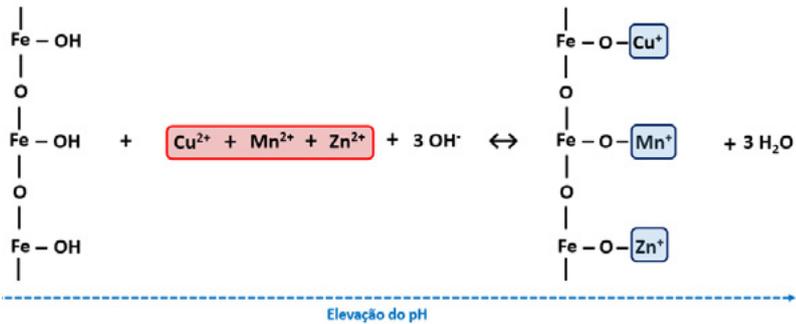
Fósforo, molibdênio e enxofre: a dissolução do calcário aumenta a quantidade de OH^- na solução do solo, que, em alta concentração, pode deslocar $H_2PO_4^-$, MoO_4^{2-} e SO_4^{2-} dos coloides do solo (óxidos e hidróxidos de Fe e Al) para a solução do solo, por meio do fenômeno de ‘troca de ligantes’ (MEURER, 2004). Deste modo, ocorre aumento da disponibilidade de P, Mo e S para as plantas.

No caso específico do P, a sua disponibilidade para as plantas aumenta com o aumento do pH do solo na faixa de 4,0 até 7,0 (ALVAREZ; MELLO; DIAS, 1996). No entanto, a partir de $pH > 7$ ocorre decréscimo de sua disponibilidade. De fato, a faixa de pH entre 6,5 e 7,0 é aquela com menor ‘fixação de fósforo’ no solo, portanto, é onde ocorre maior disponibilidade de fósforo para as plantas (MALAVOLTA, 2006).

A elevação do pH, ao favorecer a mineralização e a decomposição da MOS, aumenta a liberação de SO_4^{2-} para a solução do solo, aumentando sua disponibilidade para as plantas.

Cobre, manganês, zinco e ferro: a disponibilidade de Cu^{2+} , Mn^{2+} e Zn^{2+} para as plantas diminui com a elevação do pH do solo, devido à formação de complexos (por adsorção química) com os óxidos de Fe e Al (MEURER, 2004) (Figura 11).

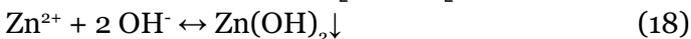
Figura 11 - Representação esquemática da formação de complexos de Cu^{2+} , Mn^{2+} e Zn^{2+} com óxido de ferro, em função do aumento do pH do solo



Fonte: Silva (2021)

Estes três íons (Cu^{2+} , Mn^{2+} e Zn^{2+}) também formam complexos com as substâncias húmicas derivadas da MOS, ficando indisponíveis para absorção pelas plantas. No entanto, dependendo da constante de estabilidade (k) de cada complexo formado, ele pode permanecer solúvel na solução do solo e ficar em forma disponível para as plantas.

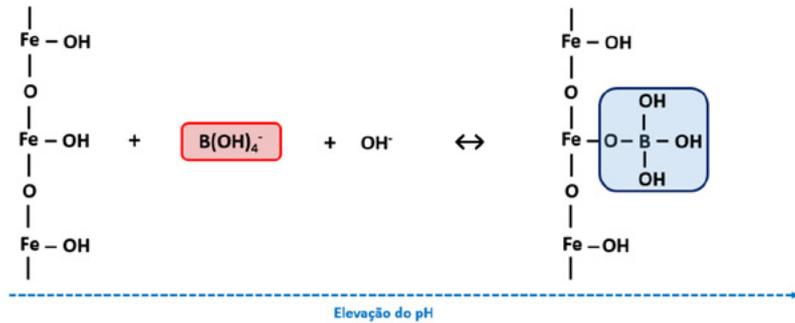
Os íons Cu^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} e Fe^{3+} têm a sua disponibilidade reduzida para as plantas com a elevação do pH do solo, pois algumas reações de oxidação e precipitação são favorecidas nesta situação (Eq. 16, 17, 18 e 19):



Boro: abaixo de pH 7,0 há pouco efeito do pH sobre a disponibilidade do B (HBO_3^{2-}). No entanto, a disponibilidade de B para as plantas diminui com o aumento da alcalinidade a partir de pH >7,0, devido ao decréscimo de sua solubilidade (ALVAREZ; MELLO; DIAS, 1996). Em valores de pH >7,0 o $\text{B}(\text{OH})_4^-$ é adsorvido aos óxidos de ferro por meio do

mecanismo de troca de ligantes com OH^- (MEURER, 2004) (Figura 12).

Figura 12 - Representação esquemática da adsorção de $\text{B}(\text{OH})_4^-$ aos óxidos de ferro por meio do mecanismo de troca de ligantes com OH^- , em função do aumento do pH do solo



Fonte: Silva (2021)

Matéria orgânica do solo e disponibilidade de nutrientes

A relevância da MOS para a maioria dos solos tropicais consiste no fato dela ser a principal determinante da CTC do solo bem como importante fonte de nutrientes minerais para as plantas (FONTANA *et al.*, 2011). Ela pode ser considerada todo material de origem vegetal ou animal que se encontre no solo independentemente de seu estado de decomposição, sendo composta por dois grupos principais (THEENG *et al.*, 1989):

i) **Componente vivo:** compreende menos de 4% do carbono orgânico (CO) total do solo. Contempla as raízes das plantas (5–10%); macrorganismos ou fauna (15–30%), que se subdividem em microfauna (protozoários e nematoides), mesofauna (ácaros) e macrofauna (minhocas e termitas); e microrganismos (60–80%).

ii) **Componente morto:** acima de 96% do CO total do solo, compreendendo as frações leve (matéria macrorrgânica) e pesada (substâncias húmicas e não-húmicas).

A matéria macrorrgânica é proveniente diretamente da serapilheira (*litter*), sendo geralmente a menor fração do componente morto (10–30%) e do CO total do solo (SILVA; RESCK, 1997). Ela consiste de resíduos de plantas em vários estágios de decomposição, com diâmetro médio de 0,25–2 mm e baixa densidade ($\pm 1,0 \text{ g cm}^{-3}$) (ANDERSON; INGRAM, 1990). Por essa razão, a matéria macrorrgânica também é chamada de ‘fração leve’, e pode ser obtida por flotação em líquidos com densidade de 1,2–2,0 g cm^{-3} . Sua decomposição varia com as condições ambientais, sendo que em solos ácidos e regiões frias e secas, normalmente há maior acúmulo de matéria macrorrgânica. Ela contribui significativamente para o reservatório de N disponível, especialmente se a relação C/N do composto orgânico é baixa (SOLLINS; SPYCHER; GLASSMANN, 1984). Por permanecer na superfície do solo, alguns autores não a consideram como parte da MOS.

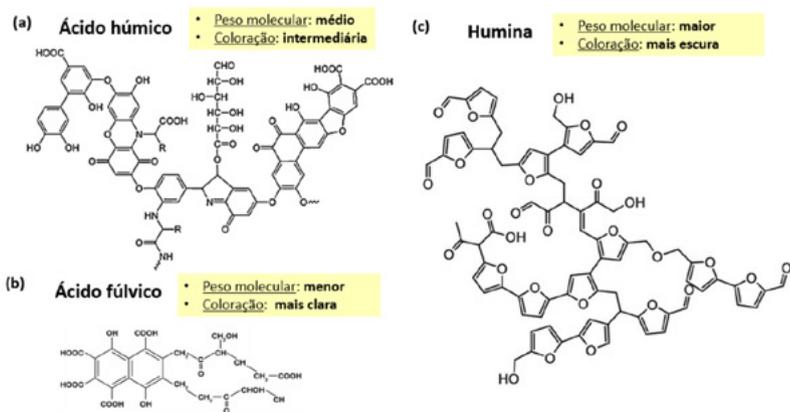
As substâncias não-húmicas são aquelas com características físicas e químicas reconhecidas, a serem: carboidratos, proteínas, peptídeos, aminoácidos, gorduras, ceras, alcanos e ácidos orgânicos de baixo peso molecular. São decompostas de modo relativamente rápido pelos microrganismos do solo, o que lhes confere uma persistência muito pequena no ambiente (SILVA; RESCK, 1997).

Por sua vez, as substâncias húmicas constituem a maior proporção da MOS, sendo sua fração mais estável. São polieletrólitos, heterogêneas, de coloração amarelada a preta, hidrofílicas, ácidas, constituídas por substâncias orgânicas complexas contendo moléculas amorfas (sem forma definida), parcialmente aromáticas e com alto peso molecular (THENG *et al.*, 1989; STEVENSON, 1994). Essas substâncias

foram modificadas química e biologicamente, com pouco ou nenhuma característica dos compostos orgânicos originalmente conhecidos. Possuem alta habilidade para combinar com outras moléculas orgânicas, devido à presença de grupos funcionais ($-\text{COOH}$, $-\text{OH}$ e $-\text{C}=\text{O}$).

Quimicamente, quanto à solubilidade, as substâncias húmicas podem ser separadas em três frações (STEVENSON, 1994), a serem: 1) ácidos fúlvicos (AF): solúveis em ácido e base; 2) ácidos húmicos (AH): solúveis apenas em base e 3) huminas: não solúveis nem em ácido e nem em base (Figura 13). Esta separação é apenas operacional, não havendo distinção significativa entre elas em termos de propriedades físico-químicas. A composição das substâncias húmicas é extremamente variável, havendo polímeros de peso molecular relativamente baixo (± 5.000 daltons) até substâncias complexas com peso molecular elevado (centenas de milhares de daltons). A grande variação no grau de polimerização e no número de cadeias laterais e radicais que pode ser encontrada nas substâncias húmicas, faz com que não existam duas moléculas húmicas idênticas. Contudo, as substâncias húmicas são quimicamente muito parecidas, diferindo em peso molecular, teores de C, O, N e S, e conteúdo de grupamentos funcionais (carboxílico, fenólico, carbonil, amino, hidroxílico).

Figura 13 - Representação de unidades básicas de ácido húmico (a), ácido fúlvico (b) e humina (c)



Fonte: adaptado de Stevenson (1994) (a); Buffle (1977) (b) e Wang *et al.* (2016) (c)

Duxbury; Smith e Doran (1989) propuseram um modelo de compartimentalização da MOS baseado na escala de idade e na estabilidade dos componentes (Tabela 2):

Tabela 2- Compartimentos da matéria orgânica do solo com base em sua estabilidade e tempo de ciclagem

Compartimento	Tempo de ciclagem	Fatores de controle
Não protegido:		
- BIO (biomassa microbiana)	0,25–2,5 anos	Disponibilidade de substratos
- LAB (lábil)	5–20 anos	Adição de resíduos e clima
Protegido:		
- POM (proteção física = <i>physical organic protection</i>)	Depende do distúrbio físico	Textura e sistema de preparo do solo (quebra de agregados)
- COM (proteção química = <i>chemical organic protection</i>)	> 1.000 anos	Mineralogia e textura do solo

Fonte: adaptado de Duxbury; Smith e Doran (1989)

Assim, o compartimento BIO é constituído pela fauna, flora e microrganismos do solo; o LAB é formado por materiais lábeis (aqueles prontamente disponíveis para a decomposição por ataque microbiano); o POM corresponde à fração da MOS protegida física ou estruturalmente (dentro de pequenos poros dos agregados do solo) da decomposição microbiana; e o COM é a fração protegida química ou coloidalmente (pelas interações moleculares entre coloides orgânicos e minerais).

Os grupamentos funcionais ($-\text{COOH}$, fenólico, $-\text{C}=\text{O}$, $-\text{NH}_2$, $-\text{OH}$) da MOS humificada interagem com os óxidos e hidróxidos de Fe e Al e outros argilominerais. Essa propriedade de formar complexos argilo-orgânicos e a presença de anéis aromáticos em sua estrutura faz com que as substâncias húmicas sejam resistentes à degradação microbiana, pelo processo de proteção química (COM).

Os nutrientes presentes nos compartimentos BIO e LAB têm uma taxa de ciclagem rápida, ficando prontamente disponíveis às plantas ou sendo perdidos por lixiviação (principalmente N), dependendo do sincronismo entre a taxa de mineralização e taxa de absorção de nutrientes pelas plantas.

O tamanho dos compartimentos fisicamente (POM) e quimicamente (COM) protegidos está relacionado com o manejo, textura e mineralogia do solo. Grande parte dos nutrientes e da MOS se encontra nestes compartimentos. O tempo de ciclagem dos nutrientes nesses compartimentos vai ser controlado pelo grau de proteção intra e inter-microagregados, e do grau de interação do nutriente com a MOS.

Nutrientes interagindo com a MOS por meio de ligações eletrostáticas estarão prontamente disponíveis para serem absorvidos pelas plantas, enquanto nutrientes formando quelatos e/ou complexos e/ou associações com a matéria orgânica quimicamente protegida terão um tempo de ciclagem maior.

Quando o aporte de resíduos orgânicos é dominado por material de baixa taxa de decomposição (ex.: materiais ricos em lignina ou polifenóis; e/ou de elevada relação C/N), ocorrerá o favorecimento do processo de humificação e, conseqüentemente, acúmulo de matéria orgânica e nutrientes nos compartimentos protegidos. Os nutrientes presentes nestes compartimentos servirão como reserva do solo, visto que terão baixa taxa de mineralização e, conseqüentemente, menor disponibilidade para as plantas.

Por outro lado, quando o aporte de resíduos orgânicos é representado por materiais vegetais de rápida decomposição, haverá um favorecimento no aumento dos compartimentos BIO e LAB, resultando em uma ciclagem mais rápida dos nutrientes. As quantidades de nutrientes armazenados na fração não protegida da MOS (BIO e LAB) podem atingir valores bem elevados (em kg ha^{-1}): 100 de N, 80 de P, 70 de K e 11 de Ca. Como a ciclagem da matéria orgânica destes compartimentos é cerca de dez vezes mais rápida que aquela da matéria orgânica morta do solo (POM e COM), grande parte dos nutrientes armazenados é liberada durante essa ciclagem. O fluxo pode atingir um valor de 40 a 350 $\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de N e de 10 a 20 $\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de P.

O fornecimento de nutrientes pela MOS se dá mediante a mineralização dos nutrientes contidos em seus diferentes compartimentos. Do ponto de vista quantitativo, os compartimentos BIO e LAB possuem maiores possibilidades de fornecimento de nutrientes às plantas a curto e médio prazo, por apresentarem menores tempos de ciclagem.

Atributos físicos dos solos

Textura do solo

A textura é a propriedade física mais importante e estável do solo. Uma vez concebido um solo na sua formação por meio do intemperismo da rocha mãe, a proporção das partículas sólidas pouco vai variar ao longo de milhares de anos. Além disso, a distribuição das diferentes frações das partículas interfere diretamente nas demais propriedades físicas e tem forte relação com as propriedades químicas de um solo.

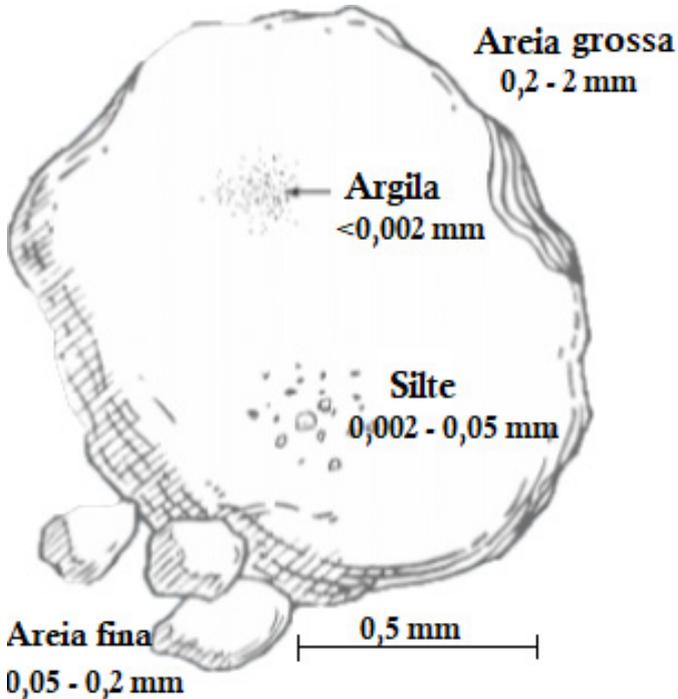
As partículas do solo consideradas para sua textura se dividem em três principais ordens de magnitude, sendo a argila com tamanho menor que 0,002 mm, silte entre 0,002 – 0,05 mm e a areia que é dividida em duas frações, fina 0,05 – 0,2 mm e grossa 0,2 – 2 mm. Para facilitar o entendimento, é possível observar a ordem de grandeza dessas partículas ampliadas, sendo que argila e silte não são visíveis a olho nu sem ampliação (Figura 14).

Na prática, as partículas de areia conferem uma sensação áspera ao se esfregar um pouco de solo entre aos dedos, o silte gera sensação de maciez e sedosidade similar ao obtido com a farinha de trigo. Além disso, pode conferir plasticidade e, por fim, a argila confere a pegajosidade que gruda o solo nas mãos e nas botas quando se caminha na terra após uma chuva, sendo que, quanto mais argila um solo conter mais facilmente pode-se moldar uma porção entre os dedos.

Outro ponto importante para ser considerado é a superfície específica, quanto menor o tamanho da partícula maior é sua área superficial. Dessa forma, por exemplo, é possível ter em uma colher de argila uma área superficial que pode ser do tamanho de um campo de futebol (BRADY; WEIL, 2013). A superfície específica é a responsável pela reatividade das partículas, assim, quanto menor for a partícula, mais reações irão ocorrer. As partículas de argila, também chamadas de

coloides possuem elevada reatividade e, por essa razão, interferem diretamente nas reações do solo.

Figura 14 – Visão da dimensão das partículas de argila, silte e areia ampliadas

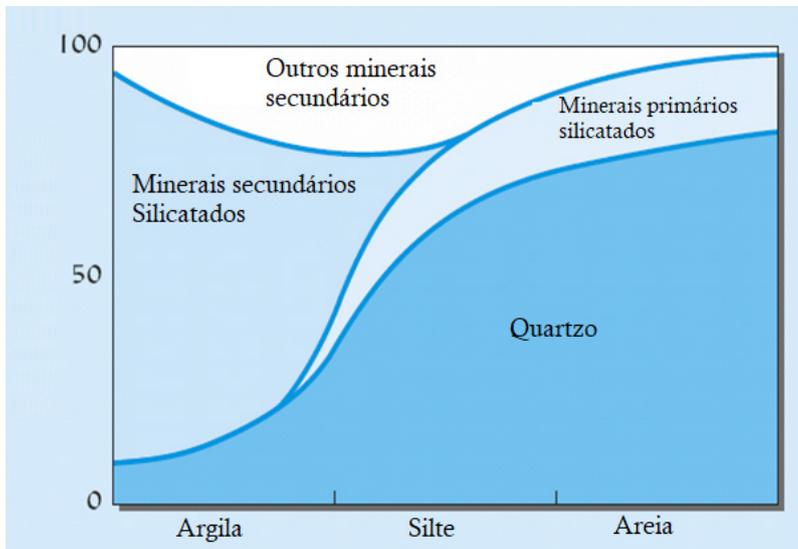


Fonte: Adaptado de Brady e Weil (2013)

A distribuição do tamanho das partículas de um solo tem estreita relação com o material de origem. Dessa forma, um solo arenoso com maior quantidade de areia em relação a silte e argila, vai conter maior proporção de quartzo. Por outro lado, a argila está relacionada a minerais secundários silicatados como, por exemplo, caulinita, montmorilonita, smectita além de outros minerais silicatados como óxidos de ferro e alumínio (Figura 15).

Além da composição química mineral de um solo, a proporção dos tipos de minerais altera outras propriedades físicas do solo, como porosidade. Maior quantidade de quartzo, por exemplo, gera maior quantidade de macroporos que, por sua vez, aumentam a aeração de um solo e, de forma contrária, maior presença de minerais secundários silicatados proporcionam solos mais argilosos que vão possuir maior quantidade de microporos que são responsáveis pelo maior armazenamento de água no solo.

Figura 15 – Relação entre o tamanho de partículas e os tipos minerais presentes no solo



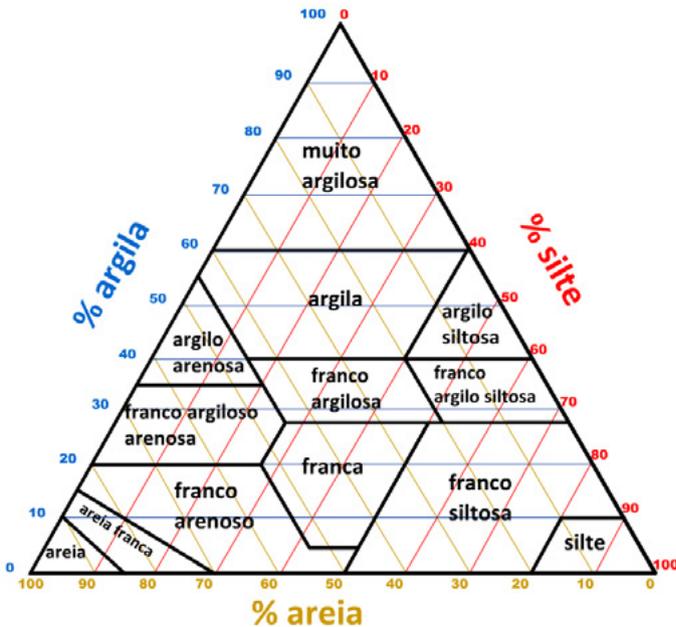
Fonte: Adaptado de Brady e Weil (2013)

Quanto ao manejo da textura de um solo, no Brasil utilizamos três grandes ordens de classificação, a serem: arenoso, argiloso e francos. Francos se refere a uma mistura de partículas de areia, silte e argila em proporções semelhantes. Porém, não significa que as proporções serão iguais, havendo

várias classificações de solos francos em função das variações de argila, silte e areia de cada solo franco.

Para compreender melhor a distribuição e a nomenclatura dos solos em relação a sua classe textural, desenvolveu-se o triângulo textural (Figura 16). A partir da análise e quantificação das proporções de areia, silte e argila de um solo é possível identificar sua classe textural. A separação principal ocorre a partir de determinadas quantidades das frações texturais como, por exemplo, solos com mais de 55% de argila sempre serão argilosos, bem como 85% de areia e 90% de silte serão classificados como solos arenosos e siltosos respectivamente, enquanto que as misturas se encaixam na classificação de francos.

Figura 16 – Triângulo textural para a classificação dos solos em relação a distribuição dos tamanhos de partículas areia, silte e argila



Fonte: Adaptado de Brady e Weil (2013)

Densidade do solo

A densidade do solo é expressa como a massa por unidade de volume de solo seco, no qual inclui partículas sólidas e o espaço poroso (BRADY; WEIL, 2013). O solo compactado apresenta redução na quantidade de macroporos e elevação em sua densidade, o que resulta em menor infiltração de água e aumento na predisposição à erosão hídrica (FOLONI; LIMA; BULL, 2006). Alterações nesse atributo físico implicam a diminuição da qualidade do solo para o crescimento radicular das culturas, diminuição da aeração e mudanças indesejáveis no comportamento da água, como redução da infiltração (MONTANARI, 2015).

É comum relacionar o crescimento radicular em solos compactados com sua densidade. Para cada solo há uma densidade crítica, a partir da qual a resistência torna-se tão elevada que diminui ou impede o crescimento de raízes. A densidade do solo crítica é dependente principalmente de sua classe textural. Argenton *et al.* (2005) constataram que, em Latossolo Vermelho argiloso, a deficiência de aeração inicia-se com densidade do solo próxima de $1,30 \text{ Mg m}^{-3}$. Reichert; Reinert; Braida (2003) propuseram densidade do solo crítica para algumas classes texturais: $1,30$ a $1,40 \text{ Mg m}^{-3}$ para solos argilosos, $1,40$ a $1,50 \text{ Mg m}^{-3}$ para os franco-argilosos e de $1,70$ a $1,80 \text{ Mg m}^{-3}$ para os franco-arenosos.

Como o crescimento de raízes ocorre no espaço poroso do solo, ele pode ser reduzido ou inexistente com o aumento da densidade, resultando no aumento da resistência à penetração das raízes (BONFIM-SILVA *et al.*, 2011). De acordo com Secco *et al.* (2004), os valores de resistência do solo de até $2,60 \text{ MPa}$ e a de densidade $1,51 \text{ Mg m}^{-3}$, em Latossolo Vermelho distroférico, na camada até $0,20 \text{ m}$, não comprometeram o rendimento de grãos de soja, em condições de campo.

Além dos efeitos da densidade sobre o desenvolvimento das plantas, ainda se verifica sua interferência na absorção de nutrientes. Como a compactação tem efeito negativo na porosidade, a disponibilidade de nutrientes para as plantas será afetada, visto que interfere nos mecanismos de fluxo de massa e difusão, que são responsáveis pelo transporte de nutrientes até as raízes. Ou seja, são processos dependentes da estrutura do solo. Além de alterar os mecanismos pelos quais os nutrientes são transportados no solo, a compactação também pode afetar a quantidade de nutrientes disponíveis (MEDEIROS; SOARES; GUIMARÃES, 2005). A compactação aumenta a interação dos íons de fosfato e de potássio com a superfície dos colóides, ao longo de sua trajetória de difusão, fazendo com que estes elementos tenham que se difundir cada vez mais próximo da superfície que os adsorve (NOVAIS; SMYTH, 1999).

Infiltração de água no solo

O conhecimento da dinâmica da água no solo é uma ferramenta importante para avaliar o sistema de manejo executado em uma área, pois está diretamente relacionado com a produção vegetal, tornando-se fundamental para decisões sobre o uso e manejo dos solos (CALHEIROS *et al.*, 2009).

A infiltração da água no solo é um processo dinâmico de penetração vertical da água através da superfície do solo e o conhecimento da taxa de infiltração da água no solo é de fundamental importância para definir técnicas de conservação do solo, planejar e delinear sistemas de irrigação e drenagem, bem como auxiliar na composição de uma imagem mais real da retenção da água e aeração no solo (GONDIM *et al.*, 2010).

A taxa de infiltração (TI) de água no solo é um importante indicador para avaliar a qualidade física do solo, devido à integralização de características como estabilidade de

agregados, selamento superficial, distribuição e tamanho de poros (REICHERT *et al.*, 2009).

A melhoria nas condições de infiltração de água no solo ocasiona uma redução nos processos erosivos e estimula a recarga dos aquíferos subterrâneos, além de reduzir as vazões máximas dos cursos d'água, sendo um componente determinante do balanço hídrico na zona radicular da cultura (CECÍLIO *et al.*, 2007).

Segundo Bernardo, Soares e Mantovani (2006), a velocidade de infiltração (VI) depende diretamente da textura e da estrutura dos solos; pode variar com a percentagem de umidade do solo, na época de irrigação; a temperatura do solo; a porosidade do solo; a existência de camada menos permeável ao longo do perfil e cobertura vegetal entre outros.

A destruição dos agregados do solo pela energia cinética das gotas de chuva e/ou pelo seu preparo mecânico intenso, por exemplo, ocasiona alteração da sua estrutura, culminando no “selamento” das camadas mais superficiais, redução da porosidade total e, principalmente, da macroporosidade, diminuindo a taxa de infiltração de água no solo (PANACHUKI *et al.*, 2006)

A VI da água no solo é uma determinação que tem sido amplamente estudada e ainda não existe um consenso geral e bem estabelecido sobre qual é a melhor técnica para a sua determinação. A infiltração da água no solo deve ser mensurada por meio de técnicas capazes de representar, adequadamente, as condições naturais em que se encontra o solo (CUNHA *et al.*, 2009).

Segundo Fagundes *et al.* (2012), vários métodos de campo têm sido utilizados para determinar a VI de um solo, com destaque do método do infiltrômetro de anel, por ser simples e de fácil execução.

Cor do solo

A cor do solo é uma característica morfológica de grande importância na ciência do solo. Por sua fácil visualização e determinação, a cor do solo, é amplamente utilizada para classificar e interpretar os solos (SANTOS *et al.*, 2005). Há mais de dois mil anos os filósofos romanos e gregos já classificavam o solo pela cor associando-a com a produtividade.

A cor é uma propriedade física da qual pode-se inferir diversas informações sobre o solo. A mudança da cor pode ser uma resposta a mudanças de relevo, vegetação, profundidade, clima, aeração, material de origem, grau de intemperismo, mineralogia e concentração de matéria orgânica. Nesse contexto, a análise da cor pode ser utilizada para obter informações sobre as propriedades do solo e do ambiente, na classificação dos solos e diferenciação dos horizontes além de exercer influência na temperatura do solo (SCHAETZL; ANDERSON, 2005).

A cor do solo é função, principalmente, da presença de óxidos de ferro (Fe) e matéria orgânica, além de outros fatores, tais como: a umidade e a distribuição do tamanho de partículas (FERNANDEZ; SCHULZE, 1987). A cor é uma característica importante na identificação e descrição do solo no campo. No atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2013), a cor, determinada por comparação com os padrões da carta de Munsell, é atributo de diferenciação de algumas classes de solos.

O acúmulo de matéria orgânica nos horizontes superficiais de um perfil de solo confere a estes uma coloração mais escura que os demais horizontes, geralmente há uma diminuição na concentração dos compostos orgânicos com o aumento da profundidade, tornando a cor dos óxidos de ferro mais aparente nos horizontes subsuperficiais (LYNN; PEARSON, 2000). Isso ocorre porque a matéria orgânica, quando

em concentração maior que 2%, desempenha grande papel na cor do solo mascarando os efeitos dos demais constituintes do solo, quando em concentrações menores que 2%, torna-se menos efetiva (SCHWERTMANN, 2008).

Estrutura do solo

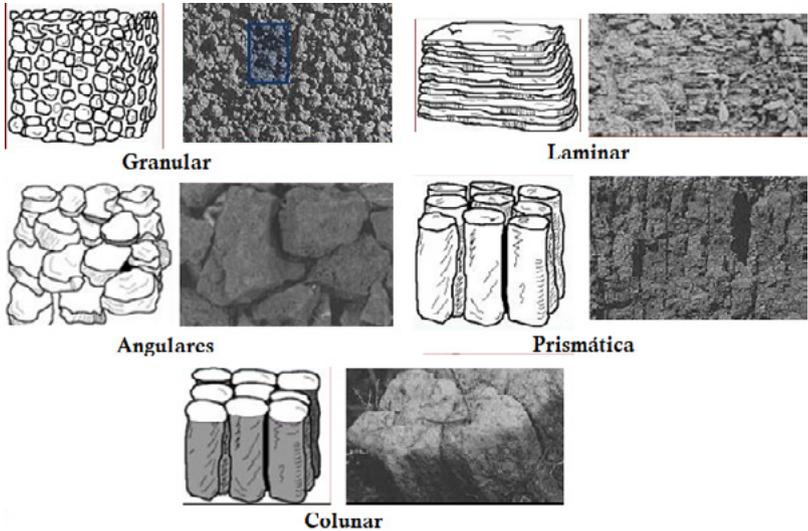
Conceitualmente, estrutura se refere ao padrão de arranjo das partículas primárias argila, silte, areia e matéria orgânica em unidades estruturais, os agregados, os quais são separados entre si por superfícies de fraqueza, ou apenas sobrepostos e sem conformação definida (SANTOS *et al.*, 2013). De acordo com Mueller *et al.* (2009), a estrutura do solo é a chave para os processos biológicos, físicos e químicos e está relacionada às funções ecossistêmicas exercidas por este recurso natural. A estrutura é influenciada diretamente pela biologia do solo, sendo fator determinante da qualidade e do equilíbrio da biodiversidade do solo. Portanto, agregação de boa qualidade traz efeitos positivos e benéficos às propriedades do solo e ao desenvolvimento das plantas; por outro lado, quando as partículas se encontram dispersas, desagregadas ou muito coesas, os resultados são muito adversos à qualidade do solo e à atividade agrícola.

Os solos apresentam diferentes tipos ou formatos de unidades estruturais, sendo que as separações dos horizontes também são locais onde ocorrem diferenciações dos tipos de unidades estruturais. Alguns solos, no entanto, podem exibir uma estrutura de grãos simples, em que as partículas não estão agregadas e, algumas práticas de manejo podem proporcionar essa desagregação que é bastante prejudicial para a produtividade de um solo.

Normalmente o que determina o tipo de estrutura de um solo é a composição das partículas básicas, areia, silte e argila, bem como a mineralogia associada, porém, em ambientes

agrícolas a estrutura tem forte relação com o manejo do solo, principalmente nas camadas mais superficiais. Na Figura 17 há alguns dos tipos de estruturas típicas em solos minerais.

Figura 17 – Diferentes tipos de estruturas típicas de solos minerais



Fonte: Adaptado de Brady e Weil (2013)

Diagnóstico rápido da estrutura do solo (Dres)

O Dres é um método para qualificar a estrutura da camada superficial do solo, baseado em características detectadas visualmente em amostras dos primeiros 25 cm. As avaliações nas amostras constam da observação de tamanho e forma dos agregados e torrões, presença ou não de feições de compactação ou outra modalidade de degradação do solo, forma e orientação das fissurações, rugosidade das faces de ruptura, resistência à ruptura, distribuição e aspecto do sistema radicular, e evidências de atividade biológica. A partir desses critérios, atribui-se uma pontuação de 1 a 6, onde "6"

é indicativo de melhor condição estrutural, e “1” representa o solo totalmente degradado.

O Dres possibilita a técnicos e produtores rurais, rápido e fácil reconhecimento dos efeitos dos diferentes sistemas de produção nas condições estruturais do solo. Auxilia no processo de tomada de decisão em relação às ações de correção ou melhoria da qualidade do manejo do solo de áreas agrícolas, com ênfase para aquelas cultivadas em Sistema Plantio Direto (SPD).

Constitui-se ainda em excelente ferramenta de transferência de tecnologias voltadas ao manejo do solo, na medida que proporciona aos interessados adequada percepção da qualidade estrutural do solo, a interpretação da relação entre o manejo adotado e a resposta obtida no campo e o entendimento de que os resultados são comparáveis mesmo para diferentes situações de campo analisadas. Com isso, pode-se avaliar a resposta de um mesmo solo a diferentes formas de manejo, de um mesmo manejo ao longo do tempo, ou efeitos imediatos de práticas agrícolas e como esses efeitos evoluem no tempo. Portanto, esta ferramenta proporciona a identificação de áreas ou situações que merecem estudos mais aprofundados ou ações de readequação do manejo.

A época de avaliação influencia os resultados do Dres, pois as operações de manejo do solo, bem como a presença e o estágio de desenvolvimento das culturas, são fatores chave que interferem diretamente nos critérios observados para atribuição das notas de qualidade estrutural no Dres. A distribuição e a morfologia das raízes presentes na amostra constituem-se em dois dos principais aspectos a serem observados na atribuição das notas de qualidade estrutural no Dres, sendo características que possuem forte dependência da época de avaliação. A quantidade de raízes presentes no solo,

em maior ou menor grau, está associada ao tempo decorrido entre a realização de práticas de manejo e operações agrícolas.

Considerações finais

Os solos são sistemas trifásicos, complexos com muitas transformações físicas, químicas e biológicas que ocorrem a todo momento, e, mesmo que algumas propriedades do solo como, por exemplo, textura, cargas negativas constantes permaneçam inalteradas com a intervenção do homem, muitas pesquisas são iniciadas todos os dias com objetivos distintos de investigação dentro da ciência do solo.

O Brasil é um caso bem-sucedido em que o desenvolvimento de pesquisas científicas em ciência do solo trouxe ótimos resultados de produtividade e eficiência produtiva. Antes da década de 70 o cerrado brasileiro era considerado pouco produtivo, devido a baixa fertilidade e o excesso de acidez dos solos, e hoje se destaca como uma das principais regiões brasileiras produtoras de grãos.

Atualmente, tem aumentado a preocupação nacional e mundial com a sustentabilidade da produção agrícola, dessa forma, o conhecimento do manejo químico, físico e mais recentemente biológico do solo são ferramentas essenciais para obtenção de bons resultados de produtividade das culturas de forma sustentável.

Referências

ALVAREZ, V. V. H.; MELLO, J. W. V.; DIAS, L. E. **Acidez e calagem do solo**. Brasília: Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior, 1996. 68 p.

ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. **Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods**. Wallingford: CAB International, 1990. 221 p.

ARGENTON, J.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; WILDNER, L. P.; Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 29, p. 425-435, 2005.

BERNARDO, S; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. Ed. Atual. e Ampl. Viçosa: UFV, 2006. 625p.

BIAN, M.; ZHOU, M.; SUN, D.; LI, C. Molecular approaches unravel the mechanism of acid soil tolerance in plants. **The Crop Journal**, v. 1, p. 91–104, 2013.

BONFIM-SILVA E. M.; ANICÉSIO E. C. A.; SILVA F. C. M.; DOURADO L. G. A.; AGUERO N. F. Compactação do solo na cultura do trigo em Latossolo do Cerrado. **Enciclopédia Biosfera**, v. 7, N. 12, 2011.

BRADY, N. C; WEIL, R. R. **Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos**. 3^a ed. Tradução técnica: Igo Fernando Lepsch. Editora Bookman, Porto Alegre, RS, 2013. 685 p.

BUFFLE, J. A. E. Les substances humiques et leurs interactions avec les ions minéraux. *In*: CONFERENCE PROCEEDINGS DE LA COMMISSION D'HYDROLOGIE APPLIQUÉE DE A.G.H.T.M., Orsay, 1977. **Proceedings** [...]. Orsay: l'Université d'Orsay, 1977. p. 3–10.

CALHEIROS, C. B. M.; TENÓRIO, F. J. C.; CUNHA, J. L. X. L.; SILVA, E. T.; SILVA, D. F.; SILVA, J. A. C. Definição da taxa de infiltração para dimensionamento de sistemas de irrigação

por aspersão. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 6, p. 665-670, 2009.

CECÍLIO, R. A.; MARTINEZ, M. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D.; ATAÍDE, W. F. Substituição dos parâmetros do modelo de Green-Ampt-Mein-Larson para estimativa da infiltração em alguns solos do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 5, p. 1141-1151, 2007.

CUNHA, J. L. X. L.; ALBUQUERQUE, A. W.; SILVA, C. A.; ARAÚJO, E. SANTOS JUNIOR, R. B. Velocidade de infiltração da água em um latossolo amarelo submetido ao sistema de manejo plantio direto. **Caatinga**, v.22, n.1, p.199-205, janeiro/março de 2009.

DUXBURY, J. M.; SMITH, M. S.; DORAN, J. M. Soil organic matter as a source and a sink of plant nutrients. In: COLEMAN, D.C.; OADES, J. M.; UEHARA, G. (ed.). **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Honolulu: University of Hawaii/NifTAL Project, 1989. p. 33-67.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Brasília-DF: Embrapa Solos, 2013. 353 p.

ERNANI, P. R. **Química de solo e disponibilidade de nutrientes**. Lages: o autor, 2008. 230 p.

FAGUNDES, E. A. A.; KOETZ, M.; RUDEL, N.; SANTOS, T. S.; PORTO, R. Determinação da infiltração e velocidade de infiltração de água pelo método de infiltrômetro de anel em solo de cerrado no município de Rondonópolis-MT **Enciclopédia Biosfera**, v.8, N.14; p. 369- 378, 2012.

FERNANDEZ, R. N.; SCHULZE, D. G. Calculation of soil color from reflectance spectra. **Soil Science Society of America Journal**, v.51, n.5, p.1277-1282, 1987.

FOLONI, J. S. S.; LIMA, S. L.; BULL, L. T. Crescimento aéreo e radicular da soja e de plantas de cobertura em camadas compactadas de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 1, p. 49-57, 2006.

FONTANA, A.; SILVA, C. F.; PEREIRA, M. G; LOSS, A.; BRITO, R. J.; BENITES, V. M. Avaliação dos compartimentos da matéria orgânica em área de Mata Atlântica. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, n. 3, p. 545-550, 2011.

FONTES, M. P. F.; CAMARGO, O. A.; SPOSITO, G. Eletroquímica das partículas coloidais e sua relação com a mineralogia de solos altamente intemperizados. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 3, p. 627-646, 2001.

GONDIM, T. M. S.; WANDERLEY, J. A. C.; SOUZA, J. M.; FEITOSAFILHO, J. C.; SOUSA, J. da S. Infiltração e Velocidade de Infiltração de Água pelo Método do Infiltrômetro de Anel em Solo Areno-Argiloso. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, v. 4, n. 1, p. 64-73, 2010.

GROHMANN, F. Superfície específica. *In*: MONIZ, A.C. (ed.). **Elementos de Pedologia**. São Paulo: Polígona, p. 111-112, 1975.

LOPES, A. S.; GUIDOLIN, J. A. **Interpretação de análise de solo: conceitos e aplicações**. 2. ed. São Paulo: ANDA, 1989. 64 p. (Boletim Técnico, 2).

LYNN, W. C.; PEARSON, M. J. **The color of soil. The Science Teacher**, v. 67, n. 5, p. 20, 2000.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Ceres, 2006. 631 p.

MEDEIROS R.D.; SOARES A. A.; GUIMARÃES R. M. Compactação do solo e manejo da água. I: Efeitos sobre a absorção de N, P, K, massa seca de raízes e parte aérea de plantas de arroz. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, p. 940-947, 2005.

MELLO, F. de A.; BRASIL SOBRINHO, M. de O. C.; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R. I.; COBRA NETO, A.; KIEHL, J. de C. **Fertilidade do solo**. São Paulo: Nobel, 1983. 400 p.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. Worblanfe-Bern: International Potash Institute, 1982, 655 p.

MEURER, E.J. **Fundamentos de química do solo**. 2. ed. Porto Alegre: Gênese, 2004. 290 p.

MONTANARI, R. **Atributos do solo e componentes produtivos da cultura da pupunha**: uma abordagem linear, geoestatística e multivariada. 106 p. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2015.

MUELLER, L.; KAY, B. D.; DEEN, B.; HU, C.; ZHANG, Y.; WOLFF, M.; EULENSTEIN, F.; SCHINDLER, U. Visual assessment of soil structure: Evaluation of methodologies on sites in Canada, China and Germany: Part I: Comparing visual methods and linking them with soil physical data and grain yield of cereals. **Soil & Tillage Research**, v. 103, p.178- 187, 2009.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399 p.

NOVAIS, R. F.; MELLO, J. W. V. Relação solo-planta. *In*: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (ed.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 133–204, 2007.

PANACHUKI, E.; ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A. C. T.; CARVALHO, D. F.; URCHEI, M. A. Avaliação da infiltração de água no solo, em sistema de integração agricultura-peçuária, com uso de infiltrômetro de aspersão portátil. **Acta Scientiarum**. v. 28, n. 1, p.129-137, 2006.

PENNELL, K. D.; BOYD, S. A.; ABRIOLA, L. M. Surface area of soil organic matter reexamined. **Soil Science Society of America Journal**, v. 59, n. 4, p. 1012–1018, 1995.

RALISCH, R.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; TOMAZI, M.; HERNANI, L. C.; MELO, A. da S.; SANTI, A.; MARTINS, A. L. da S.; BONA, F. D. de. **Diagnóstico rápido da estrutura do solo - DRES**. Londrina: Embrapa Soja, 2017. 63 p. (Embrapa Soja. Documentos, 390)

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L.; REINERT, D. J.; HORN, R.; HAKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil and Tillage Research**, v. 102, n. 2, p. 242-254, 2009.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. & BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência Ambiental**, 27:29-48, 2003.

SANTOS, R. D. dos *et al.* **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. Viçosa. SBCS/EMBRAPA/CNPS, 2005.

SANTOS, R. D. dos; LEMOS, R. C. de; SANTOS, H. G. dos; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C., SHIMIZU, S. H. dos. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 6. ed. rev. e ampl. viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Editora da UFV; Rio de Janeiro: Embrapa Solos/Editora da UFRJ, 2013.100 p.

SCHWERTMANN, U. Iron oxides. *In: Encyclopedia of soil science*. Springer Netherlands, p. 363-369. 2008.

SCHAETZL, R. J.; ANDERSON, S. Soil – **genesis and geomorphology**. Cambridge: University Press, p. 369. 2005.

SECCO D, REINERT D. J., REICHERT J. M.; ROS C. O.; Produtividade de soja e propriedades físicas de um Latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 797-804, 2004.

SHIELDS, J.A. *et al.* **Measurement of soil color**. **Canadian Journal of Soil Science**, 2011.

SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S. Matéria orgânica do solo. *In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. (ed.). Biologia dos solos dos cerrados*. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, p. 467-524, 1997.

SOLLINS, P.; SPYCHER, G.; GLASSMANN, C. A. Net nitrogen mineralization from light- and heavy-fraction forest soil organic matter. **Soil Biology and Biochemistry** v. 16, n. 1, p. 31–37, 1984.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. New York: John Wiley. 1994. 496 p.

STONER, E. R.; BAUMGARDNER, M. F. Characteristic variations in reflectance of surface soils. **Soil Science Society America Journal**, v.45, p.1161-1165, 1981.

THENG, B. K. G.; TATE, K. R.; SOLLINS, P.; MORIS, N.; NADKARNI, N. and TATE III, R.L. Constituents of organic matter in temperate and tropical soils. *In*: COLEMAN, D.C.; OADES, J. M.; UEHARA, G. (ed.). **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Honolulu: University of Hawaii/NifTAL Project, 1989. p. 5–31.

VALE, L. S.; SEVERINO, L. S.; BELTRÃO, N. E. M. Crescimento do pinhão manso em solo compactado. *In*: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, 1., Brasília, 2006. Anais

VOLKWEISS, S. J. Química da acidez dos solos. *In*: KAMINSKI, J.; VOLKWEISS, S. J.; BECKER, F. C. (ed.). **Seminário sobre Corretivos da Acidez do Solo**, 2. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, p.7–38, 1989.

WANG, Y.; AGARWAL, S.; KLOEKHORST, A.; HEERES, H. J. Catalytic hydrotreatment of humins in mixtures of formic acid/2-propanol with supported ruthenium catalysts. **ChemSusChem**, v. 9, n. 9, p. 951–961, 2016.

GRÃO-DE-BICO PARA O CULTIVO DE INVERNO PARA A REGIÃO DO NORTE DO PARANÁ

*Chickpeas for winter cultivation in the northern region
of Paraná*

Guilherme Henrique Teixeira Alves

Silvestre Bellettini

Oriel Tiago Kölln

Considerações iniciais

As pulses têm ganhado grande espaço no segmento agrícola, nos últimos anos. Pulses (palavra derivada do latim Puls, que significa sopa grossa), referem-se àquelas leguminosas de sementes secas, como feijão comum e outros feijões (feijão-caupi, feijão-mungo, etc), ervilha, lentilha e grão-de-bico. Dentre as pulses, o grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.) é uma das mais importantes espécies cultivadas no mundo, com uma produção anual entorno de 15 milhões de toneladas sendo considerado um alimento com elevado fonte nutricional (NASCIMENTO; SILVA, 2019).

A Índia é o maior produtor mundial da cultura de grão-de-bico. Em 2019, o volume de produção de grão-de-bico neste país totalizou próximo de 10 milhões de toneladas, com rendimento de grãos de 1.040 kg ha⁻¹ e área colhida de 9.547.030 ha, a Turquia em segundo com 630.000 toneladas e rendimento de grãos de 1.216,7 kg ha⁻¹ e área colhida de 517.785 ha e em terceiro está a Federação Russa com produção de 506.166 toneladas, rendimento de grãos de 917,5 kg ha⁻¹ e área colhida de 551.663 ha⁻¹ (FAO, 2019). A produção no Brasil ainda é insuficiente para atender o consumo interno, sendo assim, o país tem importado grande quantidade desta leguminosa (NASCIMENTO, 2016).

O grão-de-bico é uma leguminosa com maior área produzida no sul da Ásia e a terceira leguminosa em área produzida globalmente, atrás do feijão comum (*Phaseolis vulgaris* L.) e da ervilha (*Pisum sativum* L.) O grão-de-bico é cultivado em mais de cinquenta países (89,7% de área na Ásia; 4,3% na África; 2,6% na Oceania; 2,9% nas Américas e 0,4% na Europa) (GAUR *et al.*, 2010). As hortaliças leguminosas são alternativas ao trigo e ao feijão no cultivo de inverno em rotação à soja e ao milho. São culturas rústicas, totalmente mecanizadas e que apresentam uma boa margem de lucro para o produtor.

Há um aumento do consumo de grão-de-bico devido a vários fatores, como o estilo de vida e a população em rápido crescimento no mundo. A busca por um estilo de vida mais saudável e a importância com a qualidade nutricional dos alimentos, torna o grão-de-bico uma alternativa de consumo para este novo mercado. O grão-de-bico apresenta rica fonte de minerais (fósforo, magnésio, ferro, potássio, cobalto e o manganês) e de vitaminas do complexo B. Contém alto teor de ácidos graxos insaturados (oleico e linoleico), sendo vantajoso para dietas visando a redução do colesterol. Dispõe de uma proteína de alto valor nutritivo e boa digestibilidade (80-90%) (NASCIMENTO; PESSOA; GIORDANO, 1998). Estima-se que a população mundial atinja em 2050 aproximadamente 10 bilhões de pessoas (ONU, 2019) enquanto a população do Brasil neste mesmo ano poderá chegar próxima a 233 milhões de pessoas (IBGE, 2019).

Os maiores desafios da pesquisa brasileira para a indicação de uma nova opção para cultivo em escala são: 1) Capacidade de adaptação de espécie aos sistemas de cultivos já existentes; 2) Produção equilibrada com sustentabilidade econômica e ambiental e 3) Cultivares com alto valor nutritivo para o consumo humano e a produção de ração animal (QUEIROGA; GIRÃO; ALBUQUERQUE, 2021). Um dos principais

motivos do baixo rendimento do grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.) é a população inadequada, em que, o número de plantas por unidade de área pode influenciar o tamanho da planta, componentes de produção e, conseqüentemente, afetar a produtividade. Para que se alcance a melhor distribuição de plantas na área de cultivo, alternativas como combinação de espaçamentos e densidades de plantas, chamado de arranjo de plantas, são imprescindíveis. Tendo em vista expandir a produção dessa leguminosa no Brasil e de acordo com as exigências para o desenvolvimento da cultura, a Região Norte do Paraná tem potencial para produzir esta leguminosa em bons níveis de produtividade, buscando melhorar o conhecimento do arranjo de plantas e cultivares que obtenham melhor adaptação. Desta forma, o objetivo desse capítulo é apresentar aos leitores informações básicas e de manejo de uma cultura agrícola de inverno alternativa aquelas tradicionalmente implantadas no Paraná.

Origem e distribuição da cultura do grão-de-bico

O grão-de-bico cultivado (*Cicer arietinum* L.) foi uma das primeiras leguminosas de grão domesticada pelo homem no Velho Mundo (MANARA; RIBEIRO, 1992; VAN DER MAESEN, 1987). O centro de origem do grão-de-bico é o sudeste da Turquia, nas adjacências com a Síria. Neste local, foram encontradas três espécies selvagens do mesmo gênero: *Cicer bijugum* K.H. Rech, *C. echinospermum* P.H. Davis e *C. reticulatum*. O *Cicer reticulatum* pode ser considerado um progenitor ou talvez tenha o mesmo ancestral comum que o grão-de-bico (VAN DER MAESEN, 1987).

O grão-de-bico pertence ao gênero *Cicer*, tribo *Cicereae*, família *Fabaceae* ou *Leguminosae* e a subfamília *Papilionaceae*. O nome *Cicer* tem origem do latim, derivado da palavra grega 'kikus' que significa força ou resistência (SINGH;

DIWAKAR, 1995). Duschak (1871) derivou a origem da palavra no hebraico 'kirkes', que significa redondo. A palavra *aerietinum* também apresenta origem latina, derivada do grego 'krios', que significa carneiro devido a semente do grão-de-bico apresentar semelhança à cabeça de um carneiro (*Aries*) (VAN DER MAESEN, 1987).

Há registro de domesticação de grão-de-bico em 3.300 a.C. no Egito e no Oriente Médio (VAN DER MAESEN, 1972). Também, a domesticação ocorreu em associação com outras culturas como centeio, cevada, trigo, ervilha, linho e a lentilha na região de Israel, Jordânia e Líbano assim como algumas partes da Síria, Iraque, sudeste da Turquia e sudoeste do Irã. Esta área de cultivo é conhecida como região do Crescente Fértil (ZOHARY; HOPF, 1973).

O cultivo do grão-de-bico está se expandindo onde foi introduzido recentemente, por exemplo, na Austrália, Nova Zelândia, Estados Unidos e Canadá. No continente Africano, é cultivado principalmente na África Oriental (Sudão, Eritreia, Etiópia, Quênia, Tanzânia) e no Malawi, país da região da África Meridional, onde é cultivado principalmente, em áreas marcadas com uma estação fria (BEJIGA; VAN DER MAESEN, 2006).

Consumo e composição nutricional do grão-de-bico

Em países asiáticos em desenvolvimento, este legume é considerado a maior fonte de proteína entre as populações pobres, por possuir 20 a 22% de proteína, ainda rico em fibras, minerais (fósforo, cálcio, magnésio, ferro e zinco) e em β -caroteno (GAUR *et al.*, 2010). Há no Brasil uma grande demanda pelo consumo do grão-de-bico, já que essa leguminosa apresenta alto teor de proteína, variando de 25,3% a 28,9%, composição balanceada de aminoácidos (isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptofano e

valina), além de nutrientes como cálcio, fósforo, ferro e vitaminas A, B e B2 (NASCIMENTO, 2016). O grão-de-bico faz parte dos alimentos considerados de baixo índice glicêmico, ou seja, aqueles que entre seus benefícios promovem maior saciedade. Outro ponto favorável, está relacionado à presença do aminoácido triptofano, que é responsável pela produção da serotonina, uma substância que promove a sensação de bem-estar; por isso, algumas vezes, é chamado de grão da felicidade (NASCIMENTO; SILVA, 2019).

O grão-de-bico é mais rico em metionina que a lentilha, fava, mungo-verde, ervilha e o feijão-comum. Os carboidratos totais variam de 52 a 71%, do qual o amido é o principal componente (41 a 51%). Quanto aos teores de lipídios, variam de 3 a 7%, em torno de 67% de ácidos graxos insaturados (linoleico e oleico). As sementes são ricas em fibras (2,7 a 11,2%), principalmente no tegumento. Comparando os grupos Kabuli e Desi de grão-de-bico, pode apresentar composições diferentes de fibras: as do grupo Desi são mais ricas em fibras que as do grupo Kabuli, 8,4% a 11,2% e 2,7 a 5,4%, respectivamente (VIEIRA; VIEIRA; PINTO, 2007).

O Brasil tem importado a maioria do grão-de-bico consumido, cerca de 8.000 toneladas. Contudo, nos últimos anos, a produção vem aumentando e em 2018 passou a ocupar cerca de 8.000 hectares, o que antes era inexpressivo (NASCIMENTO; SILVA, 2019). Seus brotos podem ser consumidos como vegetais ou saladas. Os grãos podem ser consumidos verdes, secos e fritos, torrados e cozidos na forma de lanches, doces e condimentos, e também, na forma de farinhas e utilizados em sopas, pastas, confecção de pães e quando preparados com sal, pimenta e limão podem ser servidos como acompanhamentos (NASCIMENTO, 2016).

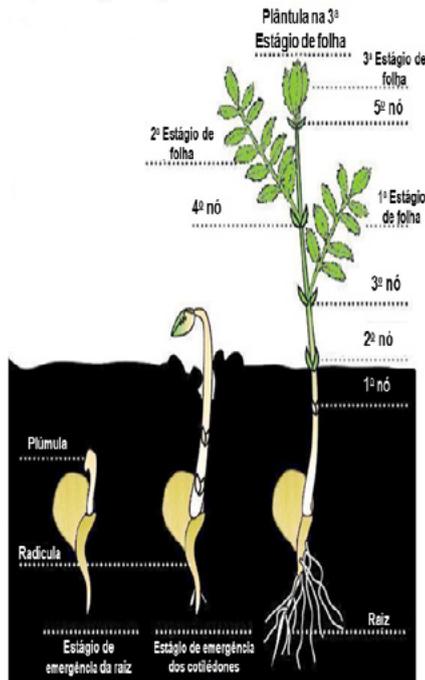
Características botânicas

O grão-de-bico é uma planta anual, herbácea. A altura da planta varia de 30 a 70 cm. Apresenta sistema radicular forte e profundo, contendo raízes primárias, secundárias e terciárias, semelhante a um pequeno arbusto. Devido a seu sistema radicular robusto, suas raízes podem chegar até 2 metros de profundidade, porém a maior concentração de raízes se encontra a 60 cm da superfície (ESHETE; FIKRE, 2015). Suas raízes laterais desenvolvem nódulos em simbiose com a bactéria *Rhizobium*, a qual é capaz de realizar a fixação de nitrogênio atmosférico em forma utilizável pelas plantas. Os nódulos são visíveis após um mês de emergência das plantas e se encontram, geralmente, a uma profundidade de 15 cm (GAUR *et al.*, 2010). A cultura pode fixar até 140 kg N ha⁻¹ do ar e atender a maior parte de sua necessidade de nitrogênio. Após a colheita, deixa uma quantidade considerável de material orgânico para manter e melhorar a saúde e a fertilidade do solo (ESHETE; FIKRE, 2015).

A profundidade de semeadura recomendada é de 3-5 cm (NASCIMENTO, 2016). A semeadura mais profunda apresenta algumas vantagens, como: redução dos riscos de danos de herbicidas pré-emergentes residuais; promove a formação precoce de raízes laterais; aumenta a sobrevivência do inóculo em solo úmido; elimina uma proporção significativa de sementes infectadas com *Ascochita* (devido a mortalidade de doenças na semente) (CUMMING; JENKINS, 2011).

A germinação das sementes do grão-de-bico (Figura 1) é do tipo hipógea, ou seja, os cotilédones permanecem no solo (VIEIRA; VIEIRA; PINTO, 2007). Esta característica oferece à planta tolerância a baixas temperaturas e capacidade de regenerar o crescimento superior caso ocorra danos no estágio de plântula (ESHETE; FIKRE, 2015).

Figura 1 - Germinação e desenvolvimento inicial



Fonte: Eshete e Fikre (2015)

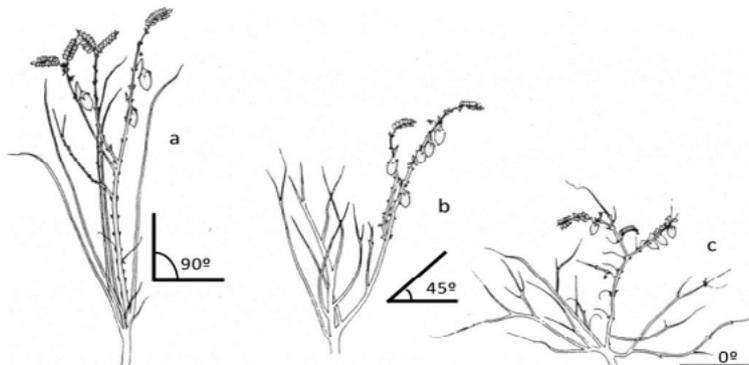
O caule do grão-de-bico é ereto, ramificado, pubescente, herbáceo e com coloração verde. Podem chegar até 1 m de altura (ESHETE; FIKRE, 2015; SINGH; DIWAKAR, 1995). Os ramos são geralmente quadrangulares, nervurados e verdes, podendo ser primários, secundários ou terciários. Os primários surgem a partir do nível do solo à medida que ocorre o desenvolvimento da plúmula, bem como dos ramos laterais. São grossos, fortes e amadeirados, variando de 1 a 8 ramos. Já os secundários, desenvolvem-se a partir dos botões presentes nos ramos primários, são menos vigorosos e podem variar de 2 a 12 ramos. Os ramos secundários são responsáveis pela

determinação do número total de folhas e, portando, da área fotossintética total. Os ramos terciários, surgem dos ramos secundários (SINGH; DIWAKAR, 1995).

A cultura apresenta uma descrição convencional a cinco classes de ramos: Primária basal (emerge das axilas foliares na parte inferior da haste principal); Primária apical (emerge das axilas foliares na parte superior da haste principal); Secundária basal (emerge das axilas foliares da haste basal); Secundária apical (emerge das axilas foliares da haste primária apical) e Terciária (emerge das axilas foliares da haste secundária basal e apical) (NASCIMENTO, 2016).

As plantas de grão-de-bico podem ter diferentes tipos de porte: ereto (ângulo dos ramos primários a 90° ao nível do solo), semiereto (ângulo de 45° em relação ao nível do solo) e rasteiro (ângulo de 0° em relação ao nível do solo) (Figura 2). Um fato importante a que deve ser levado em consideração é que à medida que o ciclo da cultura avança, os ramos primários vão se dobrando devido a sua fragilidade e ao peso que aumenta por causa do enchimento dos grãos, dificultando a colheita, principalmente nos genótipos rasteiros, onde os frutos se aproximam do solo (CARRERAS; MAZZUFERI; KARLIN, 2016).

Figura 2 - Tipos de hábitos de crescimento na cultura do grão-de-bico a) ereto, b) semiereto e c) prostrado



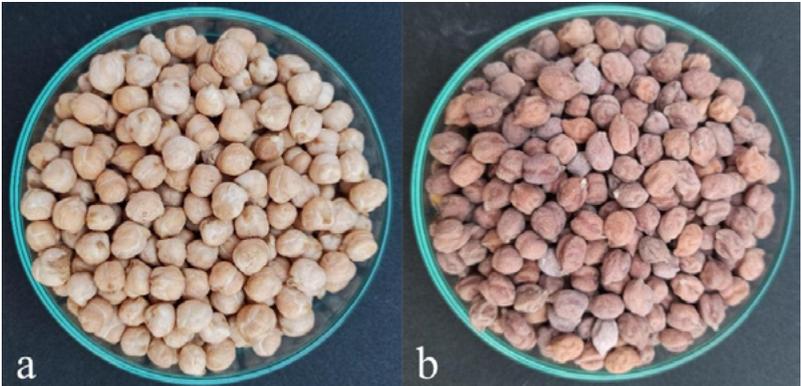
Fonte: El cultivo del garbanzo (*Cicer arietinum* L.) en Argentina (2016)

Algumas variedades de grão-de-bico apresentam folhas compostas, com 8 a 20 folíolos, enquanto que algumas apresentam folhas simples, com aparência pubescente e com raquis superior terminando em um folheto. Os folíolos apresentam formatos ovalados à elípticos ou serrilhados (SHARMA, 1984), comprimento variando de 0,6 a 2,0 cm, coloração verde-oliva, verde-escura ou azulada (ESHETE; FIKRE, 2015), e quanto à sua posição, podem ser opostos ou alternados (SINGH; DIWAKAR, 1995). A raquis mede de 3 a 7 cm de comprimento com uma depressão na superfície superior, sendo que cada raquis suporta de 10 a 15 folíolos e cada um com um pedicelo pequeno (SINGH; DIWAKAR, 1995). As primeiras folhas verdadeiras possuem dois ou três pares além de uma folha terminal e a maior parte da plântula é rica em pilosidade (NASCIMENTO, 2016). Após o desenvolvimento do sexto nó, as folhas totalmente formadas apresentam de 5-8 pares de folhetos serrilhados (10-16 folhetos). Em condições de seca, para minimizar a transpiração, os folhetos podem se

fechar ligeiramente. Apesar de possuir mais folhas e ramos do que outras culturas de leguminosas, como, por exemplo, o feijão, o desenvolvimento da parte aérea no grão-de-bico é mais lento, especialmente durante os meses frios de inverno (GRDC, 2018).

A formação de vagens começa 5-6 dias após a fertilização. O número de vagens por planta varia entre 30 e 150, dependendo das condições ambientais e do genótipo (CUBERO, 1987). O tamanho da vagem varia de 15 a 30 mm de comprimento, 7 a 14 mm de espessura e 2 a 15 mm de largura. O número de sementes por vagens varia de um a dois, sendo o máximo três sementes (SINGH; DIWAKAR, 1995). Números maiores de sementes por vagem geralmente levam à semente de menor tamanho na maturidade (MCVAY; JHA; CRUTCHER, 2017). Os dois cotilédones são separados por uma ranhura em sementes altamente enrugadas. A maioria das vagens se desenvolve na parte superior da planta, em torno de 15 a 20 cm da superfície do solo (MARGHEIM *et al.*, 2004). As sementes podem apresentar três formatos distintos: angular (formato bicado ou cabeça de carneiro), cilíndrico (formato de cabeça de coruja) e arredondado (formato da semente de ervilha). Quanto à superfície da semente, pode ser enrugada ou áspera que é característica do grupo Desi e lisa ou ligeiramente enrugada, característica do grupo Kabuli (Figura 3). O peso de 100 sementes varia de 8g a 75g (NASCI-MENTO, 2016). A cor da semente varia de esbranquiçada (até farinácea) e creme ao preto profundo. Muitas outras cores como vermelho, laranja, marrom, verde e amarelo podem ser encontradas (GRDC, 2018) (Figura 4).

Figura 3 - Sementes de grão-de-bico do grupo Kabuli (a) e Desi (b)



Fonte: Alves (2020)

Figura 4. Variações de tamanho e cores das sementes de grão-de-bico



Fonte: Varshney, Thudi, Muehlbauer (2017)

A duração do crescimento vegetativo antes da floração depende de alguns fatores como variedade, localização, disponibilidade de umidade do solo e das condições climáticas, variando geralmente de 40 a 80 dias (GAUR *et al.*, 2010). A planta de grão-de-bico apresenta hábito de crescimento indeterminado, o que possibilita o desenvolvimento de novas folhas após o florescimento (MCVAY; JHA; CRUTCHER, 2017; GAUR *et al.*, 2010). O tempo de maturação depende do tipo e da variedade, podendo variar de 95 a 110 dias (MARGHEIM *et al.*, 2004). Para Vieira, Vieira e Pinto (2007), o ciclo de vida do grão-de-bico depende do local, da época de plantio e do cultivar, variando, geralmente de 100 a 150 dias. As descrições de estádios de crescimento foram desenvolvidas para a planta de grão-de-bico com base em eventos visíveis na planta, designando em vegetativo (V) e reprodutivo (R). O estádio V foi determinado contando o número de nós desenvolvidos no ramo principal, acima do nível do solo. O último nó (superior) contado deve ter suas folhas desdobradas. Os estádios R começam quando a planta começa a florescer em qualquer nó. O R6 é caracterizado como final de florescimento e início de formação de vagens e o R8 como início de formação da semente. A maturação se inicia no estádio R10 e cessa no estádio R12 quando as plantas já se encontram com 90% das vagens douradas (GRDC, 2018). A colheita é recomendada quando 90% dos caules e vagens perderem a cor verde e apresentarem coloração amarelo escuro (GAUR *et al.*, 2010).

Grupos de grão-de-bico

As variedades são classificadas em dois grupos: Desi e Kabuli. As sementes do grupo Desi apresentam colorações que incluem várias tonalidades e combinações, podendo ser marrom, amarelo, verde, preta ou laranja. Geralmente, suas sementes são pequenas e de superfície rugosa. Há a presença

de antocianina (responsável pela coloração avermelhada dos talos e folhas) e os folíolos são de tamanho pequeno. As flores são de coloração púrpura. Quanto ao grupo Kabuli, suas sementes apresentam colorações brancas ou beges, e formato semelhante a uma cabeça de carneiro, com superfície fina e lisa. As flores são de coloração branca, devido ao fato de não apresentarem pigmentação de antocianina na haste. Suas sementes, vagens, folhas e estatura são maiores comparadas ao grupo Desi (NASCIMENTO, 2016; NASCIMENTO; SILVA, 2019; VIEIRA; VIEIRA; PINTO, 2007; GAUR *et al.*, 2010).

O grupo Desi corresponde a aproximadamente 85% da área cultivada no mundo, sendo seu consumo na forma de farinhas e grãos partidos (NASCIMENTO, 2016). Mais de 80% da produção mundial é representada pelo grupo Desi, onde é explorado como cultura de subsistência nos países produtores. No Brasil, a maioria dos grãos importados, comercializados e consumidos pertencem ao grupo Kabuli (NASCIMENTO; PESSOA; GIORDANO, 1998).

Exigências edafoclimáticas

É uma cultura de estação fria, bem adaptada a clima seco e ameno, podendo ser cultivada em regiões tropicais durante o inverno e em regiões temperadas durante a primavera e verão. A temperatura ótima para germinação das sementes é entre 20°C e 30°C pois, nestas condições a emergência das plântulas ocorre em cinco a seis dias após a semeadura (NASCIMENTO, 2016). Os intervalos de temperatura máxima e mínima durante o desenvolvimento da cultura, variam de 25 a 30°C e de 10 a 15°C, respectivamente (NASCIMENTO; PESSOA; GIORDANO, 1998). Temperaturas maiores que 35°C e menores que 15°C, podem provocar estresse durante o início da floração e desenvolvimento de vagens, afetando o rendimento da cultura. Em geral, o florescimento é atrasado em

temperaturas baixas e também em dias curtos. A temperatura, disponibilidade de umidade e duração do dia são os três principais fatores que afetam a florescência (GAUR *et al.*, 2010).

É uma cultura que se desenvolve bem em regiões com baixa a média precipitação pluviométrica e com frio moderado. Apresenta danos, quando ocorre excesso de chuvas logo após o plantio ou durante a época floração e de formação de vagens. Regiões nas quais ocorrem temperaturas altas e chuvas durante o período reprodutivo devem ser evitadas, posto que a planta de grão-de-bico pode continuar emitindo folhas por tempo indeterminado e não entrar em processo de maturação (NASCIMENTO, 2016).

Em áreas irrigadas, recomenda-se uma lâmina de água de 15 - 20 mm após a sementeira em solo seco e até a completa emergência de 4 - 6 mm a cada dois dias. Se ocorrerem chuvas durante o período, estas devem ser consideradas. Durante o período reprodutivo, deve-se priorizar turnos de rega mais espaçados (pelo menos uma por semana), com lâminas de até 10 mm, diminuindo assim, a ocorrência de doenças e sendo o suficiente para uma boa produtividade. A irrigação deve ser interrompida quando as vagens entrarem em processo de maturação fisiológica. O total de água aplicada à cultura deve ser no máximo 400 mm durante todo o seu ciclo (NASCIMENTO; PESSOA; GIORDANO, 1998; NASCIMENTO, 2016).

Cultivar, época e espaçamento de sementeira para a cultura do grão-de-bico

Para que se escolha a melhor época de sementeira do grão-de-bico é indispensável algumas considerações que sejam favoráveis ao longo do ciclo da planta e em cada estágio do seu desenvolvimento. Sendo assim, em regiões de climas mais frios, a sementeira deve ser realizada na primavera ou verão e em regiões de clima tropical, no inverno. Um outro

fato importante é que o período reprodutivo da cultura, ocorra em clima seco com temperaturas noturnas amenas, favorecendo a fecundação e evitando o abortamento de flores e um melhor pegamento das vagens. Nos cerrados brasileiros, há a opção de dois sistemas de cultivos: semeadura durante o final de janeiro até meados de fevereiro aproveitando a umidade do final das chuvas (sequeiro) ou a partir de março até 15 de maio em sucessão com milho, cultivo de inverno, com irrigação. Maiores produtividades são adquiridas em áreas de altitude acima de 600 m, sob irrigação e temperaturas noturnas em torno de 15 °C (NASCIMENTO, 2016).

Quando a cultura é irrigada, para as regiões de Minas Gerais e São Paulo, os meses mais adequados para a semeadura são março e abril. Em regiões mais quentes, norte de Minas Gerais, a semeadura é recomendada em meados de maio. Já na Região Centro-Oeste, os maiores rendimentos são obtidos com semeadura realizadas em abril ou maio (VIEIRA; VIEIRA; PINTO, 2007). Plantios mais tardios resultam em menor produtividade e maior risco de perdas na produção, devido a possibilidade de chuvas durante a colheita (NASCIMENTO; PESSOA; GIORDANO, 1998).

Para as Regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil, a semeadura entre os meses de março a maio favorece a colheita devido as menores possibilidades de chuvas e com relação a espaçamento e densidade de semeadura, recomendam 40 cm entre linhas e 10 a 15 sementes por metro (AGUIAR *et al.*, 2014).

Para o cultivo de grão-de-bico na Etiópia, a semeadura irá depender do local, precipitação pluvial, altitude, solo e maturidade específica de cada cultivar. É recomendado para solos vertissolos de média a alta altitude, a semeadura em meados de agosto ao início de setembro, dependendo da intensidade de precipitação pluvial. Semeadura em meados de agosto aumentam em até 50% o rendimento da cultura,

porém, como é uma estação chuvosa faz-se necessária uma atenção maior no período de colheita. Em casos de regiões mais escassas de chuvas ou solo mais arenoso, é recomendada a semeadura no início de julho. Quando ao espaçamento de semeadura a recomendação é 30 cm entre linhas e 10 cm entre plantas (ESHETE; FIKRE, 2015).

O espaçamento entre linhas para o cultivo do grão-de-bico no Chile, é de 40 cm e a época mais adequada para a semeadura é o mês de agosto (TAPIA, 1983). Para as condições da Espanha, a época para a semeadura é de 15 de novembro à 30 de dezembro, podendo ser estendidas até final de fevereiro, porém, com menor produção e quanto ao espaçamento entre linhas, o recomendado é 50 a 60 cm e densidades de semeadura dependendo da fertilidade do solo, podendo variar de 25 a 45 plantas m^{-1} (VEGA; GUIADO; MORILLO, 1994).

Em trabalho com comportamento de cultivares de grão-de-bico na microrregião de Viçosa, Estado de Minas Gerais, Braga, Vieira e Vieira (1997) observaram que a melhor época para plantio é o mês de abril, com ciclo predominante de 120 a 130 dias, colheita em agosto e possibilidade de produções maiores que 2.000 $kg\ ha^{-1}$, confirmando a viabilidade de cultivo para esta região.

Em estudo com o comportamento de cultivares de grão-de-bico na Zona da Mata e Norte de Minas Gerais, Vieira, Resende e Castro (1999) concluíram que as condições climáticas deste Estado são favoráveis ao grão-de-bico, se o plantio for feito do final de abril até meados de maio.

No cerrado do Planalto Central brasileiro, avaliando genótipos de grão-de-bico, Artiaga (2012) concluiu que a época mais favorável a semeadura do grão-de-bico no período de chuvas no é durante o mês de janeiro, com genótipos mais precoces com qualidade de grão demandada pelo mercado.

Para a região de Zona Rosa no México, de acordo com Prieto (2012) a época de semeadura ideal é no final de maio até início de junho, com densidades de semeadura de 25 a 30 sementes m^{-1} e espaçamentos mais estreitos, diminuindo de 52 para 26 cm entre linhas.

Na região de Montes Claros, Estado de Minas Gerais, Hoskem (2014) concluiu que a melhor época de semeadura do cultivar de grão-de-bico BRS Cícero sob sistema irrigado é o mês de junho, sendo que a altitude em torno de 760 metros apresentou melhores condições edafoclimáticas, proporcionando maior crescimento, desenvolvimento e melhor qualidade fisiológica das sementes de grão-de-bico. Também, na mesma região, Avelar *et al.* (2018) observaram que as maiores produtividades de grão-de-bico foram obtidas para a região de Montes Claros quando a semeadura foi realizada no mês de maio com produtividade de 5,3 $t\ ha^{-1}$ e para Januária no mês de junho, com produtividades acima de 3,0 $t\ ha^{-1}$.

Em Brasília, Distrito Federal, Artiaga *et al.* (2015) avaliando genótipos de grão-de-bico em três épocas de plantio (20/01, 01/03 e 21/03), concluíram que, o grão-de-bico pode ser considerado uma excelente opção de cultivo no período de sequeiro.

Para que se alcance a melhor distribuição de plantas na área de cultivo, alternativas como combinação de espaçamentos e densidades de plantas, chamado de arranjo de plantas, são imprescindíveis. O melhor arranjo de plantas é aquele que proporciona uma distribuição mais uniforme das plantas na linha de semeadura, possibilitando melhor utilização da luz, água e nutrientes. A produtividade de grãos está diretamente relacionada com arranjo das plantas, onde se busca diminuir os espaços entre fileiras com maior quantidade de plantas por área, para aumentar a produtividade. A redução do espaçamento permite melhor distribuição espacial das plantas e

arranjo e, diminui a competição com plantas daninhas, possibilitando melhor absorção de nutrientes e melhor absorção de água (ASSIS *et al.*, 2014).

Os espaçamentos de sementeiras mais largos (50 a 100 cm) são mais comuns e apresentam algumas vantagens, como: maior capacidade de semear em quantidades maiores de cobertura vegetal; sistema de plantio direto apresenta de 10-15% a mais no rendimento quanto a outros sistemas de cultivo; semeadoras de precisão fornecem mais precisão na colocação de sementes, resultando em melhor estabelecimento e estandes de plantas; colheita mais uniforme, plantas mais eretas com um conjunto de vagens mais altas. Em casos de baixos rendimentos: os maiores espaçamentos entre linhas geralmente disponibilizam um melhor desenvolvimento as plantas, devido à concentração e competição de nutrientes; sob condições de estresse de umidade, a combinação de maior espaçamento entre linhas e grande quantidade de cobertura vegetal, observaram melhores rendimentos do que em espaçamentos menores; maior acesso durante o monitoramento de pragas e; melhor circulação de ar na colheita, diminuindo níveis de umidade e, assim, evitando a gravidade de doenças fúngicas. Embora, menos comuns, os espaçamentos de sementeira mais estreitos (15 - 40 cm), também apresentam algumas características, como: potencial de maiores rendimentos acima de 1,5 ton ha⁻¹; maior competição da cultura com as plantas daninhas e; adequado para equipamentos convencionais, como semeadoras de trigo (CUMMING; JENKINGS, 2011).

De acordo com Braga (1997), a densidade de sementeira recomendada é de 15 a 20 sementes m⁻¹ e o espaçamento entre linhas de 50 cm. Nascimento, Pessoa e Giordano (1998) recomendam o espaçamento entre linhas a 50 cm e densidade de sementeira de 10 a 12 sementes m⁻¹. Já segundo Vieira, Vieira

e Pinto (2007) o espaçamento entre linhas recomendado para a cultura do grão-de-bico varia de 30 a 60 cm, com densidade de 10 a 17 sementes m^{-1} , dependendo do cultivar. Braga e Wutke (2014) recomendam o espaçamento à 40 cm e a densidade de 10 a 15 sementes m^{-1} .

O aumento nos espaçamentos entre linhas e intra-linha aumentam significativamente a altura da planta, o número de vagens por planta, a produção de sementes por planta e por parcela. Para obtenção de maior rendimento, a cultura deve ser semeada com 23 plantas por m^2 (ALI *et al.*, 1999).

Na estação de pesquisa do *Arid Zone Research Institute*, no Paquistão, em trabalho com três espaçamentos entre linhas (30, 50 e 70 cm), Khan *et al.* (2001) concluíram que todos os espaçamentos interferiram no rendimento do grão-de-bico, porém, o menor espaçamento de 30 cm produziu significativamente mais, com rendimento em torno de 2994 e 2392 kg ha^{-1} , nos dois anos avaliados, respectivamente.

Na literatura, dentre os autores brasileiros, a fim de recomendações de arranjo de plantas, encontra-se espaçamentos de semeadura entre 30 a 60 cm, o qual pode fazer total diferença no manejo da cultura. No ano de 2020, em sua pesquisa de mestrado¹, Guilherme Henrique Teixeira Alves trabalhou com a cultura do grão-de-bico na Estação Dashen, em Bandeirantes, Paraná. Objetivou avaliar o comportamento de cultivares de grão-de-bico em diferentes espaçamentos de semeadura, como uma alternativa de cultura de inverno. Neste estudo, foram observados em algumas cultivares utilizadas no trabalho, resultados promissores quanto ao cultivo do grão-de-bico na Região Norte do Paraná. Características como precocidade ao ciclo, porte de plantas, produtividade e

1 Programa de mestrado em Agronomia da Universidade Estadual do Norte do Paraná (UENP), campus Luiz Meneghel (CLM). (<https://uenp.edu.br/mestrado-agronomia>).

composições nutricionais foram imprescindíveis nas análises dos melhores tratamentos. Dentre as cultivares e espaçamentos avaliados, a BRS Aleppo no espaçamento de 40 cm apresentou a maior produtividade (dentro das médias mundiais) e manteve valores nutricionais em bons índices, o que demonstra que a Região Norte do Paraná apresenta aptidão para o cultivo do grão-de-bico como alternativa de inverno.

Considerações finais

A cultura do grão-de-bico pode sofrer sérios danos referentes aos eventos climáticos. Grande quantidade de chuvas em curtos períodos e ventos fortes, acometem as plantas de grão-de-bico, causando acamamento e dependendo do estágio em que a cultura se encontrar, os danos afetam vagens e grãos, ocasionando baixos rendimentos e má qualidade.

Ainda, referente ao acamamento, é o favorecimento ao um microclima presente entre as plantas e o solo, ficando propício ao desenvolvimento de patógenos de doenças fúngicas, como à doença mancha de *Ascochyta (Ascochyta rabiei)*.

De maneira geral, a cultura do grão-de-bico apresenta teores de macronutrientes inferiores ao encontrados em outras leguminosas, porém, para micronutrientes há resultados satisfatórios e superiores, como exemplo, o elemento Zn, demonstrando sua importância na alimentação humana.

Altos valores de fibras são encontrados nos grãos, demonstrando ser um alimento altamente fibroso e, portanto, para o consumo animal, maiores informações sobre esta compatibilidade devem ser analisadas.

Há necessidade de mais estudos relacionados a cultura do grão-de-bico e como cultura de estação fria, principalmente, em regiões de maiores altitudes no Estado do Paraná.

Análises complementares sobre a qualidade nutricional do grão-de-bico para a alimentação humana, também podem

ser ótimas propostas para estudos futuros. Existe atualmente, várias iniciativas no mundo visando incentivar o consumo e produção de alimentos com maiores teores de nutrientes².

Referências

AGUIAR, A. T. da E.; GONÇALVES, C.; PATERNIANI, M. E. A. G. Z.; TUCCI, M. L. S.; CASTRO, C. E. F. de. **Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas**. 7^a. Ed.rev. e atual. Campinas: Instituto Agrônômico, 452 p. 2014. (Boletim IAC, n.º200).

ALI, Y.; AHNASUL HAQ, M.; TAHIR, G. R.; AHMAD, N. Effect of Inter and Intra Row Spacing on the Yield and Yield Components of Chickpea. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, vol.2, n.2, p. 305-307, 1999.

ARTIAGA, O. P. **Avaliação de genótipos de grão-de-bico no cerrado do planalto central brasileiro**. 2012. 92 f. Dissertação (mestrado) – Universidade de Brasília, Brasília, DF.

ARTIAGA, O. P.; SPEHAR, C. R.; BOITEUX, L.S.; NASCIMENTO, W. M. Avaliação de genótipos de grão-de-bico em cultivo de sequeiro nas condições de cerrado. **Agrária**, v.10, p. 102-109, 2015.

ASSIS, R.T. de.; ZINELI, V.P.; SILVA, R. E. da.; COSTA, W. C. A. da.; OLIVATO, I. **Arranjo espacial de plantas na cultura da soja**. Instituto de ciências da Saúde, Agrárias e Humanas (ISAH). Araxá-MG. Circular Técnica °4. 2014.

2 No Brasil, “Nutrientes para vida” <https://www.nutrientesparaavida.org.br/> que incentiva a biofortificação de alimentos, visando uma melhoria da alimentação humana.

AVELAR, R. I. S.; COSTA, C. A. da.; ROCHA, F. da S.; OLIVEIRA, L. C. de.; NASCIMENTO, W.M. Yield of chickpeas sown at different times. **Rev. Caatinga**, Mossoró, v. 31, n.4, p. 900-906, 2018.

BEJIGA, G.; VAN DER MAESEN, L. J. G. *Cicer arietinum* L. In: Brink M. & Belay G. (Eds.). **PROTA 1: Cereals and pulses**, PROTA, Wageningen, Netherlands. 2006.

BRAGA, N. R. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed.rev. atual. Campinas, Instituto Agronômico/Fundação IAC, 1997. 285p. (Boletim Técnico 100).

BRAGA, N. R.; WUTKE, E. B. **Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas**. 7ª ed.rev. atual. Campinas: Instituto Agronômico, 2014. 452p. (Boletim IAC, n.º 200).

BRAGA, N. R.; VIEIRA, C.; VIEIRA, R. F. Comportamento de cultivares de grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.) na microrregião de Viçosa, Minas Gerais. **Revista Ceres**, v. 44, n. 255, p. 577-591, 1997.

CARRERAS, J.; MAZZUFERI, V.; KARLIN, M. **El cultivo del garbanzo em Argentina**. 1.ed. Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba, 2016. 567 p.

CUBERO, J. I. **Morphology of chickpea**. Pages 35 - 66 in *The chickpea* (Saxena, M.C., and Singh, K.B., eds.). Wallingford, Oxo, UK:CAB International, 1987.

CUMMING, G.; JENKINS, L. **Chickpea**: Effective Crop Establishment. Sowing Window, Row Spacing, Seeding Depth e Rate. Pulse Australia, Nothern Pulse Bulletin. 2011. Disponível em: http://www.pulseaus.com.au/storage/app/media/crops/2011_NPB-Chickpea-crop-establishment.pdf. Acesso em 08 de nov. de 2020.

DUSCHAK, M. Zur Botanik des Talmud, Pest. I. Neuer, **Pest**: 105-106. 1871.

ESHETE. M; FIKRE, A. **Guide For Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Production in the Southern Nations, Nationalities, and People's Region of Ethiopia**. Hawassa University, University of Saskatchewan. Canadá. 2015, 27p.

FAO. **FAOSTAT Crops**. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2019. Disponível em < <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> > Acesso em 13 de abril de 2021.

GAUR, P. M.; TRIPATHI, S.; GOWDA, C. L. L.; RANGA RAO, G. V.; SHARMA, H. C.; PANDE, S.; SHARMA, M. **Chickpea seed production manual**. Patancheru, Andhra Pradesh, India, Internacional Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. 2010. 28 p.

GRDC. **Chickpea – Section 4**: Plant Growth and Physiology. GRDC: Grains Research & Development Corporation. 2018. Disponível em: https://grdc.com.au/__data/assets/pdf_file/0029/369443/GrowNote-Chickpea-West-4-Physiology.pdf. Acesso em 30 de março de 2021.

HOSKEM, B. C. S. **Época de plantio de grão-de-bico em Montes Claros, Minas Gerais: produtividade e qualidade de sementes.** Montes Claros-MG: ICA/UFMG, 2014.

IBGE. **Projeção da população do Brasil e das Unidades de Federação.** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2019. Disponível em <https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/> Acesso em 14 de junho de 2019.

KHAN, R. U.; AHAD, A.; RASHID, A.; KHAN, A. Chickpea Production as Influenced by Row Spacing under Rainfed Conditions of Dera Ismail Khan. **Online Journal of Biological Sciences** 1 (3): 103-104, 2001.

MANARA, W.; RIBEIRO, N. D. Grão-de-bico. **Ciência Rural**, vol.22, n.3, Santa Maria, set/dec. 1992.

MARGHEIM, J. F.; BALTENSPERGER, D. D.; WILSON, R.G.; LYON, D. J.; HEIN, G. L.; HARVESON, R. M.; BURGNER, P. A.; KRALL, J. M.; CECIL, J. T.; RICKERTSEN, J. R.; MERRIGAN, A. P.; WATSON, M. H.; HANSEN, B. J. **ECo4-183 Chickpea Production in the High Plains.** Historical Materials from University of Nebraska-Lincoln Extension, 2004. 771p.

MCVAY, K. A.; JHA, P.; CRUTCHER, F. **Chickpea production.** Montana State University, Extension, 2017. 9 p.

NASCIMENTO, W.M. (Ed). **Hortaliças leguminosas.** Brasília, DF: Embrapa, 2016. 232 p.

NASCIMENTO, W. M.; PESSOA, H. B. S. V.; GIORDANO, L. de B. Cultivo do grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.). Brasília,

DF: **Embrapa Hortaliças**, 1998. 14 p. (Instruções técnicas da Embrapa Hortaliças, nº. 14).

NASCIMENTO, W. M.; SILVA, P. P. da. Grão-de-bico: nova aposta do agronegócio brasileiro. **Revista Seed News**. n.3, p.18-22, 2019.

ONU. **População mundial deve chegar a 9,7 bilhões de pessoas em 2050**. 2019. Disponível em <<https://nacoesunidas.org/populacao-mundial-deve-chegar-a-97-bilhoes-de-pessoas-em-2050-diz-relatorio-da-onu/>> Acesso em 17 de novembro de 2019.

PRIETO, G. Las legumbres: arveja y garbanzo. **Para mejorar la produccion 47** – INTA EEA OLIVEROS, p.99-102, 2012.

QUEIROGA, V. de P.; GIRÃO, Ê. G.; ALBUQUERQUE, E. M. B de. **Grão de bico (*Cicer arietinum* L.): tecnologias de plantio e utilização**. 1.ed. Campina Grande: AREPB, 2021.

SHARMA, R. D. **Algumas informações sobre a cultura do grão-de-bico (L.)**. Planaltina-DF, EMBRAPA – CPAC, 1984, 20 p (Circular técnica 18).

SINGH, F.; DIWAKAR, B. Chickpea Botany and Production Practices. Skil development series n.16. **ICRISAT**, Andhra Pradesh, India. 1995.

TAPIA, F.T. **Manejo del cultivo de garbanzos**. IPA La Platina, nº19, p. 21-23, 1983.

VAN DER MAESEN, L. J. G. **Cicer I., a monograph of the genus, with special reference to the chickpea (*Cicer***

arietinum L.), its ecology and cultivation. Mededelingen Landbouwhogeschool Wageningen. Wageningen, 1972.

VAN DER MAESEN, L. J. G. **Origin, history and taxonomy of chickpea.** In: SAXENA, M.C., SINGH, K.B. The chickpea Oxon: CAB International U.K., cap. 2, p, 11-34, 1987.

VARSHNEY, R. K.; THUDI, M.; MUEHLBAUER, F. **The Chickpea Genome (Compendium of Plant Genomes).** Springer; 1st ed. p.159, 2017.

VEGA, J. de. M. da.; GUISADO, A. M.; MORILLO, M. L. **El cultivo del garbanzo: Diseño para una agricultura sostenible.** Servicio de Información, Relación y Tramitación Agraria. Ministério de Agricultura, Pesca y Alimentacion, Madrid, 1994. 24p.

VIEIRA, R. F.; RESENDE, M. A. V. de; CASTRO, M. C. S. de. Comportamento de cultivares de grão-de-bico na Zona da Mata e Norte de Minas Gerais. 1999. **Horticultura Brasileira**, Brasília, vol.17, n.2, p.166-170.

VIEIRA, R. F.; VIEIRA, C.; PINTO, C. M. F. Grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.). In: 101 **Culturas Manual de tecnologia agrícolas.** EPAMIG, p.423-426. 2007.

ZOHARY, D.; HOPF, M. domestication of pulses in the old world. **Science**, v.182, p.887-894. 1973.

PERCEPÇÕES DE PRODUTORES ORGÂNICOS NA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS

*Perceptions of organic producers in the implementation
of agroforestry systems*

Flávio Guilherme dos Santos
Victor Ângelo Primo Bernardes
Rodrigo de Souza Poletto

Considerações iniciais

Este capítulo apresenta parte dos bastidores da execução de um Projeto de Extensão desenvolvido em três anos e que protagonizou a implantação de cinco Sistemas Agroflorestais (SAF) na área rural da cidade de Ribeirão Claro, Paraná. O início do projeto ocorreu por meio de contato com a Associação de Produtores Orgânicos (APO) dessa cidade e, seu final culminou com um evento de confraternização e apresentação dos resultados gerais. Foram realizadas trinta e quatro ações entre reuniões, cursos, coleta de material, medição de plantas, entrevistas, produção de material didático e científico (uma apostila e dois livros), com recebimento de prêmio em evento científico da área, todas descritas em um diário de bordo que chamamos de memórias.

Após avaliar todas as memórias dessas atividades, conseguiu-se inferir que a cultura do cultivo orgânico está enraizada no comportamento dos agricultores envolvidos no projeto, fato confirmado pelas observações dos tratos culturais e pelos relatos dos proprietários.

Os materiais científicos e didáticos produzidos até o momento foram significativos para verificar o crescimento da área de estudo em agroflorestas e consolidar sua efetiva execução, por meio do uso de práticas de cultivo orgânico.

Todo esse processo de desenvolvimento do projeto e suas conquistas foram possíveis, por meio do apoio de diferentes setores privados e públicos, dentre os quais, a Votorantim Energia, Laboratório Interdisciplinar de Pesquisa, Extensão e Ensino de Botânica e educação Ambiental (LIPEEBEA), Programa de Mestrado em Agronomia e o Núcleo de Estudos de Agroecologia e Territórios (Neat) da UENP, Prefeitura Municipal de Ribeirão Claro, Instituto Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural (Emater), Flora Vale de Assis-SP e Associação dos Produtores Orgânicos de Ribeirão Claro. Estes destaques só reforçam o quanto estas instituições estão envolvidas no crescimento da agricultura regional.

No entanto, um fator muito importante e ainda não apresentado à comunidade acadêmica e demais leitores, diz respeito à percepção dos agricultores no processo de implantação dos SAF na região em estudo. Portanto, este estudo objetivou determinar pontos de relação das práticas de agricultura orgânica durante o processo de implantação dos SAF e saber se foram efetivas no seu estabelecimento.

Para tanto, este capítulo foi organizado nesta sequência: considerações iniciais, referencial teórico no qual são abordados o conceito e os procedimentos de produção agroflorestal; procedimentos metodológicos; apresentação e discussão dos resultados; considerações finais e referências.

Agricultura orgânica

A agricultura orgânica no Paraná já possui raízes profundas em diversas regiões, com destaque ao Norte pioneiro do Paraná, por meio da parceria entre o Neat e a TecparCert¹, que desenvolvem o processo de certificação, com dezenas

1 Unidade do Instituto de Tecnologia do Paraná, com sede em Curitiba, oferece serviços de certificação em sistemas de gestão e produtos.

de propriedades rurais certificadas com produção dos mais diversos produtos.

Essa parceria, de acordo com Santos e Monteiro (2004), auxilia e facilita o processo de certificação das propriedades rurais, pois tanto a certificação, quanto a fiscalização e a necessária assistência técnica trazem custos adicionais aos agricultores.

Este sistema de agricultura orgânica propõe alternativas para que seja uma agricultura que utilize de insumos com efeitos adversos e dependentes de processos ecológicos e da biodiversidade, tendo como objetivo beneficiar o meio ambiente com ciência, tecnologia e inovação, afim de promover um contato mais equilibrado e justo entre ser humano e natureza, não causando assim, grandes impactos ao meio ambiente. Ainda com base na Federação Internacional dos Movimentos de Agricultura Orgânica (IFOAM), a agricultura orgânica é definida como um sistema que procura manter a saúde do solo, dos ecossistemas e das pessoas (MATTEI; MICHELLON, 2021).

É sabido que a agricultura orgânica teve seu início na década de 1920, o começo da história atrelada ao pesquisador inglês Albert Howard, o qual em viagem à Índia, conheceu as práticas de compostagem e adubação orgânica e as relatou posteriormente em seu livro **Um testamento agrícola**, de 1940. Na mesma época, Claude Aubert, na França, propagou as práticas da agricultura biológica por meio da utilização de rotação de culturas, adubos verdes, esterco, restos de culturas, palhas e outros resíduos vegetais ou animais, bem como controle natural de pragas e doenças. Além de não utilizar fertilizantes e adubos sintéticos. Rudolf Steiner, na Alemanha, também divulgou as bases da agricultura biodinâmica, buscando equilíbrio na produção e uso apenas de elementos orgânicos nas propriedades agrícolas. Entre as décadas de 1930 até

1970, estas práticas se disseminaram por vários outros países, ganhando força na medida que os malefícios da agroquímica começaram a ser identificados com maior frequência, junto a conscientização cada vez maior da sociedade em relação aos problemas ecológicos (ORMOND *et al.*, 2002; ASSIS, 2005).

Mokiti Okada em 1935, no Japão, definiu filosoficamente o que seria uma agricultura natural, tendo o solo como fonte primordial de vida e objetivando obter produtos por sistemas agrícolas que se assemelhem às condições originais do ecossistema. Bill Mollison, em 1971, na Austrália, denominou permacultura como um conceito, também como um modelo de agricultura integrada com o ambiente, fazendo uso de informações sobre direção do sol e dos ventos para determinar a disposição espacial das plantas. Em 1970, os produtos orgânicos começaram a ser comercializados na Europa, passando a ter mais força no final da década de 1980, com maior crescimento em meados dos anos 1990, quando foram alavancados pela ECO 92². Foram aumentados os pontos de venda de produtos naturais, possibilitando assim, que no final da década, os produtos orgânicos entrassem com força nos supermercados (ORMOND *et al.*, 2002; ASSIS, 2005).

Em acordo com essa linha de cultivo, há muitos anos a humanidade vêm buscando e desenvolvendo métodos novos e duráveis para prática de uma agricultura mais saudável ao meio ambiente. Nesta óptica, pesquisadores desenvolveram técnicas alternativas menos degradantes ao meio ambiente, tais como a agricultura orgânica, biodinâmica e permacultura, entre outras. Entretanto, essas alternativas não conseguiram mudar o cenário que a agricultura convencional vem provocando desde a II Guerra Mundial, visto que os problemas socioambientais continuaram e pioraram. Neste cenário onde

2 Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro no ano de 1992.

o uso degradante dos recursos naturais predominava, nasce a Agroecologia com um novo enfoque científico, com o viés de produzir mudanças nos estilos de agricultura sustentável, capaz de promover uma agricultura de base ecológica (CAPO-RAL; COSTABEBER, 2004).

Outra forma de cultivo, dentro da Agroecologia, que também protege o ambiente são os SAF. Esses sistemas “são combinações do elemento arbóreo com herbáceas e/ou animais, organizados no espaço e/ou no tempo. De modo geral, são formas de cultivos que envolvem o consórcio de árvores com a produção almejada de maneira simultânea” (POLETTO *et al.*, 2018).

Há vários tipos de SAF, o agrossilvicultural, o silvipastoril, o agrossilvipastoril e o multiestrato. O agrossilvicultural é aquele com espécies de interesse agrícola como o café consorciado com árvores florestais como eucalipto, pinheiros, mogno, que seria a combinação de árvores com cultivo agrícola. O silvipastoril é o consórcio de árvores com pastagem e nesse caso há animais envolvidos. O agrossilvipastoril é a combinação dos dois sistemas anteriores, respeitando uma sequência espacial e temporal. Já o multiestrato respeita um consórcio que abrange diversas plantas tanto de interesse agrícola, quanto de interesse florestal que combinados no espaço e tempo proporcionam um ambiente mais parecido com o natural de uma floresta (POLETTO *et al.*, 2018).

Esse sistema multiestrato foi o implantado no projeto em questão na área rural de Ribeirão Claro. Quando fazemos o exercício de relacionar o cultivo orgânico com a produção e/ou implantação de Agroflorestas podemos afirmar que esse trabalho foi pioneiro na região. No entanto, há outros que já foram desenvolvidos no Estado do Paraná na Embrapa Floresta nomeados como Projeto Agrofloresta, no qual também

foram desenvolvidos com sucesso sistemas do tipo multiestrato no litoral e Vale do Ribeira (EMBRAPA, 2014).

Encaminhamentos metodológicos

O local de estudo foi a área rural de Ribeirão Claro, Paraná, localizada a 410 km de Curitiba, capital do Estado. Essa cidade possui 10.678 habitantes, densidade demográfica de 16.97 hab/km², 799 propriedades rurais com predominância de produtores individuais (756 propriedades), 36 condomínios, consórcios ou união de pessoas, duas Sociedades Anônimas e cinco em outra condição, sendo que 620 não fazem uso de agrotóxicos, no entanto, quanto ao uso da terra havia em 2007 apenas duas propriedades com desenvolvimento de SAF (IBGE, 2017).

Para o desenvolvimento desta pesquisa foram selecionadas quatro propriedades rurais que faziam parte da APO. Todos os proprietários foram entrevistados por meio de um questionário diagnóstico participativo, o qual auxiliou também, na caracterização das propriedades e ao final do projeto foi realizada e gravada uma entrevista individual.

Nesse questionário, haviam perguntas sobre as características da propriedade, cultivos em andamento, renda aproximada, conhecimento sobre o SAF e políticas públicas para a agricultura. Já na entrevista, perguntas sobre os passos de implantação do SAF, produção inicial, vantagens e desvantagens do processo quanto a economia, ambiente e sociedade, tratos culturais oriundos da produção orgânica e o uso do solo.

Após todas as reuniões, ações, visitas técnicas e atividades desenvolvidas foram realizadas memórias digitais das informações e conhecimentos apresentados, coletados e discutidos. Tais memórias trouxeram detalhes sobre datas,

participantes, locais, tipo de atividades desenvolvidas e reflexões importantes para tomadas de decisões em cada fase do projeto.

Assim, as memórias das reuniões com os proprietários rurais e com a equipe de assessoria na implantação dos SAF e, também as entrevistas foram todas transcritas, resultando no *corpus* da pesquisa cuja análise foi qualitativa.

Portanto, a origem dos dados apresentados e analisados na pesquisa é considerada de cunho qualitativa (GIL, 1999). Segundo Moraes (2003, p. 101), a pesquisa qualitativa:

[...] pretende aprofundar a compreensão dos fenômenos que investigam a partir de uma análise rigorosa e criteriosa desse tipo de informação, isto é, não pretende testar hipóteses para comprová-las ou refutá-las ao final da pesquisa; a intenção é a compreensão.

De acordo com Yin (2016), a análise de dados qualitativos passa por cinco etapas: 1. compilação dos dados de forma cuidadosa; 2. decomposição dos dados, codificando-os; 3. recomposição dos dados buscando padrões no *corpus* de análise e 4. interpretação e 5. conclusão. No entanto, segundo Gil (2007, p. 169), devido à grande variedade de respostas coletadas, é preciso organizar o processo de análise dos dados, “realizado pelo agrupamento destes dados em categorias específicas”.

Para a análise e interpretação dos dados fez-se a codificação de todos os participantes, referenciando os quatro agricultores participantes pela letra A, seguida de um número (A1, A2, A3 e A4). A análise dos dados obtidos a partir do questionário, das entrevistas e memórias, foi realizada a partir do referencial de Yin (2016).

Por meio desta metodologia de análise é possível interpretar e dar novos significados aos dados obtidos na pesquisa, proporcionando novas compreensões acerca dos fenômenos pesquisados.

Assim, três categorias de análise foram estabelecidas ao longo do processo de pormenorização dos dados (excertos textuais extraídos dos questionários, entrevistas e memórias dos agricultores), a serem: Categoria 1 – Conceção e importância da prática orgânica no SAF; Categoria 2 – Identificação das práticas utilizadas pelos agricultores e Categoria 3 – Percepção dos agricultores sobre o interesse em implantar o SAF.

Resultados

Inicialmente, é possível relatar que um dos resultados mais expressivos deste projeto apontou um aumento de propriedades usando o SAF (IBGE, 2017) de duas em 2017 para sete em 2021 (POLETTO *et al.*, 2020). Mesmo havendo dois produtores na região que já desenvolviam o SAF, este assunto era desconhecido entre os demais agricultores, pois quando perguntado aos participantes o que sabiam sobre o tema, todos responderam que passaram a conhecê-los durante a execução das atividades do projeto. Na verdade, a falta de qualificação e conhecimento é um fator limitante no desenvolvimento de muitas práticas agrícolas importantes para nossa agricultura (SNA, 2015).

Tavares e Gardin (2011) relataram em estudo realizado em Antonina, Paraná, que o nível de conhecimento é um fator limitante para estes agricultores, tanto na tomada de decisões, quanto na escolha de qual cultura produzir, seja convencional ou agroecológica, bem como no modo de vida da família rural.

No primeiro semestre de implantação do sistema, muitos proprietários relataram também que os primeiros produtos retirados do sistema, quando havia pequenas produções

eram consumidos pelos próprios proprietários, mas quando a produção era grande eram destinados à compra direta Paraná do Município ou ao Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (Pronaf). De acordo com a Secretaria de Agricultura e Abastecimento, o programa Compra Direta Paraná visa adquirir, de forma emergencial, gêneros alimentícios da cooperativa ou associação da agricultura familiar destinando diretamente ao atendimento da rede social e assistencial do Estado, como restaurantes populares, cozinhas comunitárias, bancos de alimentos e hospitais filantrópicos, entre outros (PARANÁ, 2021).

Os principais produtos nos primeiros meses, usados para subsistência ou agregados na renda da propriedade foram: tomate cereja, abóbora, alface, rúcula, chicória, milho, quiabo, brócolis, couve, pepino, pimenta, mamão, mandioca, plantas aromáticas e medicinais. Havendo destaque na produção essencialmente de abóbora e tomate cereja (A1), pimenta (A2), milho (A3) e brócolis (A4), que trouxeram rendas suficientes para sustentabilidade econômica do início do projeto. De acordo com Steenbok e Vezzani (2013) muitos destes produtos são de ciclo curto e médio, geralmente plantados no primeiro ano de SAF e também no segundo, havendo também a produção de hortaliça, legumes e raízes como couve, repolho, brócolis, alface, rúcula, salsa, chicória, rabanete, cenoura, feijão, milho, pepino, vagem, mandioca, abóbora e abacaxi, dentre as plantas já citadas pelos agricultores do projeto.

Quadro 1 – A concepção das práticas orgânicas na visão dos agricultores participantes da implantação de SAFs em Ribeirão Claro – PR, 2021

Categoria 1 - Concepção e importância da prática orgânica no SAF na visão de todos os agricultores	
Subcategorias	UNIDADES DE ANÁLISE
Ambiental	<i>Cuidado com a saúde (A4). Cuidado com a natureza (A1; A2; A3).</i>
Econômica	<i>Melhor valor dos produtos produzidos pelo cultivo orgânico dentro do SAF (A2). O SAF é considerado uma poupança para os agricultores (A1; A2; A4). Participação no Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (Pronaf) (A4). Participação Programa Paranaense de Certificação de Produtos Orgânicos (PPCPO) (A1; A2; A3; A4).</i>
Social	<i>Produção de alimentos para as crianças das escolas da cidade (A2; A4). Oferta de alimentos de qualidades para a população da cidade e região (A4).</i>

Fonte: os autores (2018)

A análise do Quadro 1 indica a concepção de todos os agricultores quanto a importância da prática orgânica no SAF, sendo possível inferir que os proprietários envolvidos no processo de implantação já possuem uma cultura bem consolidada quanto o uso do solo e cultivo de plantas de forma orgânica, pois ambientalmente, todos se preocupam com a natureza. Segundo Caporal e Costabeber (2004), este é um cenário promovido pela Agroecologia, que surgiu com um novo enfoque científico, com o viés de produzir mudanças nos estilos de agricultura sustentável, capazes de promover uma agricultura de base ecológica.

Ainda é possível verificar no Quadro 1 que, os agricultores sabem que esse tipo de cultivo agrega valor econômico aos produtos, reforçam suas participações no Pronaf, além de relatarem que socialmente seus produtos favoreceram o público das escolas da sua cidade e região.

O fato de todos serem produtores orgânicos há mais de dez anos e participarem do Programa Paranaense de Certificação de Produtos Orgânicos (PPCPO), facilitou a aceitação na participação do projeto, ajudou no entendimento sobre os procedimentos de condução de uma agrofloresta, bem como facilitou a resolução de problemas que surgiram durante o desenvolvimento do SAF em suas propriedades, proporcionando assim, melhores resultados de estabelecimento, crescimento e produtividade das espécies vegetais introduzidas no Sistema. De acordo com uma reportagem da Agência Brasil (2015) os agricultores de origem orgânica conseguem melhores resultados na implantação de SAF.

Os agricultores relataram ter ocorrido um acréscimo financeiro à propriedade, importante no início do projeto e fundamental para seu fortalecimento, o que ficou evidenciado nos excertos “*é uma renda fora o que a gente já tem, agregou, é uma renda diferente na propriedade*” (A2) e “*sim, tiramos quiabo, abóbora e futuramente esperamos pupunha, banana, benefício econômico*” (A3). Mas houve também excertos que consolidaram o viés ambiental de se implantar o SAF nas propriedades rurais como, por exemplo, o relato do A2 “*benefício de conservação da natureza, meio ambiente e do solo*” e do A3 “*teremos benefício ambiental*”. Esses relatos estão de acordo com Schembergue *et al.* (2017) que descrevem que a Agroflorestal proporciona conservação do ambiente, pois o trabalho de análise do papel desempenhado pelos SAFs como mediador das mudanças climáticas no Brasil, realizado por estes pesquisadores, permitiu:

[...] indicarem que variáveis socioeconômicas (propriedade da terra, opções de financiamento, acesso a informações e assistência técnica) e agronômicas (disponibilidade de recursos hídricos e qualidade do

solo) influenciam a adoção de SAF's nos municípios brasileiros. As condições climáticas (temperatura e precipitação) também têm participação importante no emprego desses sistemas, o que confirma seu papel de estratégia adaptativa. Conclui-se também que os SAF's têm potencial de melhorar o desempenho agrícola brasileiro, já que o valor da terra tende a ser maior em municípios onde esses sistemas são utilizados. Desse modo, os SAF's podem tornar o setor agropecuário menos exposto aos efeitos negativos das mudanças climáticas, tanto no presente quanto em cenários futuros.

Quadro 2 – Indicação das práticas agrícolas desenvolvidas em Ribeirão Claro e suas relações, Ribeirão Claro-PR, 2021

Categoria 2 - Identificação das práticas utilizadas pelos agricultores	
Subcategorias	UNIDADES DE ANÁLISE
Técnicas sociais	<i>Plantio das plantas dos sistemas por mutirão (A2 e A4).</i>
Técnicas ambientais	<i>Roçagem de plantas daninhas (A4). Capina com enxada de plantas daninhas (A1, A2 e A3); Uso do preparo orgânico Bokashi no cultivo de hortaliças e outras plantas de ciclo curto (A4). Irrigação foi só no início e agora faz tempo que não joga água (A4).</i>
Técnicas culturais	<i>Uso de cabelo humano para controle de lebres (A1). Uso de cachorros para espantar as lebres (A4).</i>

Fonte: Os autores (2018)

Durante todo o tempo de convívio entre equipe do projeto e agricultores executores dos SAFs, ficou evidente a aplicação de inúmeras práticas (Quadro 2) na manutenção do crescimento das espécies vegetais comerciais e florestais, no combate e controle de espécies daninhas, doenças e pragas dentro do Sistema e nos seus limites com outras lavouras e pastagem, bem como no entendimento e aceitação de plantas que surgiram de forma espontânea no sistema.

Uma técnica utilizada pela maioria dos produtores, foi a de plantio em mutirão, que é geralmente a união no dia do plantio de vários vizinhos à propriedade que efetuará o plantio das plantas na área destinada ao SAF. No entanto, esse mutirão também é feito na preparação do solo, em capinas e outras práticas que necessitem de mais pessoas para que seja efetiva, como na colheita, por exemplo. Percebeu-se então, que estes mutirões agilizam todo o processo de execução daquela prática e também proporcionam o convívio entre vizinhos de cerca, mantendo relações amigáveis e produtivas na área rural, mostrando que essa cultura de respeito é fundamental para o fortalecimento da Agricultura Familiar, em especial na Região Norte pioneiro do Paraná.

Quadro 3 – Relação das percepções dos agricultores participantes da implantação dos SAFs em Ribeirão Claro – PR, 2021

Categoria 3 - Percepção dos agricultores sobre o interesse em implantar o SAF	
Subcategorias	UNIDADES DE ANÁLISE
Econômico	<i>Nós não temos condições de comprar essas mudas (todos os agricultores A1, A2, A3, A4).</i>
Ambiental	<i>Produziremos mais locais na propriedade com floresta (A1, A3 e A4). Não usamos veneno (todos os agricultores).</i>
Pessoal	<i>O meu marido desce lá no SAF e esquece da vida, aquilo é um relaxamento para ele (A1).</i>

Fonte: Os autores (2018)

Para o entendimento do sucesso no processo de implantação de um SAF é importante saber dos agricultores quais são os pontos essenciais que provocaram o interesse em participarem do projeto e executar as ações. Nesta busca, foi possível elencar fatores econômicos, ambientais e pessoais dos agricultores na aceitação deste projeto, conforme o Quadro 3. Dentre os fatores econômicos indicados, a oferta das plantas pelo projeto foi muito positiva, pois ajudou muito no início da

implantação. Há, entretanto, um fator negativo que consistiu na falta de verba para investir em mão de obra na manutenção do sistema, suprimida pelo trabalho familiar, assim como, a falta de verba para instalação de sistema de irrigação. No entanto, a maioria relatou ter sido vantajoso todo o processo.

Todavia, um dos agricultores (A2) afirmou em entrevista *“eu quero continuar no projeto e já comprei mudas de pupunha para plantar e aumentar o sistema agroflorestal”*, mostrando que todos os esforços possibilitaram entendimento quanto ao planejamento de produção na propriedade junto ao SAF.

Ambientalmente e tecnicamente as maiores dificuldades que os agricultores enfrentaram foram presença de formiga, havendo diminuição com a aplicação de produtos orgânicos, presença de lebre que foi combatida com o uso de cabelo humano que exala o cheiro humano e espanta os animais (A1). De acordo com Oliveira, Souza e Rossi (2006), esse método é eficaz porque exala o cheiro do suor humano que sentido pelo olfato aguçado das lebres faz com que se afastem do local, apesar da eficácia desse método diminuir rapidamente após chuva ou o passar dos dias, provavelmente devido a perda do odor.

Outra dificuldade foi manter mão de obra no sistema e irrigação (A2); a falta de chuva também limitou o desenvolvimento do processo (A3); e por último, a capina na roçadeira e presença de uma espécie arbórea com muitos espinhos, dificultou seu desbaste e acréscimo na matéria vegetal no solo (A4). Quanto ao solo, Steenbok e Vezzani (2013) relatam que a ideia é formar uma rede alimentar com todos os grupos de organismos presentes, o que regulam o fluxo de energia e matéria oriundo da fotossíntese, estabelecendo desta forma, um equilíbrio do sistema solo, planta e organismos.

Um fator pessoal indicado foi que o A1 gostou tanto do sistema que todos os dias realizou tratamentos culturais diversos, mostrando dedicação e paixão no cuidado com as plantas,

solo e uso da água. Por conseguinte, sua área com SAF ficou dentre as duas mais produtivas do projeto. Esse agricultor e os demais já estão se mobilizando para fazer a transição da área de Agrofloresta para área com Certificação de Produção Orgânica, pois visualizaram as vantagens desse processo. Em duas dessas áreas, a equipe da Tecpar já orientou os agricultores para darem andamento nessa transição.

Considerações finais

Os pontos de relação das práticas de agricultura orgânica durante o processo de implantação de SAF foram principalmente, vantagens econômicas na aquisição das plantas, vantagem ambiental com aumento das áreas florestais nestas propriedades participantes e não menos importantes vantagens sociais à população e escolas de Ribeirão Claro.

Assim, após todas essas indicações dos agricultores, é possível recomendar para outros agricultores da região a implantação de pequenos SAF, para que possam aumentar suas áreas verdes e reservas legais, proteger melhor o solo e os mananciais do local, aumentar o leque de produtos da propriedade e utilizar a área para realizar o processo de certificação de orgânicos feito pela parceria do Neat/UENP com a Tecpar.

E a mensagem de um dos produtores só reforça essa nossa recomendação *“se realmente o produtor tiver interesse a investir em um programa deste, pode investir, porque é um investimento do futuro, e um pedacinho a mais da propriedade pode ajudar a produzir mais alguma coisa”* (A2).

Portanto, a avaliação da percepção dos agricultores orgânicos no processo de implantação de Agroflorestas, veio para ofertar aos leitores informações e conhecimentos que possam ser utilizados para difundir a agroecologia na Região Norte pioneira do Paraná.

Referências

AGÊNCIA BRASIL. **Sistema de Agrofloresta é mais vantajoso na produção de orgânicos**, 2015. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2015-05/sistema-de-agroflorestas-e-mais-vantajoso-na-producao-de-organicos>. Acesso em 18 de jul. 2021.

ASSIS, R. L. **Agricultura orgânica e agroecologia: questões conceituais e processo de conversão**. Embrapa Agrobiologia-Documents (INFOTECA-E), 2005.

CAPORAL, F.R.; COSTABEBER, J.A. **Agroecologia e Extensão Rural: Contribuições para a Promoção do Desenvolvimento Rural Sustentável**. Porto Alegre – RS: 2004, 166p.

EMBRAPA. **Projeto Agroflorestas** - Sistema Agroflorestal Multiestrata Sucessional na Floresta Atlântica Densa do Estado do Paraná. 2014. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-projetos/-/projeto/38374/projeto-agroflorestas---sistema-agroflorestal-multiestrata-sucessional-na-floresta-atlantica-densa-do-estado-do-parana>. Acesso em: 19 de jul. de 2021.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 1999.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

GODOY, A. S. Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades: uma revisão histórica dos principais autores e obras que refletem esta metodologia de pesquisa em Ciências Sociais. **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v. 35,

n. 2, p. 57-63, mar/abr. 1995. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rae/v35n2/a08v35n2.pdf>. Acesso em 16 nov. 2019.

IBGE. 2017. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/ribeirao-claro/pesquisa/24/76693>. Acesso em 15 de jul. de 2021.

MATTEI, T. F.; MICHELLON, E. Panorama da agricultura orgânica e dos agrotóxicos no Brasil: uma análise a partir dos censos 2006 e 2017. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 59, n. 4, p. 1-23, 2021.

MORAES, R. Uma tempestade de luz: a compreensão possibilitada pela análise textual discursiva. *Ciência & Educação*, v.9, n.2, p.191-211, 2003.

OLIVEIRA, R.P.; SOUZA, T.M; ROSSI, F. **Alternativas para o manejo de lebres em pomares de citros**. Comunicado Técnico (versão online), n.135. Pelotas-RS: Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, 2006.

ORMOND, J. G. P. PAULA, S.R.L.; FAVERET FILHO, P.S.C.; ROCHA, L.T.M. **Agricultura orgânica: quando o passado é futuro**. 2002.

PARANÁ. **Compra Direta Paraná**. 2021. Disponível em: <https://www.agricultura.pr.gov.br/Pagina/Compra-Direta-Parana>. Acesso em: 19 de jul. de 2021.

POLETTI, R. S.; OLIVEIRA, R. A. G.; MACHADO, T. A.; FRANCO, D. M. **Implantação de Sistema Agroflorestal na Agricultura Familiar**. 1 ed., Cornélio Procópio: Gráfica Copro Graff, 2018, 19 p.

POLETTO, R. S.; SANTOS, F.G.; LESCANO, L. E. A. M.; FRANCO, D. M.; MACHADO; T. A.; OLIVEIRA, R. A. G.; OLIVEIRA, W. A.; ALVES, V. S. **Sistema Agroflorestal: princípios, metodologia, percepções e resultados na área rural de Ribeirão Claro (PR)**. 1 ed. Londrina: Madrepérola, 2020, 96 p.

SANTOS, G. C.; MONTEIRO, M. Sistema Orgânico de Produção de Alimentos. **Revista Alimento e Nutrição**. Araraquara, v. 15, n. 1, p. 73 – 86, 2004

SCHEMBERGUE, A.; CUNHA, D. A.; MATOS, S.; MARCEL, C.; PIRES, V.; FARIA, R.M. Sistemas Agroflorestais como Estratégia de Adaptação aos Desafios das Mudanças Climáticas no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 55, n. 1, 2017.

SNA. **Falta de qualificação, insumos e pesquisas dificulta o trabalho de produtores orgânicos**. 2015. Disponível em: <https://www.sna.agr.br/falta-de-qualificacao-insumos-e-pesquisas-dificulta-o-trabalho-de-produtores-organicos/>. Acesso em 19 de jul 2021.

STEENBOK, W.; VEZZANI, F.M. **Agrofloresta: aprendendo a produzir com a natureza**. Curitiba: Fabiane Machado Vezzani, 2013. 148p

TAVARES, A. K.; GARDIN, R. V. **A Influência do conhecimento popular sobre o modo de vida de agricultores de Antonina - PR**. Ministério da Educação: UFPR litoral, 2011, 16p.

YIN, R.K. **Pesquisa qualitativa no Início ao Fim: métodos de Pesquisa**. Porta Alegre: Penso Editora, 2016.

RIZOBACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO DE PLANTAS

Plant growth-promoting rhizobacteria

Leopoldo Sussumu Matsumoto
Michaela Fernandes Sena
Paula Fernanda de Azevedo

Considerações iniciais

A qualidade de um solo envolve a interação dos parâmetros químicos, físicos e biológicos. Quando em equilíbrio, esses parâmetros determinam sua capacidade de realizar funções, bem como de manter a produtividade das culturas em meio às limitações do ecossistema. O termo “saúde do solo” diz respeito especificamente a sua parte biológica, retratando o solo como um sistema vivo, dinâmico e diversificado em organismos vivos que demandam manejo e conservação (BONILLA *et al.*, 2012).

Alterações nas propriedades do solo, ocasionadas por seu uso inadequado, produzem efeitos negativos e desequilíbrios no sistema, principalmente, nos atributos químicos e microbiológicos, intensificando perdas de solo, matéria orgânica, carbono orgânico e nutrientes (CUNHA *et al.*, 2012; ASCARI *et al.*, 2018). Neste sentido, é necessário observar as respostas da microbiota do solo ao manejo agrícola empregado, uma vez que a aplicação de agroquímicos como herbicidas, fungicidas, inseticidas; o uso de fertilizantes minerais e outros insumos agrícolas, além de diversas outras práticas, como o revolvimento do solo, podem interferir no desenvolvimento microbiano de formas benéficas ou maléficas (PALMIERI *et al.*, 2016).

A biomassa microbiana do solo, constituída pelos microrganismos edáficos, primordialmente bactérias e fungos,

desempenha funções de extrema importância na decomposição da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes, supressão de fitopatógenos, influenciando o desenvolvimento de plantas (SHEN *et al.*, 2015; BACKER *et al.*, 2018). É um indicador sensível da mudança da qualidade do solo em sistemas agrícolas em função das práticas de manejo do solo utilizadas (HARGREAVES *et al.*, 2003; LIU *et al.*, 2014).

Interações intensivas ocorrem na zona da raiz entre planta, solo e microrganismos. Tais interações ocorrem em sua maior parte na rizosfera, caracterizada pela região do solo influenciada diretamente pelas raízes (DANTAS *et al.*, 2009). Assim, a comunidade microbiana na rizosfera é muito mais rica em bactérias do que no solo circundante (MCNEAR JUNIOR, 2013), sendo considerada o “paraíso dos microrganismos” (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

A composição e estrutura da rizosfera sofre constante mudanças ao longo do ciclo vegetativo das plantas (TERRA *et al.*, 2019). As plantas absorvem a maior parte dos nutrientes e água pelas raízes e liberam muitos exsudatos solúveis em água de baixo peso molecular, como aminoácidos, hormônios, ácidos orgânicos, açúcares e vitaminas, enriquecendo o solo e modificando a atmosfera radicular. Além dos exsudatos radiculares, a rizosfera está em contato com outros produtos derivados de plantas de alto ou baixo peso molecular, que contribuem com nutrientes para a riqueza desse nicho ecológico (ANTOUN, 2013). Dessa forma, a comunidade microbiana pode ser beneficiada ou inibida em função da presença das raízes e modificações físicas e químicas que elas produzem (DANTAS *et al.*, 2009).

Os microrganismos do solo podem ser classificados quanto ao seu efeito causado nas plantas, podendo ser benéficos, prejudiciais e neutros. Os prejudiciais são considerados patógenos, variáveis de acordo com os sintomas que

ocasionam nas plantas. Já os benéficos, simbiotes e não-simbiotes, podem interferir no desenvolvimento das plantas pela disponibilização de nutrientes minerais, produção de hormônios de crescimento, entre eles giberelinas e auxinas, além de suprimir microrganismos deletérios da rizosfera de plantas (MELO, 1998).

Entre os microrganismos benéficos habitantes do solo estão as rizobactérias. São assim denominadas por se desenvolverem na rizosfera, na superfície radicular e/ou em associação ao sistema radicular, sendo estimuladas pelos exsudatos radiculares (RATZ *et al.*, 2017). Diversas espécies de rizobactérias, simbiotes ou saprófitas de vida livre, possuem a capacidade de promover o crescimento de plantas, e, por esta razão, são chamadas de rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (RPCP) (VESSEY, 2003).

Bacillus spp., *Pseudomonas* spp., *Azospirillum* spp., *Rhizobium* spp., *Azotobacter* spp., entre outros, são os gêneros de RPCP mais estudados (ARAÚJO; GUERREIRO, 2010). Diretamente, as RPCP são capazes de disponibilizar nutrientes e sintetizar compostos como fitormônios os quais indiretamente, agem no controle de fitopatógenos e podem produzir enzimas e metabólitos secundários que previnem ou diminuem os efeitos deletérios ocasionados por eles (BACKER *et al.*, 2018). É importante ressaltar que esses processos podem ocorrer isolados ou combinados, permitindo o crescimento vegetal e aumento na produtividade das culturas (BENE-DUZI; AMBROSINI; PASSAGLIA, 2012).

A busca pelas RPCP, bem como a investigação de seus modos de ação, tem aumentado no intuito de explorá-las comercialmente, como inoculantes, biofertilizantes, entre outros produtos. Essa demanda vai de encontro à uma agricultura mais sustentável, no sentido de minimizar os impactos causados pelas práticas agrícolas nas propriedades físicas,

químicas e microbiológicas do solo, tornando-se uma opção biológica promissora para o desenvolvimento de plantas (HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ *et al.*, 2018).

Qualidade do solo

A agricultura é um dos setores mais relevantes na economia brasileira. A diversidade de solos, climas, ecossistemas, permite ao Brasil produzir alimentos diversificados, sejam frutíferas, olerícolas, cereais, entre outros (TEIXEIRA, 2005). Com relação à produção de grãos (arroz, cevada, soja, milho e trigo), o país é considerado o quarto maior produtor mundial, estando atrás apenas da China, dos Estados Unidos e da Índia. Atualmente, lidera o *ranking* de produção de soja e está em terceiro lugar na produção de milho (CONAB, 2021), o que demonstra a importância do país no setor agrícola mundial.

O solo é um recurso natural considerado a base da produção agrícola e atua não somente como suporte mecânico, sustentando o crescimento das plantas, mas também fornecendo água e nutrientes para as raízes que, posteriormente, distribuem para a planta toda e são essenciais para sua sobrevivência. Além disso, o solo é um *habitat* de muitos organismos e desempenha função primordial na reciclagem de nutrientes e destino que dado aos materiais em decomposição, sejam animais, resíduos de plantas, entre outros, os quais são reincorporados e convertidos em matéria orgânica (COELHO *et al.*, 2013).

O uso inadequado dos solos pode causar danos ao meio ambiente e à vida na terra. Se mal utilizados, por meio de práticas agrícolas como manejo intensivo, monocultura, aplicações de agroquímicos, perdem de maneira progressiva sua capacidade de produzir alimentos, fibras e energia, demandando cada vez mais investimentos no intuito de aumentar ou manter produtividades antes obtidas (ANGHINONI;

CARVALHO; COSTA, 2013). Com isso, os custos de produção dos alimentos se elevam e refletem no aumento dos produtos alimentícios (COELHO *et al.*, 2013). Araújo e Monteiro (2007) complementam que o sistema acaba por tornar-se menos sustentável, ocasionando perda de MOS, erosão e contaminação das águas subterrâneas, além de prejuízos à microbiota e seus processos bioquímicos.

A qualidade do solo não se refere apenas às suas propriedades químicas e físicas, mas também à inter-relação com seus atributos biológicos (ARIAS *et al.*, 2005). Quando em equilíbrio, esses atributos estabelecem sua aptidão em realizar funções, bem como de manter a produtividade das culturas em meio às limitações do ecossistema (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007).

Os microrganismos do solo desempenham um papel importante na sustentabilidade e manutenção dos agrossistemas. Eles contribuem com o desenvolvimento das plantas por meio de diversas formas, como na supressão de fitopatógenos, decomposição da matéria orgânica e atuação nos ciclos biogeoquímicos dos nutrientes, tornando-os disponíveis no solo, o que implica em sua fertilidade (BALOTA *et al.*, 1998; BACKER *et al.*, 2018). Além disso, melhoram a estruturação do solo, refletindo na sua capacidade de retenção de água e nutrientes (ARIAS *et al.*, 2005).

Bioindicadores da qualidade do solo

Considerada a parte viva da matéria orgânica, os microrganismos do solo, entre eles bactérias e fungos que habitam principalmente a camada superficial do solo, podem ser enquadrados como bioindicadores da qualidade do solo e refletores do seu grau de perturbação, pelo fato de serem mais sensíveis às mudanças provocadas pelas práticas de manejo, quando confrontados com indicadores químicos

(pH, capacidade de troca de cátions, teor de matéria orgânica, disponibilidade nutrientes, elementos tóxicos) e físicos (textura, estrutura, agregação, densidade, profundidade e porosidade) (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007; MATSUMOTO; MARQUES, 2015).

Biomassa microbiana, respiração basal, quocientes metabólico e microbiano e atividade de enzimas microbianas são os parâmetros microbiológicos mais utilizados (SANTOS; MAIA, 2013). Estes indicadores permitem a realização do monitoramento ou a avaliação do que ocorre no solo de um determinado local, sendo sensíveis e rapidamente responsivos às alterações do meio (SANTOS; MAIA, 2013; MATSUMOTO *et al.*, 2020).

A biomassa microbiana do solo geralmente é determinada pela quantificação de algum elemento presente em seus tecidos, normalmente, o carbono (C-BMS), sendo um indicador da quantidade de microrganismos presentes no solo. Assim, não está associada à atividade e funcionalidade dos mesmos, o que demanda a análise conjunta de outros parâmetros, como a respiração basal do solo (RBS), que mensura a emissão de dióxido de carbono pela população microbiana do solo e fornece dados referentes à atividade metabólica de tal comunidade (DE-POLLI; GUERRA, 2008; MATSUMOTO; MARQUES, 2015).

A razão entre a RBS e o C-BMS determina o quociente metabólico (qCO_2), importante por indicar tendências de estresses ocasionados por distúrbios no sistema, demonstrando a eficiência da comunidade microbiana em desempenhar funções metabólicas (ANDERSON; DOMSCH, 1993). O aumento da respiração basal pode ser um dos primeiros sinais de estresse dos microrganismos em função dos distúrbios no solo, o que leva a uma perda de carbono na forma de CO_2

devido ao desvio energético do crescimento e da reprodução para a manutenção celular (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007).

O material orgânico incorporado no solo é transformado em outros compostos pela comunidade microbiana e compõe a matéria prima para os processos metabólicos envolvendo vários nutrientes essenciais. O quociente microbiano (q_{MIC}) é determinado pela relação entre C orgânico e C microbiano, expressando a eficiência da biomassa microbiana em utilizar o C orgânico, sendo reportado como medida da qualidade da MOS (MARTENS, 1995).

Outro indicador importante da qualidade do solo é a atividade enzimática. As reações bioquímicas que ocorrem no solo estão relacionadas a enzimas, as quais são principalmente de origem microbiana e estão intimamente relacionadas com a diversidade e abundância das comunidades (MATSUMOTO; MARQUES, 2015). Enzimas importantes como β -glicosidase, arilsulfatase, fosfatase alcalina e urease, são excelentes ferramentas de monitoramento da dinâmica dos ciclos biogeoquímicos do carbono, enxofre, fósforo e nitrogênio, respectivamente (GABRIEL, 2010).

Além do conhecimento da quantidade e atividade microbiana de um solo, sua caracterização por meio da análise de diversidade é de suma importância, uma vez que os microrganismos desempenham funções diferentes no solo. Apesar de muito vasta, a diversidade de microrganismos ainda é muito desconhecida, sendo necessária uma pesquisa mais profunda e abrangente para explorar a composição da rizosfera (SHEN *et al.*, 2015).

Análises dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos do solo podem ser realizadas por diferentes métodos, diretos ou indiretos. No entanto, a interpretação dos resultados representa um dos grandes desafios na avaliação dos indicadores biológicos, considerando o envolvimento de fatores

complexos que podem interagir e influenciar o ambiente do solo. Outro aspecto relevante refere-se ao fato de que os valores considerados ideais para bioindicadores podem variar conforme tipo de solo e as condições climáticas (MENDES; SOUSA; REIS JUNIOR, 2015). Em estudo realizado por Graciano *et al.* (2020), foi proposto a validação do uso da Cromatografia Pfeiffer para o diagnóstico da qualidade do solo. A análise e interpretação dos padrões formados nas diferentes zonas permitiu a avaliação dos aspectos físicos, químicos e biológicos de distintos sistemas agrícolas, demonstrando ser uma ferramenta importante, de baixo custo e fácil execução, contribuindo com uma produção sustentável.

Influência do manejo na microbiota edáfica e no desenvolvimento vegetal

A abundância e diversidade da comunidade microbiana do solo são alteradas por muitos fatores, dentre os quais, os bióticos, como as espécies de plantas presentes, fauna edáfica, interações entre os microrganismos, genética microbiana, entre outros; ou abióticos, como composição gasosa, pH do solo, fontes nutricionais, variações sazonais das condições meteorológicas, entre as quais, temperatura e umidade e outros (COTTA, 2016). É importante ressaltar que a alta heterogeneidade dos solos, principalmente em teores de matéria orgânica, permite a ocorrência de diferentes habitats que irão influenciar diretamente na diversidade e abundância dos microrganismos que nele habitam (VOS *et al.*, 2013).

A MOS é constituída por todos os compostos que contém carbono orgânico, incluindo compostos biológicos (restos de plantas e animais em diferentes estádios evolutivos de decomposição), microrganismos e materiais vegetais não decompostos, além de organismos vivos, chamados de biomassa do solo (COELHO *et al.*, 2013; COTTA, 2016). Sua distribuição

é desuniforme e variável conforme a origem e as propriedades físicas, químicas e mineralógicas dos solos, sendo que a maioria apresenta baixos teores de matéria orgânica, entre 1 e 6%, concentrada principalmente na superfície (COELHO *et al.*, 2013).

Mesmo que em baixa concentração na grande maioria dos solos, a matéria orgânica interfere muito nas suas propriedades e no crescimento das plantas: tem papel relevante na formação e manutenção da estrutura do solo, agindo como uma “cola” que une as partículas do solo (areia, silte e argila) para formar os agregados ou torrões; aumenta a retenção de água do solo, seja da chuva ou irrigação, e a torna disponível para as plantas; além disso, melhora a capacidade do solo de reter e fornecer nutrientes minerais, tais como fósforo, enxofre, nutrientes, entre outros essenciais para a sobrevivência dos vegetais (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009; COELHO *et al.*, 2013).

Os níveis de matéria orgânica em ecossistemas equilibrados são determinados pelo balanço da produção de biomassa, estabilização de detritos e mineralização de materiais orgânicos. Práticas agrícolas ou mudanças no sistema de cultivo podem alterar os padrões de produção primários, como a estabilidade e perda de matéria orgânica. Dessa forma, modificam os teores de MOS, desestabilizando-o. A consequência disso, é alteração na composição e atividade da população microbiana, devido a uma íntima relação entre a matéria orgânica (quantidade e qualidade) e a biomassa microbiana do solo (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007).

Uma das formas para incrementar os teores de MOS seria a manipulação das características físico-químicas e microbiológicas do solo por meio de práticas de manejo que enriqueçam a biodiversidade e estimulem a atividade microbiana edáfica (BARROS *et al.*, 2014). Práticas como integração de sistemas de cultivo, uso de plantas de cobertura, utilização de bio sólidos residuais, aplicação de biofertilizantes e adubos

orgânicos, utilização de polímeros e condicionadores do solo, ativadores de microrganismos, entre outras, são muito relevantes para a manutenção e riqueza do solo (QIU *et al.*, 2012; ASCARI *et al.*, 2019; MATSUMOTO *et al.*, 2020).

As plantas representam um componente importante e ativo no ecossistema solo, pois seu sistema radicular, assim como sua necromassa depositada sobre a superfície do solo (serrapilheira/palhada), são o principal aporte de diversos compostos orgânicos que contribuem para a formação da MOS, a qual irá alimentar/nutrir os organismos heterotróficos, além de possibilitar nichos específicos no solo para os diversos organismos. A diversidade de compostos orgânicos e a qualidade e quantidade de serrapilheira depositados estão diretamente relacionados com a diversidade vegetal, pois cada espécie apresenta composição e metabolismo específicos, possibilitando a coexistência de comunidades microbianas com requerimentos nutricionais distintos (MOREIRA *et al.*, 2013).

Em sistemas integrados de produção, como em combinações de cultivo de lavouras, florestas e pastagens, na mesma área, há um aumento da diversidade vegetal. Além de contribuir com a sustentabilidade do uso da terra, favorece o desenvolvimento da biomassa microbiana em função da presença constante de vegetação, palhada diversificada e dejetos de animais sobre o solo (MATSUMOTO; MARQUES, 2015). Por meio de comparações entre os sistemas de integração lavoura-pecuária e floresta (ILPF) e sistema convencional, Souza *et al.* (2020) verificaram que os sistemas integrados apresentaram melhoria em quase todos os parâmetros avaliados. Houve maior teor de biomassa microbiana, maior teor de matéria orgânica, menor estresse, melhor eficiência na disponibilização de nutriente e maior massa seca das plantas de soja, quando comparado ao sistema convencional. Isso demonstra

a importância dos sistemas de produção integrados para a manutenção da qualidade do solo e desenvolvimento vegetal.

Outra prática importante, não somente como complementação à nutrição mineral, mas para o reestabelecimento da biodiversidade microbiana do solo, é o emprego de adubos biológicos também denominados biofertilizantes (BHARDWAJ *et al.*, 2014; FU *et al.*, 2017). São caracterizados como produtos bioativos, contendo bactérias e leveduras que realizam a fermentação de materiais de origem vegetal e animal (esterco bovino, por exemplo) juntamente com água, em um processo de compostagem líquida contínua (MEDEIROS; LOPES, 2006; SILVA *et al.*, 2007).

É importante ressaltar que a composição dos adubos biológicos varia conforme o material vegetal e resíduos de animais utilizados. Além disso, possuem macro e micronutrientes importantes para a promoção do crescimento vegetal, assim como, microrganismos benéficos vivos capazes de liberar fitormônios e suprimir o desenvolvimento de vários fitopatógenos de diferentes culturas, como *Phytophthora palmivora* (HRIDYA; BYJU; MISRA, 2013) e *Fusarium solani* (AZEVEDO *et al.*, 2021) na mandioca, *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* em bananeiras (ZHANG *et al.*, 2014; SHEN *et al.*, 2015), *Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum* em pepino (QIU *et al.*, 2012).

O efeito da aplicação de biofertilizante à base de esterco bovino, assim como o uso de plantas de cobertura sobre os atributos químicos e microbiológicos do solo e produtividade das culturas de soja e milho foi estudado por Ascari *et al.* (2019) por duas safras seguidas. Para a cultura da soja, foi observado maior altura das plantas, maior número de vagens com três sementes, maior área foliar e melhor produtividade quando cultivada principalmente após a leguminosa *Crotalaria ochroleuca* (crotalária) e, em seguida, por *Pennisetum*

glaucum (milheto), uma gramínea. Além disso, a aplicação do biofertilizante e a utilização de *C. ochroleuca* e *P. glaucum* promoveram melhorias na fertilidade do solo cultivado com soja, principalmente nos níveis de potássio, e reduziram as perdas de carbono em função da menor respiração basal e quociente metabólico (ASCARI *et al.*, 2018). Resultados semelhantes foram encontrados para a cultura do milho, demonstrando que a aplicação do biofertilizante, bem como a cobertura do solo com *C. ochroleuca* e *P. glaucum* incrementaram a fertilidade e qualidade química e microbiológica do solo, o que refletiu em melhor produtividade do milho em ambas as safras avaliadas (ASCARI *et al.*, 2019). Os autores explicam que com o processo de decomposição da palhada das plantas de cobertura, que serve de substrato para a biomassa microbiana, há liberação dos nutrientes fixados nos resíduos vegetais, os quais são mineralizados novamente pelos microrganismos do solo, contribuindo para a fertilidade e nutrição das plantas do cultivo subsequente.

A utilização de resíduos orgânicos (esterco de animais, resíduos de plantas, entre outros) nos sistemas agropecuários também tem sido sugerida no intuito de melhorar a fertilidade do solo e enriquecer a microbiana edáfica (MAZZOLA, 2004; BONANOMI *et al.*, 2007; KUMAR; KUMAR, 2019). Costa *et al.* (2015) avaliaram a produtividade do milho para silagem adubado com diferentes doses de cama de aviário de maravalha e de palha de arroz, em comparação à adubação mineral, bem como seu efeito nos parâmetros microbiológicos do solo. Os autores concluíram que, apesar do conteúdo de massa seca do milho não diferir entre os tratamentos orgânicos e mineral, a fertilização com cama de aviário estimulou a atividade microbiana do solo, promovendo maior mineralização e solubilização dos nutrientes da matéria orgânica, induzindo melhor aproveitamento do carbono do solo. Além

disso, permitiu a substituição de 2/3 da adubação mineral sem que ocorresse perdas na produção e qualidade da silagem de milho.

Outro exemplo da viabilidade da utilização de resíduos orgânicos sobre os microrganismos do solo e culturas agrícolas foi proposto por Simão *et al.* (2020). Os autores estudaram o efeito de diferentes doses de borra de café no desenvolvimento do milho e nos parâmetros microbiológicos: carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal (RBS), quociente microbiano e metabólico (q_{MIC} e q_{CO_2}). A borra de café é um dos resíduos gerados a partir da produção de café solúvel e possui uma quantidade considerável de nutrientes como nitrogênio, fósforo, potássio, ácidos fenólicos importantes na fertilidade do solo e nutrição das plantas, pois aumenta as trocas catiônicas no solo, condicionando-o (NZEKOUÉ *et al.*, 2020). O estudo demonstrou que a aplicação de 9 t ha⁻¹ da borra de café foi responsável pelo incremento nos teores de matéria orgânica e aumento significativo da biomassa microbiana e q_{MIC} . Esse aumento da atividade microbiológica permitiu melhor desenvolvimento das plantas de milho, como matéria fresca e seca, altura e diâmetro do colmo, sendo considerado 20% superior quando comparado ao tratamento controle, o que refletiu em produtividade de 42 sacas ha⁻¹ a mais em relação a testemunha. Assim, concluíram que a borra de café pode ser uma alternativa viável no uso de adubo orgânico na agricultura.

Um dos fatores muito importantes para a manutenção da atividade biológica dos solos, assim como para o desenvolvimento vegetal é a presença de água, a qual interfere na difusão de nutrientes, na motilidade microbiana, no pH e potencial redox do solo, assim como, nos valores de temperatura e aeração (COTTA, 2016). As variações de temperatura e umidade do solo resultam em ciclos de seca/umidade que

ajudam na liberação de substratos das superfícies das argilas ou de células mortas, estimulando a atividade metabólica dos solos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Desta forma, é relevante que seja adotado um manejo que auxilie na manutenção da umidade do solo, bem como incremente a quantidade de matéria orgânica, já que uma de suas funções é melhorar a capacidade de retenção de umidade do solo.

Entre os produtos utilizados na agricultura com a finalidade de melhorar as características do solo no que diz respeito à retenção de umidade, são os polímeros hidroabsorventes, também conhecidos como hidrogéis. Eles são capazes de reter água em seu próprio material, a qual é lentamente liberada no solo e disponibilizada aos vegetais mesmo em períodos de escassez de água (AZEVEDO; BERTONHA; GONÇALVES, 2002; MARQUES; PINTO, 2013).

Em estudo realizado por Matsumoto *et al.* (2020) foi avaliado a ação de adjuvantes como de retenção de água (ADRT) e de infiltração, assim como de um ativador de microrganismos do solo (AM) e de um adubo biológico na dinâmica da microbiota do solo e no desenvolvimento da soja e do milho. Verificou-se que o uso de adjuvante de infiltração (ADIF) na dose de 2,0 L na área total, proporcionou resultados satisfatórios nos parâmetros microbiológicos e agronômicos analisados. Houve aumento no carbono da biomassa microbiana do solo, maior disponibilidade e degradação da matéria orgânica pelos microrganismos comparado com a testemunha e com o adubo biológico. O volume, o peso de raiz e a massa aérea, nas duas culturas, também apresentaram resultados mais relevantes, na maior dosagem 2,0 L em área total do ADIF. Com relação ao uso de ADRT, as doses 0,5 L e 2,0 L foram as que apresentaram os resultados microbiológicos mais satisfatórios na cultura do milho, enquanto na soja foi a dose 0,5 L, proporcionando maior biomassa microbiana do solo. Assim,

concluíram que adjuvantes ADRT e ADIF na presença ou ausência de AM, interferiram diretamente na disponibilidade de água no solo, na microbiota edáfica e, conseqüentemente, no desenvolvimento das plantas avaliadas.

Rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (RPCP)

A importância da biomassa microbiana do solo para a manutenção da qualidade do solo e sustentabilidade do sistema tem sido bem relatada na literatura. Em se tratando dos microrganismos benéficos, presentes principalmente na MOS, as rizobactérias merecem destaque. São espécies de bactérias que crescem na rizosfera, na superfície radicular e/ou em associação ao sistema radicular, sendo estimuladas pelos exsudatos radiculares (RATZ *et al.*, 2017). Dentre as espécies mais bem estudadas podem-se citar *Pseudomonas fluorescens*, *P. putida*, *Azospirillum brasilense*, *Bacillus subtilis*, *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Arthrobacter*, *Enterobacter*, *Azotobacter*, entre outras (MELO, 1998; ARAÚJO; GUERREIRO, 2010).

A rizosfera é descrita por Lorenz Hiltner (1904) como a interface da raiz da planta com o solo, ou seja, a região do solo em torno das raízes habitada por uma comunidade microbiana que sofre influência direta de compostos químicos liberados pela raiz. É considerado um ambiente rico em nutrientes e, conseqüentemente, em microrganismos. A comunidade microbiana na rizosfera é muito mais rica em microrganismos do que no solo circundante, podendo ser mais de mil vezes maior que no solo não rizosférico (MCNEAR JÚNIOR, 2013). Assim, o ambiente rizosférico é considerado por alguns autores como o “paraíso dos microrganismos” (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Mais especificamente, a rizosfera é ainda dividida em ectorrizosfera e endorrizosfera. A ectorrizosfera engloba a

parte externa das raízes, já a endorrizosfera compreende os tecidos corticais. A superfície limítrofe entre a raiz e o solo é denominada rizoplano. Nessas regiões, os mais variados grupos microbianos podem interagir (CARDOSO; NOGUEIRA, 2007).

Várias interações ecofisiológicas ocorrem no ambiente rizosférico, favorecendo ou prejudicando a expressão do potencial genético da planta. As interações raiz-microrganismos são variáveis, englobando desde associações simplesmente comensais, passando pelas associações protooperativas e amensais, até as simbioses, que podem ser mutualísticas ou parasíticas (CARDOSO; NOGUEIRA, 2007). Exemplos clássicos de simbioses mutualísticas entre plantas e microrganismos são as bactérias fixadoras de nitrogênio e os fungos micorrízicos arbusculares (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

A composição e estrutura da rizosfera são afetadas ao longo do ciclo vegetativo das plantas, sendo considerada um habitat mutável (TERRA *et al.*, 2019). A população da comunidade microbiana do solo varia de acordo com as espécies de plantas; além disso, a liberação de exsudatos pela raiz pode causar alterações químicas e físicas na rizosfera, o que estimula ou inibe o crescimento microbiano nessa região, sendo esse fenômeno descrito como “efeito rizosférico” (MCNEAR JÚNIOR, 2013). Espécies de *Pseudomonas* e *Bacillus* podem ter tempos de geração menores na rizosfera do que no solo não rizosférico, e isso se deve à maior disponibilidade de substratos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; DANTAS *et al.*, 2009).

As raízes da planta se desenvolvem no solo e secretam exsudados radiculares diversificados, entre eles carboidratos, principalmente glicose, além de outras substâncias bioquímicas, como compostos fenólicos, aminoácidos, lipídeos, ácidos orgânicos e também secreções, mucilagens, mucigel e lisados celulares, que podem ser mais atrativas para algumas espécies de microrganismos do que para outras (BACKER *et al.*,

2018). Assim, para exercer seus efeitos benéficos no ambiente radicular, as rizobactérias devem ser competitivas, ou seja, capazes de competir bem com outros microrganismos por compostos secretados e por locais que podem ser ocupados na raiz (LUGTENBERG; KAMILOVA, 2009).

Nem toda bactéria que coloniza a rizosfera é considerada benéfica, podendo também haver espécies com efeitos neutros ou deletérios ao crescimento vegetal (ANTOUN, 2013). No entanto, as rizobactérias que afetam benéficamente o crescimento de uma ou mais espécies vegetais, seja direta ou indiretamente, são denominadas rizobactérias promotoras do crescimento de plantas (RPCP), constituindo um grupo grande de microrganismos (VESSEY, 2003).

Kloepper e Schroth (1981) definiram as RPCP como bactérias que vivem na rizosfera e sintetizam substâncias promotoras de crescimento vegetal; auxiliam na nutrição de plantas; realizam controle biológico de fitopatógenos; além de serem competidoras eficientes que deslocam outros organismos. Os efeitos benéficos das RPCP resultam da melhoria do crescimento e da saúde das plantas e podem ser evidenciados, principalmente, por melhor emergência, absorção de nutrientes, vigor, desenvolvimento do sistema radicular e produtividade das plantas.

Para que as RPCP tenham um efeito benéfico no crescimento da planta por meio de um aumento do estado nutricional de seu hospedeiro, é necessário haver uma relação íntima com a planta hospedeira. No entanto, o grau de intimidade pode variar dependendo de onde e como ocorre a colonização com a planta hospedeira, sendo essa relação categorizada em dois níveis de complexidade: rizosférica e endofítica (VESSEY, 2003).

Nas relações rizosféricas, as RPCP colonizam as raízes superficialmente, em função das alterações na composição

física e química do solo na rizosfera em comparação com o solo não rizosférico (MCCULLEY, 2001). Em muitas relações rizosféricas, a RPCP realmente se fixará na superfície da planta (ANDREWS; HARRIS, 2000).

As relações endofíticas podem ser divididas em facultativas e obrigatórias. As bactérias endofíticas facultativas são aquelas aptas a colonizar raízes interna e externamente, já as bactérias endofíticas obrigatórias são as que colonizam o interior de raízes. Vale evidenciar que essa colonização não ocasiona sintomas de doenças (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Os mecanismos de ação das RPCP são diversos e o efeito no crescimento vegetal pode ser induzido de forma direta, pela produção de substâncias reguladoras do crescimento de plantas (SRCP), disponibilização de nutrientes, ou indireta, pela modificação da microbiota da rizosfera devido à supressão de microrganismos deletérios e indução de respostas de defesa das plantas (ANTOUN, 2013). Em geral, acredita-se que o crescimento das plantas pela ação das RPCP ocorra por uma combinação de vários desses mecanismos (DOBBELAERE; VANDERLEYDEN; OKON, 2003).

As substâncias reguladoras do crescimento são compostos naturais que interferem nos processos fisiológicos das plantas em baixas concentrações. Endogenamente, as plantas são capazes de sintetizar tais fitohormônios, sendo categorizados em cinco classes: auxinas, giberelinas, citocininas, etileno e ácido abscísico. No entanto, muitos microrganismos do solo, entre eles algumas espécies de RPCP, também são capazes de produzir tais substâncias, que neste caso, são consideradas exógenas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

A suplementação nutricional das plantas por meio de microrganismos da rizosfera também é um dos mecanismos envolvidos na promoção de crescimento de plantas. Assim, há espécies de RPCP capazes de realizar a fixação biológica de

nitrogênio atmosférico e, também, espécies solubilizadoras de minerais contendo nutrientes como P, Ca, K, Mg e outros elementos essenciais às plantas; que previamente estavam indisponíveis às mesmas (ANTOUN, 2013).

Os mecanismos indiretos contemplam aqueles em que o efeito de promoção do crescimento vegetal acontece como consequência da atividade de populações microbianas específicas na rizosfera das plantas (ROMAGNOLI; ANDREOTE, 2016). O biocontrole de fitopatógenos ou outros organismos deletérios presentes no solo pela ação das RPCP pode ocorrer por vários processos, como pela produção de antibióticos, enzimas líticas e sideróforos, além de indução de resistência sistêmica (ANTOUN, 2013).

Os antibióticos são compostos de baixo peso molecular que, em baixas concentrações são prejudiciais ao crescimento ou a outras atividades metabólicas de outros organismos. Um exemplo é a supressão de patógenos do solo pela ação do antibiótico 2,4-DAPG produzido por *Pseudomonas fluorescens*, em um processo denominado antibiose (ROMAGNOLI; ANDREOTE, 2016).

Os microrganismos competem por nutrientes e outros elementos na rizosfera. Essa competição entre uma rizobactéria e um patógeno pode resultar em substituição ou exclusão deste último. Em condições limitantes de ferro, algumas RPCP produzem sideróforos, descritos como substâncias de baixo peso molecular com grande afinidade por íons de Fe^{3+} que quelam o ferro na rizosfera, privando e inibindo o crescimento de outros microrganismos, incluindo fitopatógenos que têm menor capacidade de competição por ferro (MELO, 1998).

Outro processo indireto relacionado a promoção de crescimento é a ativação do sistema de defesa das plantas, as quais ativam genes relacionados à patogênese, mediados por vias de sinalização de fitohormônios e proteínas regulatórias

de defesa para prepará-las contra futuro ataque de patógenos. O processo é conhecido como indução de resistência sistêmica (IRS) e envolve mudanças estruturais da planta, como a formação de novas barreiras e aumento da atividade de enzimas líticas, o que pode auxiliar na redução da incidência de doenças causadas por bactérias, fungos, nematoides, entre outros organismos (CHAPARRO *et al.*, 2012).

Azospirillum brasilense é um dos exemplos de RPCP associativas que, além de fixar nitrogênio atmosférico, é capaz de produzir fitohormônios que estimulam o crescimento das raízes de diversas espécies de plantas, principalmente gramíneas. Tien; Gaskens; Hubbel (1979), por exemplo, verificaram que os fitormônios responsáveis pelo estímulo do crescimento de raízes liberados por *A. brasilense* eram o ácido indol-acético (AIA), giberilinas e citocininas. Em estudo realizado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), foi observado que a inoculação de plantas de milho e trigo com inoculante líquido composto por cepas de *A. brasilense* resultou em aumento médio na produtividade de milho de 26% e de 31% na do trigo, em relação ao controle não inoculado (HUNGRIA, 2011).

Bactérias do gênero *Bacillus* também são consideradas promotoras de crescimento de plantas. Em estudo realizado por Oliveira *et al.* (2020) foi averiguado o efeito de um inoculante comercial, composto por cepas de *B. megaterium* e *B. subtilis*, sobre o desenvolvimento da soja e do milho em várias regiões produtoras. Foi observado que em todos os locais a produtividade de grãos foi maior nas áreas inoculadas em comparação às áreas não inoculadas, sendo o ganho médio de até 29,4% para a cultura do milho e de até 18,5% para a cultura da soja, demonstrando viabilidade do uso do produto. De acordo com os pesquisadores, a promoção no crescimento foi possível principalmente devido à capacidade

de solubilização de fosfatos, bem como de produção de fitohormônios pelas espécies.

A influência de *Bacillus* sp. no desenvolvimento de soja e milho a campo, bem como nos atributos químicos e microbiológicos do solo, também foi comprovada em estudo realizado por Alves *et al.* (2021). As sementes das culturas foram inoculadas com duas doses de *Bacillus* sp., na concentração de 10^9 UFC mL⁻¹, sendo 10 e 20 mL por 100 Kg de sementes de soja e 80 e 100 mL por 100 Kg de sementes de milho. A bactéria foi isolada de amostras de solo de uma área agrícola que havia recebido aplicação de um biofertilizante por três anos consecutivos. Para soja, os resultados mostraram que melhor atividade microbiana foi alcançada na dose de 20 mL de *Bacillus* sp. Além do aumento significativo do carbono da biomassa microbiana, houve uma melhor taxa de decomposição e mineralização da matéria orgânica no solo (*q*MIC), bem como respiração basal e estresse metabólicos inferiores, o que influenciou positivamente no peso dos grãos e produtividade. Na cultura do milho, a dose de 80 ml de *Bacillus* sp. mostrou melhor desempenho nos atributos químicos e microbiológicos, resultando em aumento da massa da parte aérea e da raiz, assim como acréscimo da produtividade. Os autores concluíram que, independente da dose aplicada, a inoculação da bactéria não prejudicou o desenvolvimento das plantas, mostrando um grande potencial para o desenvolvimento de inoculantes comerciais.

Outro estudo importante envolvendo a promoção de crescimento vegetal com inoculação de RPCP do gênero *Bacillus* foi realizado por Paula; Demétrio; Matsumoto (2021). Os pesquisadores propuseram a caracterização de 15 isolados bacterianos de *Bacillus* spp. quanto a sua atividade biológica e promoção de crescimento de soja em casa de vegetação. As bactérias foram isoladas de solo rizosférico de áreas

com constante aplicação de adubo biológico e foram avaliadas quando à produção de enzimas (amilase e protease), fixação de nitrogênio, atividade antagônica a fungos fitopatogênicos e produção de Ácido Indol Acético (AIA). Além disso, avaliou-se o desenvolvimento da soja após a inoculação, bem como os atributos do solo. Os resultados obtidos mostraram que dos 15 isolados, 8 apresentam a produção de amilase ou protease, ou ambos, e 4 isolados foram capazes de fixar nitrogênio livre. Com relação à atividade antagonista considerada de moderada a alta, a porcentagem de isolados foi de 73,3%, 66,6% e 73,3% contra os fungos *Sclerotinia sclerotiorum*, *Macrophomina phaseolina* e *Fusarium solani*, respectivamente. A produção do AIA variou de 8,56 a 31,33 $\mu\text{g mL}^{-1}$, sendo que 5 isolados apresentaram baixa produção, 6 isolados com produção moderada e 4 isolados com alta produção. O desenvolvimento da soja foi significativamente maior em 80% dos tratamentos inoculados com os isolados bacterianos. Assim, os pesquisadores concluíram que 5 isolados bacterianos (ISO1, ISO2, ISO3, ISO4 e ISO5) se destacaram em todas as variáveis avaliadas, demonstrando potencial biotecnológico para a utilização como inoculante (biofertilizante) no desenvolvimento de soja.

Considerações finais

É crescente o uso de tecnologias utilizando rizobactérias com o intuito de explorá-las comercialmente em produtos como inoculantes ou biofertilizantes, no sentido de minimizar os impactos causados pelas práticas agrícolas, entre elas o manejo intensivo do solo, aplicações excessivas de agroquímicos, fertilização mineral pesada, entre outras, sobre as propriedades físicas, químicas e microbiológicas do solo. Assim, os produtos de origem biológica são considerados uma opção mais sustentável para o sistema de produção agrícola

visto a importância dos mecanismos de ação das RPCP sobre a manutenção da qualidade do solo e promoção de crescimento das plantas.

Referências

ALVES, A. J.; SENE, D. W.; PAULA, G. F., DEMÉTRIO, G. B.; MATSUMOTO, L. S. Influence of *Bacillus* sp. on soil chemical and microbiological attributes and development of soybean and maize. **Revista Mexicana Ciencias Agrícolas**, v. 12, n. 3, p. 384-393, 2021.

ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient of CO₂ (qCO_2) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental condition, such as pH, on the microbial of forest soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 25, n. 3, p. 393-395, 1993.

ANDREWS, J. H.; HARRIS, R. F. The ecology and biogeography of microorganisms on plant surfaces. **Annual Review of Phytopathology**, v. 38, p.145-180, 2000.

ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; COSTA, S. E. V. G. A. Abordagem sistêmica do solo em sistemas integrados de produção agrícola e pecuária no subtropical brasileiro. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 8, p. 325-380, 2013.

ANTOUN, H. Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria. **Brenner's Encyclopedia of Genetics**, 2nd edition, v. 5, 2013.

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, v. 23, n. 3, p. 66-75, 2007.

ARAÚJO, F. F.; GUERREIRO, R. T. Bioprospection of *Bacillus* isolates promoters of corn growth in natural and sterile soil. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 4, n. 34, p. 837-844, 2010.

ARIAS, M. E., PÉREZ, J. A. G., GONZÁLES-VILA, F. J., BALL, A. S. Soil health—a new challenge for microbiologists and chemists. **International Microbiology**, v. 8, n. 1, p. 13-21, 2005.

ASCARI, J. P.; ARAÚJO, D. V.; MENDES, I. R. N.; DALLACORT, R.; MATSUMOTO, L. S. Biological fertilizer and cover plants on soil attributes and maize yield. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 32, n. 3, p. 709 – 718, 2019.

ASCARI, J. P.; ARAÚJO, D. V.; MENDES, I. R. N.; FOSCHIERA, M. V.; PRIETO, R. S.; BARBOZA, W. H. M.; KRAUSE, W.; MATSUMOTO, L. S. Quality of Soil in the function of biological fertilization and plant covering. **African Journal of Agricultural Research**, v. 13, n. 15, p. 733-741, 2018.

AZEVEDO, P. F.; ALMEIDA, A. C.; MARQUES, R. D.; COSTA, C. L.; BENEDETTI, A. R.; LESCANO, L. E. A. M.; CARVALHO, M. C. C. G.; MATSUMOTO, L. S. In vitro inhibition of *Fusarium solani* by *Trichoderma harzianum* and biofertilizer. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, e5210312994, 2021.

AZEVEDO, T. L.; BERTONHA, A.; GONÇALVES, A. C. A. Uso de hidrogel na agricultura. **Revista do Programa de Ciências Agro-Ambientais**, v. 1, n. 1, p. 23-31, 2002.

BACKER, R.; ROKEM, J. S.; ILANGUMARAN, G.; LAMONT, J.; PRASLICKOVA, D.; RICCI, E.; SUBRAMANIAN, S.; SMITH, D. L. Plant Growth-Promoting Rhizobacteria: Context,

Mechanisms of Action, and Roadmap to Commercialization of Biostimulants for Sustainable Agriculture. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, n. 1473, 2018.

BALOTA, E. L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D. S.; HUNGRIA, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n.4, p. 641-649, 1998.

BARROS, J. A.; MEDEIROS, E. V.; NOTARO, K. A.; MORAES, W. S.; SILVA, T. C. E. S.; MOREIRA, K. A. Different cover promote sandy soil suppressiveness to root rot disease of cassava caused by *Fusarium solani*. **African Journal of Microbiology Research**, v. 8, n. 10, p. 967–973, 2014.

BENEDUZI, A.; AMBROSINI, A.; PASSAGLIA, L. M. P. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): their potential as antagonists and biocontrol agents. **Genetics and Molecular Biology**, v. 35, n. 4 (suppl), p. 1044- 1051, 2012.

BHARDWAJ, D.; ANSARI, M. W.; SAHOO, R. K.; TUTEJA, N. Biofertilizers function as key player in sustainable agriculture by improving soil fertility, plant tolerance and crop productivity. **Microbial Cell Factories**, v. 13, n. 66, 2014.

BONANOMI, G.; ANTIGNANI, V.; PANE, C.; SCALA, F. Suppression of soilborne fungal diseases with organic amendments. **Journal of Plant Pathology**, v. 89, v. 89, p. 311-324, 2007.

BONILLA, N.; GUTIÉRREZ-BARRANQUERO, J. A.; VICENTE, A.; CAZORLA, F. M. Enhancing Soil Quality and

Plant Health Through Suppressive Organic Amendments. **Diversity**, v. 4, n. 4, p. 475-491, 2012.

CARDOSO, E. J. B. N.; NOGUEIRA, M. A. A rizosfera e seus efeitos na comunidade microbiana e na nutrição de plantas. *In*: SILVEIRA, A. P. D.; FREITAS, S. S. **Microbiota do solo e qualidade ambiental**. Campinas: Instituto Agronômico, 2007. 312 p.

CHAPARRO, J. M.; SHEFLIN, A. M.; MANTER, D. K.; VIVANCO, J. M. Manipulating the soil microbiome to increase soil health and plant fertility. **Biology and Fertility of Soils**, v. 48, 489– 499, 2012.

COELHO, M. R.; FIDALGO, E. C.; SANTOS, H. G.; BREFIN, M. L. M. S.; PÉREZ, D. V. Solos: tipos, suas funções no ambiente, como se formam e sua relação com o crescimento de plantas. *In*: MOREIRA, F. M. S.; CARES, J. E.; ZANETTI, R.; STURNER, S. L. **O ecossistema solo: componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal**. Lavras: Ed. UFLA, 2013. 353 p.

CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento**. Acomp. safra brasileira de grãos, v.8– Safra 2020/21, n.10 – Décimo levantamento, Brasília, p. 1-110, julho 2021. Disponível em <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acesso em: 15 jul. 2021.

COSTA, G. D.; MATSUMOTO, L. S.; SILVA, M. A.; ALMEIDA, L. M. F.; PORTO, E. P.; DEMÉTRIO, G. B.; MARQUES, R. D.; SILVA, M. A. A. Fertilization with poultry litter in a corn crop for silage. **African Journal of Agricultural Research**, v. 10, n. 44, p. 4126- 4133, 2015.

COTTA, S. R. O solo como ambiente para a vida microbiana. *In*: CARDOSO, E. J. B.; ANDREOTE, F. D. **Microbiologia do solo**. 2. ed. Piracicaba: ESALQ, 2016. 221 p.

CUNHA, E. Q.; STONE, L. F.; FERREIRA, E. P. B.; DIDONET, A. D.; MOREIRA, J. A. A. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo sob produção orgânica impactados por sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n. 1, p. 56- 63, 2012.

DANTAS, J. S.; SOUZA, A. P.; FARIAS, M. F.; NOGUEIRA, V. F. B. Interações entre grupos de microorganismos com a rizosfera. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v. 2, n. 2, p. 213-128, 2009.

DE-POLLI, H.; GUERRA, J. G. M. Carbono, nitrogênio e fósforo da biomassa microbiana do solo. *In*: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.) **Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo: Ecossistemas Tropicais e Subtropicais**, 2. ed revisada e atualizada. Porto Alegre: Metropole, 2008. 654 p.

DOBBELAERE, S.; VANDERLEYDEN, J.; OKON, Y. Plant growth-promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 22, n.2, p. 107–149, 2003.

FU, L.; PENTON, C. R.; RUAN, Y.; SHEN, Z.; XUE, C.; LI, R.; SHEN, Q. Inducing the rhizosphere microbiome by biofertilizer application to suppress banana *Fusarium* wilt disease. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 104, p. 39- 48, 2017.

GABRIEL, J. Development of soil microbiology methods: from respirometry to molecular approaches. **Journal of industrial microbiology & biotechnology**, v. 37, n. 12, p. 1289-1297, 2010.

GRACIANO, I.; MATSUMOTO, L. S.; DEMEÉTRIO, G. B.; PEIXOTO, E. C. T. M. Evaluating Pfeiffer Chromatography for Its Validation as an Indicator of Soil Quality. **Journal of Agricultural Studies**, v. 8, n. 3, p. 420-446, 2020.

HARGREAVES, P. R.; BROOKES, P. C.; ROSS, G. J. S.; POULTON, P. R. Evaluating soil microbial biomass carbon as an indicator of longterm environmental change. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 35, n. 3, p. 401-407, 2003.

HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ, E. J.; HERNÁNDEZ-RIOS, E. J.; ALMARAZ-SUAREZ, J. J.; LÓPEZ-LÓPEZ, A.; TORRES-AQUINO, M.; FLORES, F. J. M. Caracterización *in vitro* de rizobacterias y su antagonismo com hongos causantes del damping off en Chile. **Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas**, v. 3, n. 9, p. 525-537, 2018.

HILTNER, L. Über neuere Erfahrungen und Probleme auf dem Gebiete der Bodenbakteriologie unter besonderer Berücksichtigung der Gründüngung und Brache. **Arb DLG**, v. 98, p. 59-78, 1904.

HRIDYA, A. C.; BYJU, G.; MISRA, R. S. Effect of biocontrol agents and biofertilizers on root rot, yield, harvest index and nutrient uptake of cassava (*Manihot esculanta* Crantz). **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 59, n. 9, p. 1-12, 2013.

HUNGRIA, M. **Inoculação com *Azospirillum brasilense*: inovação em rendimento a baixo custo.**

Londrina: Embrapa Soja, 2011. 36 p. – (Documentos / Embrapa Soja, ISSN 1516-781X; n.325).

KLOEPPER, J. W.; SCHROTH, M. N. Plant growth-promoting rhizobacteria and plant growth under gnotobiotic conditions. **Phytopathology**, v.71, p.642-644, 1981.

KUMAR, M.; KUMAR, K. Role of Bio-fertilizers in vegetables production: A review. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 8, n. 1, p. 328-334, 2019.

LIU, Z.; ZHOW, W.; SHEN, J.; AI, C. Soil quality assessment of yellow clayey paddy soils with different productivity. **Biology and Fertility of Soils**, v. 50, n. 3, p. 537-48, 2014.

LUGTENBERG, B; KAMILOVA, F. Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria. **Annual Review of Microbiology**, v. 63, p. 541-56, 2009.

MARQUES, T. A.; PINTO, L. E. V. Energia de biomassa a partir da cana sob influência de hidrogel, cobertura vegetal e profundidade de plantio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 6, p. 680-685, 2013.

MARTENS, R. Current methods for measuring microbial biomass C in soil: potentials and limitations. **Biology and Fertility of Soils**, v. 19, n. 2-3, p. 87-99, 1995.

MATSUMOTO, L. S.; BARBOSA, A. O.; PARPINELLI JUNIOR; F. R.; DEMÉTRIO, G. B. Adjuvantes do solo e seus efeitos nos atributos microbiológicos e desenvolvimento da

planta. *In*: SILVA, E. **Ciências biológicas: considerações e novos segmentos**. [recurso eletrônico]. Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.

MATSUMOTO, L. S.; MARQUES, R. D. Bioindicadores de qualidade do solo. *In*: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Estadual do Paraná. IV Reunião Paranaense de Ciência do Solo: **Resumos**. 1ed. Curitiba - PR: SBCS/NEPAR, v. 4, p. 486-490, 2015.

MAZZOLA, M. Assessment and management of soil microbial community structure for disease suppression. **Annual Review of Phytopathology**, v. 42, p. 35-59, 2004.

MCCULLEY, M. E. Niches for bacterial endophytes in crop plants: a plant biologist's view. **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 28, n. 9, p. 983– 990, 2001.

MCNEAR JUNIOR, D. H. The Rhizosphere - Roots, Soil and Everything in between. **Nature Education Knowledge**, v. 4, p. 1-20, 2013.

MEDEIROS, M. B; LOPES, J. S. Biofertilizantes líquidos e sustentabilidade agrícola. **Bahia Agrícola**, v.7, n.3, nov. 2006.

MELO, I. S. Rizobactérias promotoras de crescimento de plantas: descrição e potencial de uso na agricultura. *In*: MELO, I. S.; AZEVEDO, J. L. **Ecologia microbiana**. Jaguariúna: Embrapa-CNPMA, 1998. 488 p.

MENDES, I. C.; SOUSA, D. M. G.; REIS JUNIOR, F. B. Bioindicadores de qualidade de solo: dos laboratórios de

pesquisa para o campo. **Caderno de Ciências & Tecnologia**, v. 32 (1/2), 2015.

MOREIRA, F. M. S.; CARES, J. E.; ZANETTI, R.; STURNER, S. L. **O ecossistema solo: componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal**. Lavras: Ed. UFLA, 2013. 353 p.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Rizosfera. *In*: MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2 ed. Lavras: Editora UFLA, 2006. 729 p

NZEKOU, F. K.; KHAMITOVA, G.; ANGELONI, S.; SEMPRERE, A. N.; TAO, J.; MAGGI, F.; XIAO, J.; SAGRATINI, G.; VITTORI, S.; CAPRIOLI, G. Spent coffee grounds: a potential commercial source of phytosterols. **Food Chemistry**, v. 325, n. 24, p. 1-7, 2020.

OLIVEIRA, C. A. *et al.* **Viabilidade Técnica e Econômica do Biomaphos® (*Bacillus subtilis* CNPMS B2084 e *Bacillus megaterium* CNPMS B119) nas Culturas de Milho e Soja**. – Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2020. 20 p. - (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1679-0154; 210).

PALMIERI, D.; VITULLO, D.; DE CURTIS, F.; LIMA, G. A microbial consortium in the rhizosphere as a new biocontrol approach against *Fusarium* decline of chickpea. **Plant and Soil**, v. 412, n. 1/2, p. 425-439, 2017.

PAULA, G. F.; DEMÉTRIO, G. B.; MATSUMOTO, L. S. Biotechnological potential of soybean plant growth promoting

rhizobacteria. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 34, n. 2, p. 328 – 338, abr. – jun., 2021.

QIU, M.; ZHANG, R.; XUE, C.; ZHANG, S.; LI, S.; ZHANG, N.; SHEN, Q. Application of bio-organic fertilizer can control *Fusarium* wilt of cucumber plant by regulation microbial community of rhizosphere soil. **Biology and Fertility of Soils**, v. 48, p. 807-816, 2012.

RATZ, R. J.; PALÁCIO, S. M.; ESPINOZA-QUIÑONES, F. R.; VICENTINO, R. C.; MICHELIM, H. J.; RICHTER, L. M. 2017. Potencial biotecnológico de rizobactérias promotoras de crescimento de plantas no cultivo de milho e soja. **Engvista**, v. 4, n. 19, p. 890-905, 2017.

ROMAGNOLE; E. M.; ANDREOTE, F. D. Rizosfera. In: CARDOSO, E. J. B.; ANDREOTE, F. D. **Microbiologia do solo**. 2. ed. Piracicaba: ESALQ, 2016. 221 p.

SANTOS, V. M.; MAIA, L. C. Bioindicadores de qualidade do solo. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica**, Recife, v. 10, p.195-223, 2013.

SHEN, Z.; RUAN, Y.; WANG, B.; ZHONG, S.; SU, L.; LI, R.; SHEN, Q. Effect of biofertilizer for suppressing *Fusarium* wilt disease of banana as well as enhancing microbial and chemical properties of soil under greenhouse trial. **Applied Soil Ecology**, v. 93, p. 111–119, 2015.

SILVA, A. F.; PINTO, J. M.; FRANÇA, C. R. R. S.; FERNANDES, S. C.; GOMES, T. C. A.; SILVA, M. S. L.; MATOS, A. N. B. **Preparo e uso de biofertilizantes líquidos**. EMBRAPA. Comunicado técnico, n. 130, 2007.

SIMÃO, G.; DEMÉTRIO, G. B.; PAULA, G. F.; LADEIRA, D. C.; MATSUMOTO, L. S. Influence of spent coffee grounds on soil microbiological attributes and maize crop. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, e818986400, 2020.

SOUZA, D. A.; ALMEIDA, A. C.; DELGADO, J. F. O.; SENA, M. F.; SILVA, G. L. P.; SOUZA, M. C.; SOUZA, M. A. G.; MATSUMOTO, L. S. Sistemas de produção integrada e desenvolvimento da soja (*Glycine max*). In: SILVA-MATOS, R. R. S.; ALBANO-MACHADO, F. G.; OLIVEIRA, M. M. T. **Desenvolvimento tecnológico em ciência do solo** [recurso eletrônico]. Ponta Grossa, PR: Atena, 2020. 189 p.

TEIXEIRA, J. C. Modernização da agricultura no Brasil: impactos econômicos, sociais e ambientais. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros** Seção Três Lagoas, v. 2, n. 2, p. 21-42, 2005.

TERRA, A. B. C. *et al.* Physiological characterization of diazotrophic bacteria isolated from *Brachiaria brizantha* rhizosphere. **Revista Caatinga**, v. 32, n.3, p. 658– 666, 2019.

TIEN, T. M.; GASKENS, M. H.; HUBBEL, D. H. Plant growth substances produced by *Azospirillum brasilense* and their effect on the growth of Pearl Millet (*Pennisetum americanum* L.). **Applied and Environmental Microbiology**, v. 37, n. 5, p. 1016-24, 1979.

VESSEY, J. K. Plant growth promoting rhizobacteria as bio-fertilizers. **Plant and Soil**, v. 255, n. 2, p. 571–586, 2003.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 4, p. 743- 755, 2009.

VOS, M.; WOLF, A. B.; JENNINGS, S. J.; KOWALCHUK, G. A. Micro-scale determinants of bacterial diversity in soil. **FEMS Microbiology Reviews**, Amsterdam, v. 37, n. 6, p. 936- 954, 2013.

ZHANG, S.; HE, X.; ZHANG, J.; RAZA, W.; YANG, X.; RUAN, Y.; SHEN, Q.; HUANG, Q. Supression of *Fusarium* wilt of banana with application of bio-organic fertilizers. **Pedosphere**, v. 24, n. 5, p. 613-624, 2014.

PERCEPÇÕES SUSTENTÁVEIS EM SISTEMAS PRODUTIVOS ANIMAL

Sustainable perceptions in animal production systems

Marcos Augusto Alves da Silva

Petrônio Pinheiro Porto

Considerações iniciais

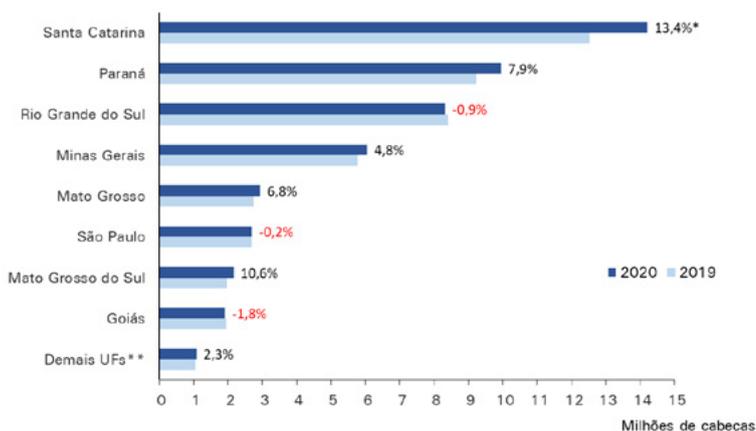
O Estado do Paraná se consolida como importante polo da pecuária nacional, tanto na cadeia produtiva de espécies de monogástricos quanto de ruminantes. O crescimento e o desenvolvimento econômico de uma sociedade, estão cada vez mais relacionados ao desempenho do produto e da renda, dos níveis de educação e saúde de uma cidade e, assim, se torna fundamental potencializar o crescimento econômico e seus impactos no bem-estar social, assim como, na crescente preocupação com os aspectos ambientais.

Toda cadeia produtiva está à mercê das leis do mercado, oferta e procura, hábito alimentar da população, qualidade e preço. Dentre as principais atividades pecuárias desenvolvidas no Estado do Paraná, são merecedoras de destaque a cadeia da suinocultura, avicultura, bovinocultura (corte e leite) e aquicultura.

Segundo o IBGE (2021) a Região Sul respondeu por 65,8% do abate nacional de suínos, em 2020, seguida pelas regiões Sudeste (18,7%), Centro-Oeste (14,5%), Nordeste (1,0%) e Norte (0,1%). O abate de 2,98 milhões de cabeças de suínos a mais em 2020, em relação ao ano anterior, foi impulsionado por aumentos no abate em 11 das 25 Unidades da Federação participantes da pesquisa. Entre aquelas com participação acima de 1,0%, ocorreram aumentos em: Santa Catarina (+13,4%), Paraná (+7,9%), Minas Gerais (+4,8%), Mato Grosso do Sul (+10,6%) e Mato Grosso (+6,8%). Em

contrapartida, ocorreram quedas em: Rio Grande do Sul (-0,9%), Goiás (-1,8%) e São Paulo (-0,2%). Santa Catarina manteve a liderança no abate de suínos em 2020, com 28,8% do abate nacional, seguido por Paraná (20,2%) e Rio Grande do Sul (16,9%) (Figura 1).

Figura 1 - Ranking e variação anual do abate de suínos - Unidades da Federação (2019-2020)



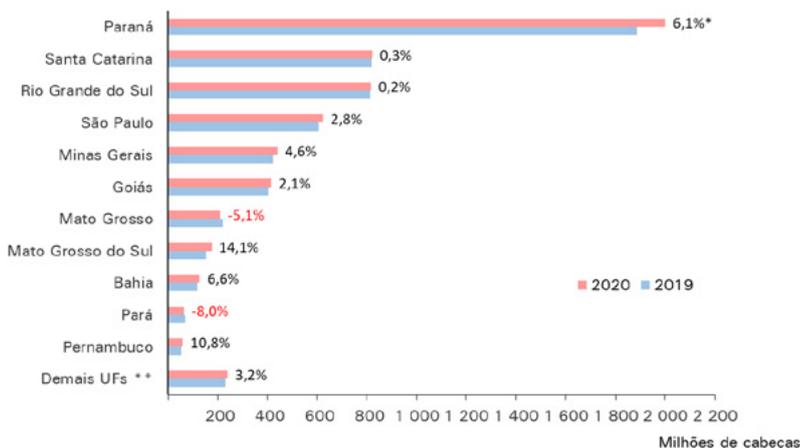
*Variação 2020/2019. **Somatório dos suínos abatidos nas Unidades da Federação onde a participação no abate nacional foi inferior a 1%.

Fonte: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Agropecuária, Pesquisa Trimestral do Abate de Animais, 2019 e 2020

Já para avicultura, segundo informações do IBGE (2021), a Região Sul respondeu por 60,7% do abate nacional de frangos em 2020, seguida pelas Regiões Sudeste (19,3%), Centro-Oeste (14,1%), Nordeste (4,2%) e Norte (1,7%). O abate de 190,83 milhões de cabeças de frangos a mais em 2020, em relação ao ano anterior, foi determinado por aumentos no abate em 18 das 25 Unidades da Federação que participaram da pesquisa. Entre aquelas com participação acima de 1,0%, ocorreram aumentos em: Paraná (+6,1%), Mato Grosso do Sul

(+14,1%), Minas Gerais (+4,6%), São Paulo (+2,8%), Goiás (+2,1%), Bahia (+6,6%), Pernambuco (+10,8%), Santa Catarina (+0,3%) e Rio Grande do Sul (+0,2%). Em contrapartida, as quedas ocorreram em: Mato Grosso (-5,1%) e Pará (-8,0%). O Paraná continuou liderando amplamente o ranking das UFs no abate de frangos em 2020, com 33,4% de participação nacional, seguido por Santa Catarina (13,7%) e, logo em seguida, por Rio Grande do Sul (13,6%) (Figura 2). Segundo SINDAVIPAR (2020), a Região Norte do Paraná é a segunda com maior produção de frangos de corte sendo responsável por 25,57% da produção Estadual.

Figura 2 - Ranking e variação anual do abate de frangos - Unidades da Federação (2019-2020)



*Variação 2020/2019. **Somatório dos suínos abatidos nas Unidades da Federação onde a participação no abate nacional foi inferior a 1%.

Fonte: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Agropecuária, Pesquisa Trimestral do Abate de Animais, 2019 e 2020

Na aquicultura, seis em cada dez peixes cultivados no Brasil são tilápias, tendo alcançado a marca de 486.155 toneladas no ano de 2020 (PEIXE BR, 2021). Neste contexto, a tilápia como a melhor entre todas as espécies de peixes de

cultivo, teve aumento de expressivos 12,5% em relação ao ano anterior (432.149 t). A Região Sul lidera a produção de tilápia no Brasil, com 44% do total (213.351 t). Entre os Estados, destaque absoluto ao Paraná, com 166.000 t (135% a mais que São Paulo, o segundo colocado no ranking nacional), sendo uma grande parte desta produção alocada na Região Oeste do Estado em decorrência da presença de grandes cooperativas que trabalham em sistema de integração. Contudo, a Região Norte pioneira do Estado do Paraná apresenta um excelente potencial para desenvolvimento da piscicultura, uma vez que apresenta produtores que possuem experiência na atividade, predominantemente no sistema com tanque escavado, mas também com tanques-rede diante da disponibilidade de água provenientes do barramento do rio Paranapanema para construção dos reservatórios hidrelétricos (ANTONUCCI, 2016).

Já para ruminantes, na pecuária de corte o Paraná ocupa a décima posição quanto ao número total de cabeças de bovinos de corte, enquanto para leite é o segundo Estado em produtividade. Como ponto positivo para ambas atividades, mas principalmente para cadeia da carne, foi o reconhecimento do Estado como livre de vacinação para febre aftosa no ano de 2021, o que gerou expectativas de novos mercados e melhores preços para os produtores.

Somado a isso, o Estado do Paraná é referência nas cooperativas agropecuárias no setor da avicultura, suinocultura e leiteiro, bem como as alianças mercadológicas existentes nos produtores de corte, fatos esses que as consolidaram tanto no cenário estadual quanto nacional como referências em produtividade e qualidade de produtos.

Como o Estado do Paraná se destaca na produção animal, a área de Ciências Agrárias ganha evidência e importância para o desenvolvimento de pesquisas. Em especial, o programa de mestrado em Agronomia (PPAGRO-UENP) para

o Norte pioneiro do Estado, contribui significativamente para o desenvolvimento da atividade agropecuária que é um dos pilares da economia dessa região. O engajamento do corpo discente e docente, a elaboração de dissertações voltadas a temas de interesse da comunidade, possibilita o aumento da produção agropecuária, com consequente melhoria da qualidade de vida da população.

Ações voltadas para os sistemas produtivos de ruminantes e monogástricos

As atividades pecuárias envolvendo ruminantes tem como seu principal pilar a nutrição, onde estão empregados os maiores recursos para o desenvolvimento dos diferentes sistemas produtivos. A nutrição dos animais na pecuária de ruminantes de corte gira em torno de 25 a 30% dos custos de produção, enquanto na pecuária leiteira de 30 a 40% e de 75 a 80% para suínos e aves. Desta maneira, existe a intensa busca por alimentos que venham minimizar os custos de produção sem acometer a saúde dos animais e impactos negativos no meio ambiente, tanto por meio das fezes como também pela eructação, principalmente em relação ao metano.

Os grãos têm sido amplamente utilizados nos sistemas de produção animal, mas a sua digestibilidade é afetada pela presença de uma matriz proteica que os envolvem, encapsulando assim os grânulos de alta digestibilidade, como o amido, sendo os diferentes processamentos existentes eficientes para elevar o aproveitamento pelos animais. Esta melhoria se dá pelo aumento da superfície de contato para degradação enzimática exógena, realizada por bactérias e fungos, aumentando a digestibilidade da dieta tanto no rúmen quanto no intestino (MIRZAEI *et al.*, 2017).

Na alimentação animal, os ingredientes mais completos e considerados padrões utilizados para compor a ração de não-ruminantes estão o milho e a soja, como fonte energética

e proteica, respectivamente, devido à grande disponibilidade no território brasileiro. O grão de milho é tido como alimento energético padrão e participa com mais de 60% do total de grãos utilizados, chegando a conter entre 70 e 80% de amido na sua composição, com base na matéria seca (MS) (ROSTAGNO *et al.*, 2000). Já a soja se destaca como ingrediente protéico de origem vegetal, por apresentar elevados teores de proteína e energia, cerca de 17 a 18% de óleo e 35 a 37% de proteína bruta de elevado valor biológico, com uma boa composição em aminoácidos essenciais (BELLAYER; COTREFAL; GRECCO, 2002).

Com o aumento do preço das commodities de soja e milho nos últimos anos, alternativas para substituí-las são necessárias. Pensando nisso, foi conduzido um trabalho com o objetivo de avaliar se a suplementação de xilanase, combinada ou não com a leveduras vivas, em dietas à base de sorgo, influencia o desempenho e as populações bacterianas intestinais de leitões. Os resultados encontrados demonstraram que a aplicação de xilanase durante a fase de creche melhorou o desempenho animal e o equilíbrio microbiano, aumentando Lactobacillaceae e reduzindo Clostridiaceae em leitões alimentados com dietas à base de sorgo. A suplementação de levedura viva e xilanase melhorou ainda mais esses parâmetros. Essas descobertas sugerem que a xilanase e a levedura viva podem estimular o crescimento de bactérias de ácido láctico e o desenvolvimento de uma fermentação fibrolítica no trato gastrointestinal, melhorando assim, a digestibilidade dos nutrientes e o desempenho animal (GONZÁLEZ-ORTIZ *et al.*, 2020).

Quando se utiliza sementes inteiras na alimentação animal, frequentemente observa-se fragmentos da semente ou até mesmo sementes inteiras nas fezes dos animais, o que causa a impressão que o alimento não foi bem aproveitado

pelo organismo, e que parte dos nutrientes contidos nas sementes foram perdidos nas fezes. Neste sentido, o aumento da exposição dos nutrientes à digestão ruminal se faz por meio do processamento das mesmas, acarretado devido a ruptura da parede celular e, por consequência, aumento da digestibilidade do alimento.

O processamento do grão para a alimentação animal define-se por qualquer processo físico ou químico que modifica a estrutura molecular original e a composição física do grão. Diversos tipos de processamentos são utilizados; como os processos secos: moagem, laminação, pensamento e descascamento (tratamentos mecânicos) e tostagem, micronização e estalação (tratamentos térmicos). Dentre os processos úmidos destacam-se: floculação, peletização, cozimento a vapor (tratamentos térmicos) (VARGAS JUNIOR *et al.*, 2008), e ensilagem de grão úmido e reidratação e ensilagem dos grãos (tratamentos fermentativos) (SILVA, 2015).

O processo de obtenção do óleo de oleaginosas apresenta elevados custos e, conseqüentemente, dos seus subprodutos quando se faz a compra dos mesmos em empresas idôneas. Atualmente, no mercado de implementos agrícolas, já existem alguns equipamentos disponíveis de menor custo que possibilitam ao produtor realizar o processamento na propriedade, porém, o produto final apresenta maior teor de óleo (6,0% de extrato etéreo) e necessita de estudos para recomendações seguras de utilização na alimentação de ruminantes. Somado a isso, a soja por diversos fatores, geralmente tem seu preço elevado no mercado e, muitas vezes, o técnico da nutrição animal necessita trabalhar com alimentos alternativos que venham a propiciar maior rentabilidade, porém, são necessárias pesquisas que comprovem sua utilização sem riscos à saúde animal, bem como rentabilidade ao sistema.

Desta maneira, pesquisas foram desenvolvidas na UENP, *campus* Luiz Meneghel, buscando alternativas para processamento de grãos de oleaginosas. Nesse contexto, por meio de utilização de uma prensa de custo acessível que além de extrair o óleo a frio, também realiza o processo de extrusão das tortas após o esmagamento da prensagem. Foram trabalhados os seguintes produtos: soja, girassol, canola e amendoim, sendo o último adicionado 30% de casca apenas para facilitar o processamento, as quais foram adquiridas no mercado regional (ALMEIDA, 2014). Os dados das tortas extrusadas demonstraram que todas apresentaram bom potencial para utilização na nutrição animal (Tabela 1).

Tabela 1 - Composição química (% MS) das tortas extrusadas de soja (TES), amendoim (TEA), girassol (TEG) e canola (TEC)

	MS	CZ	EE	FDA	FDN	Lig	PB	PIDA	PIDN
TES	92,6	9,8	6,9	8,3	16,7	1,2	46,6	1,3	5,1
TEA	93,7	7,0	6,1	9,1	16,9	3,2	50,7	0,8	5,2
TEG	94,4	7,5	13,6	24,4	38,4	8,7	33,7	1,4	4,9
TEC	92,3	12,2	13,9	14,8	20,6	6,7	40,8	2,0	2,8

MS: matéria seca; CZ: cinzas; EE: extrato etéreo; FDN: fibra detergente neutro; FDA: fibra detergente ácido; Lig: lignina; PB: proteína bruta; PIDN: proteína insolúvel em detergente neutro; PIDA: proteína insolúvel em detergente ácido.

Fonte: Almeida (2014)

Quando comparadas aos valores médios dos farelos de soja (FS), amendoim (FA), girassol (FG) e canola (FC) existentes no mercado, segundo Filho; Paulino; Magalhães (2006), atenção deve ser dada principalmente aos teores de extrato etéreo, os quais apresentam em média 1,71; 0,32; 2,06 e 1,32% na MS. Tal resultado é devido ao tipo de extração de óleo, uma vez que no presente trabalho a extração de óleo foi realizada por meio da prensagem a frio, já para os farelos normalmente é utilizado o método de extração de óleo com solvente, devendo

o técnico e produtor se atentarem aos níveis de inclusão nas dietas, uma vez que a recomendação limita-se em 5,0% de extrato etéreo (EE) na dieta total dos animais para não acarretar em prejuízos à digestibilidade da dieta e, consequentemente, consumo de alimentos.

Para avaliar a possibilidade de substituição do farelo de soja por torta extrusada de soja (TES) para suínos, foi conduzido um trabalho de digestibilidade da TES e de desempenho de leitões na fase de creche, alimentados com ração à base de milho e farelo de soja e outra ração com substituição total do farelo de soja por TES. Como conclusão, a TES mostrou ser uma fonte alternativa de energia e proteína adequada para a alimentação de leitões, por apresentar bons valores nutricionais e no desempenho, a substituição de 100% do farelo de soja pela soja semi-integral extrusada não alterou o ganho de peso diário e o consumo diário de ração, mas piorou a conversão alimentar e os resultados econômicos no período total (GALIARDI *et al.*, 2019).

A cinética ruminal por meio da digestibilidade *in situ* dos alimentos descritos acima também foi realizada, com a técnica *in situ* utilizando sacolas que possibilitam a determinação da digestibilidade e degradabilidade dos diversos componentes dos alimentos, principalmente da proteína. Esta técnica tem sido utilizada na avaliação de alimentos pelos ruminantes, devido à facilidade, rapidez de execução e, principalmente, devido à sua alta correlação com resultados obtidos em experimentos *in vivo*. Como conclusão, as tortas extrusadas de soja, amendoim e canola apresentaram comportamentos semelhantes de cinética de degradação ruminal da MS, demonstrando potencial para a utilização das mesmas na alimentação de ruminantes (ALMEIDA, 2014).

O conhecimento do valor nutricional, degradação e digestibilidade dos alimentos são cruciais para tomadas de

decisões, sendo importante a realização de pesquisas que demonstrem aos produtores, a possibilidade de ingredientes que possam vir a substituir os alimentos padrões energéticos ou protéicos na nutrição de ruminantes e monogástricos. Alternativas como citadas acima, de processamento e ingredientes disponíveis com potencial de uso, podem contribuir para melhoria na rentabilidade da atividade, não deixando de avaliar a disponibilidade e transporte do mesmo até a propriedade, fatores que podem comprometer de sobremaneira o emprego dos achados em pesquisas.

Já no aspecto ambiental envolvendo a produção de ruminantes, ações que visam mitigar a produção de gases que contribuem para o efeito estufa têm sido foco de muitas pesquisas. Os ruminantes são responsáveis por cerca de 17% do metano produzido, correspondente a 3,3% das emissões globais de gases do efeito estufa (KNAPP *et al.*, 2014), estando o metano (CH₄) entérico relacionado com o tipo do animal, com o consumo e digestibilidade do alimento (BERCHIELLI; MESSANA; CANESIN, 2012).

Dentre as fontes produtoras de CH₄ poluentes do meio ambiente, a proveniente dos ruminantes é passível de ser manipulada e reduzida (RIVERA *et al.*, 2010), principalmente, diante de uma realidade on de ovinos e caprinos produzem entre 10 e 16 kg de CH₄/ano e bovinos entre 60 e 160 kg de CH₄/ano (FREIRI, 2015), sendo muito representativo diante dos rebanhos dessas espécies no país (bovinos 214 milhões de cabeças; ovinos 19,7 milhões de cabeças e caprinos 11,3 milhões de cabeças (CNA, 2020).

A produção de CH₄ ocorre pela ação das arqueobactérias, pertencentes ao gênero metanogênicas (CARDOSO *et al.*, 2003), tendo como principais fornecedores de substrato para sua atividade os protozoários, uma vez que a degradação da fibra leva a liberação de hidrogênio no ambiente ruminal,

o qual é utilizado para a síntese de metano. Nesse sentido, estudos têm sido conduzidos no intuito de suprimir parcialmente a atividade dos protozoários no rúmen, como forma de mitigar a metanogênese ruminal, sendo adotadas estratégias alimentares adequadas para que a supressão de protozoários não afete o desempenho dos animais.

A adoção de inclusão de lipídios na dieta dos ruminantes tem sido uma das formas para reduzir a produção de metano. Segundo pesquisas, a utilização de ácidos graxos como suplemento alimentar leva à redução acentuada na população de protozoários ciliados no rúmen (BERCHIELLI; MESSANA; CANESIN, 2012), devido a dois fatores: 1) o lipídio envolve a fibra reduzindo assim a ação fibrolítica dos protozoários, o que diminui o substrato necessário para seu crescimento; 2) os ácidos graxos insaturados têm efeito deletério sobre os protozoários, pois tornam a membrana celular mais permeável, o que leva a lise da membrana, causando dessa forma a morte do microrganismo.

O efeito sobre os microrganismos degradadores de fibra, tanto reduz a liberação de H_2 no ambiente ruminal, quanto aumenta a captação desse, por promover aumento na produção de propionato, que consome H_2 . Outro fator que leva à redução de H_2 no ambiente ruminal com a utilização de ácidos graxos insaturados é a biohidrogenação, que consiste no rompimento das duplas ligações com adição de hidrogênio nos carbonos onde estão localizadas essas ligações, o que leva ao consumo de H_2 no rúmen (BERCHIELLI; MESSANA; CANESIN, 2012).

Nessa conjuntura, e diante da pressão sobre respostas que minimizem o referido impacto ambiental, não somente o Norte pioneiro do Paraná é carente de resultados consistentes, mas todo território nacional. Assim, trabalhos em parceria com a Embrapa Gado de Leite também têm sido

desenvolvidos visando oportunizar aos produtores da região, possibilidades de manipulação de dietas que venham a contribuir com o tema.

Deste modo, a utilização do óleo extraído a frio (extra virgem) na obtenção das tortas extrusadas de soja, amendoim, girassol e canola nas concentrações de 4, 8 e 12%, foram estudadas visando a mitigação de metano, bem como seus efeitos na cinética da fermentação ruminal e degradabilidade da MS (LIMA, 2016). As diferentes fontes e concentrações de óleos não influenciaram a cinética da fermentação ruminal *in vitro* e a emissão de gases na técnica utilizada. No entanto, há necessidade de mais pesquisas para elucidar os limites entre efeitos positivos e negativos da adição de óleo na dieta de ruminantes, mas deve se atentar quanto a viabilidade de emprego devido ao elevado custo da maior parte das fontes de gorduras alternativas, uma vez que apresentam maiores porcentagens de gordura insaturada desejáveis na alimentação humana.

Não somente da utilização de concentrados devem ser o enfoque dos trabalhos de pesquisas que visam a harmonia do sistema produtivo com as questões financeiras e ambientais. A crescente demanda de alimentos no mundo tem forçado a incorporação de novas tecnologias em áreas de pastagens já existentes, onde a utilização de fertilizantes desempenha importante papel na intensificação das mesmas. Dentro deste contexto, a sustentabilidade das áreas produtoras tem despertado grande preocupação na sociedade, que questiona a respeito dos aspectos ambientais da intensificação do uso do solo, como compactação, contaminação do lençol freático e emissão de gases de efeito estufa.

A pastagem intensiva, com aumento da produção de forragem, principalmente pelo maior uso de nitrogênio, já demonstrou um balanço positivo de incorporação de carbono

atmosférico via matéria orgânica, passados os impactos iniciais da implantação da pastagem (PAGANIN *et al.*, 2010; HIRSCH *et al.*, 2017). A recuperação da pastagem degradada e os sistemas fertilizados resultam em aumento na produção e longevidade da pastagem, considerando haver uma maior cobertura do solo, ciclagem de nutrientes, aumento dos teores de matéria orgânica e aumento do sequestro de carbono (HICKMAN; COSTA, 2012).

Questionamentos mais recentes e frutos de pesquisas relacionadas a intensificação de pastagens, têm ocorrido sobre o impacto deste manejo em relação à população microbiana do solo e seu comportamento sob o uso intensivo de fertilizantes. A recuperação de áreas degradadas passa obrigatoriamente pela recuperação da fertilidade natural do solo, via sistemas de manejo de maior ou menor impacto sobre a estrutura física, química e microbiológica do solo. A conversão de sistemas agrícolas com solo descoberto ou de áreas degradadas em pastagens permanentes com bom manejo, restabelece o carbono orgânico o solo (COT), assim como a mesofauna e a microbiota. A presença de plantas em crescimento sobre o solo apresenta maior capacidade de aumento do COT e da microbiota do que a simples redução do uso deste solo (pousio) ou em campos cultiváveis com colheitas regulares, sendo uma grande alternativa para a recuperação rápida de solos degradados (PAGANIN *et al.*, 2010; HIRSCH *et al.*, 2017).

Resultados de pesquisas sugerem a necessidade do uso de doses, variando de 50 a 300 kg ha⁻¹ N, sendo a dose mais baixa considerada mínima para se evitar a degradação do pasto, enquanto as mais elevadas são aconselhadas para incrementos na produção de forragem e, conseqüentemente, na taxa de lotação (número de animais por área), resultando em maior ganho de peso por área. Na prática, tem sido utilizada a aplicação de 40 a 50 kg ha⁻¹ N por unidade animal

(animal de 450 kg de peso vivo) no pasto. Essa relação tem possibilitado relativo sucesso para taxas de lotação entre 3 e 7 UA ha⁻¹, durante o período de verão. Quando doses mais elevadas são utilizadas, sugere-se o parcelamento da dose de N, aplicando-se, no máximo, 50 kg de N logo após a saída dos animais da pastagem (SILVA *et al.*, 2013).

A aplicação crescente de fertilizantes, especialmente os nitrogenados trazem inúmeros benefícios na quantidade e na qualidade da forragem produzida, afetando positivamente as características morfogênicas, como um maior perfilhamento (MARTUSCELLO *et al.*, 2015; COSTA *et al.*, 2017) e os teores de proteína bruta da forragem (MAZZA *et al.*, 2009; MESQUITA; NERES, 2008). O efeito positivo do N sobre o perfilhamento pode ser explicado pela maior capacidade de formação das gemas axilares e à iniciação dos perfilhos correspondentes para as plantas que receberam adubação. Assim, a aplicação de nitrogênio em gramíneas forrageiras pode aumentar a brotação de gemas axilares, resultando em maior número de novos perfilhos no pasto e, conseqüentemente, maior taxa de aparecimento de perfilhos (LUNA *et al.*, 2014; MARTUSCELLO *et al.*, 2015; COSTA *et al.*, 2016; COSTA *et al.*, 2017).

Quanto a parte da microbiologia do solo, a disponibilidade de nitrogênio tem potencial efeito de influenciar os níveis de carbono no solo e de afetar seus indicadores microbiológicos (DELBEM *et al.*, 2011; HICKMAN; COSTA, 2012). A presença de fertilizantes, particularmente o nitrogênio, aumentou em até oito vezes a microbiota do solo (BUENO *et al.*, 2011). O nitrogênio é o macronutriente responsável pela maior resposta em produtividade da planta forrageira e, entender como funciona a dinâmica do mesmo como agente de incremento da produtividade e seu impacto sobre a comunidade microbiana e sua diversidade, pode colaborar para a sustentabilidade dos sistemas de produção de pastagens intensivas.

As transformações da matéria orgânica nos ecossistemas agrícolas são dependentes da biomassa microbiana do solo (CBMS) e isso gera manutenção ou aumento na produtividade (GAMA-RODRIGUES *et al.*, 2008). Entre as atividades da CBMS está a decomposição dos compostos orgânicos, fazendo assim a ciclagem dos nutrientes e a regulação do fluxo de energia do solo. A estrutura das comunidades microbianas é afetada pela estrutura e pela composição da vegetação de cobertura, em virtude da liberação de formas específicas de carbono que podem representar importantes fontes de energia. Além disso, as comunidades microbianas do solo sofrem forte influência do pH do solo e da relação carbono/nitrogênio (C/N) (FIERER *et al.*, 2009) e, por essa atividade ser de grande importância, a CBMS e sua atividade são apontadas como as características mais sensíveis às alterações na qualidade do solo, causadas por mudanças de uso e práticas de manejo (SILVA *et al.*, 2010).

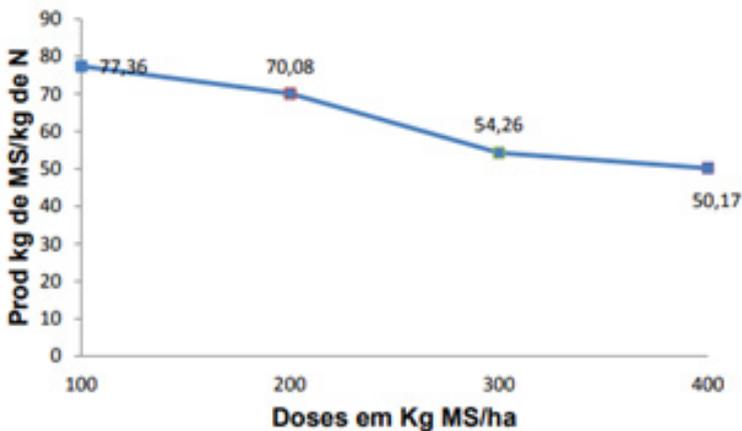
Objetivando demonstrar o efeito de manejo em pastagens intensificadas quanto a eficiência e microbiologia do solo, Garcia (2018) avaliou a adubação nitrogenada com uréia e enxofre na produtividade e bromatologia do capim Mombaça, forrageira muito utilizada na pecuária paranaense, bem como seus efeitos nos parâmetros microbiológicos do solo. Para tanto, cinco doses de adubação nitrogenada (0, 100, 200, 300 e 400 kg ha⁻¹ de N) associada com 100 g de enxofre para cada kg de nitrogênio, sendo a adubação distribuída entre os meses de setembro/2016 a março/2017, após cada corte.

Como resultados importantes, houve incremento na produção de MS por hectare, partindo de 6,9 para 20,1 ton ha⁻¹ MS de 0 a 400 kg ha⁻¹ N, respectivamente, enquanto os teores de MS e cinzas caíram de 33,1 para 26,3 e 14,4 para 12,5% de 0 a 400 kg ha⁻¹ N, respectivamente, enquanto o teor de proteína bruta aumentou de 6,6 para 9,6%, respectivamente, para

os extremos dos tratamentos. A redução na porcentagem de MS ocorre possivelmente devido à maior disponibilidade de nitrogênio que estimula o crescimento das plantas, acarretando maior acúmulo de água. A cada 40 kg ha⁻¹ N aplicado ocorre redução de 0,56% na porcentagem de MS das forrageiras (CASTAGNARA *et al.*, 2014).

Contudo, é importante salientar que foi observada diminuição da eficiência de produção de MS por kg de nitrogênio utilizado (Figura 3). Na dose de 100 kg ha⁻¹ N, temos uma resposta de 77,3 kg de MS para cada Kg de N aplicado, porém, na dose de 400 kg ha⁻¹ N, esse resultado é de 50,1 kg de MS para cada Kg de N. É importante salientar que os tratamentos com adubação nitrogenada no presente experimento foram divididos em quatro aplicações após os cortes realizados nas parcelas experimentais, ou seja, 25, 50, 75 e 100 kg de N por aplicação para 100, 200, 300 e 400 kg ha⁻¹ N, respectivamente.

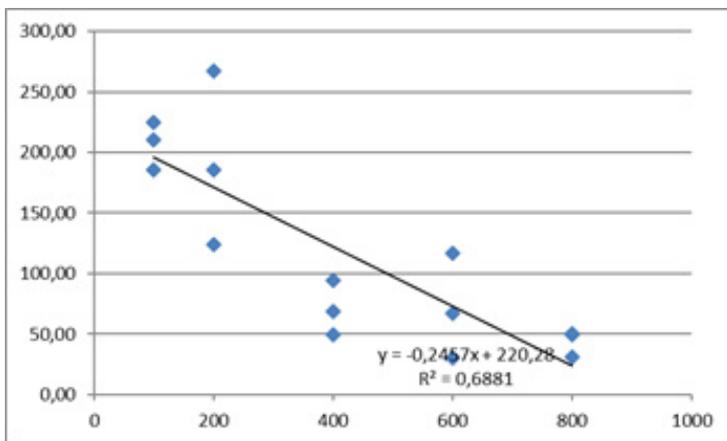
Figura 3 – Ajuste linear da resposta da produção de MS por hectare (Kg MS ha⁻¹) em função da quantidade de nitrogênio (N) utilizada



Fonte: Garcia (2018)

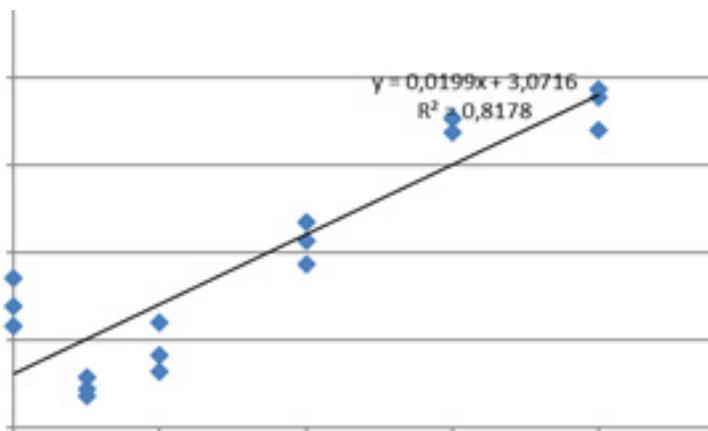
Em relação aos atributos microbiológicos do solo, o CBMS diminuiu com o aumento das doses de nitrogênio, ao mesmo tempo que o quociente metabólico (qCO_2), conforme Figuras 4 e 5, resultante da perda de carbono via respiração celular aumentou, revelando estresse metabólico na comunidade microbiana (HUNGRIA *et al.*, 2009). Delbem *et al.* (2011), estudando doses crescentes de nitrogênio em pastagens de capim brizantha, demonstraram que esse aumento do estresse metabólico é decorrente de queda do pH do solo nas camadas superficiais, sendo que a dose de 100 kg de N ha⁻¹ acarretou as menores perdas. Os autores relatam que, com a reação de nitrificação do sulfato de amônio e absorção de NH_4^+ pelas raízes, ocorre liberação de H^+ , o que acidifica o solo, aumentando a disponibilidade de Al_{3+} . Doses elevadas de N, especialmente quando a fonte foi o sulfato de amônio, acarretou, portanto, distúrbios ambientais e perda de carbono no solo. Entretanto, concluem que outras fontes de N, como o Ajifer e a uréia aumentaram os valores de CBM e reduziram o qCO_2 .

Figura 4 - Regressão linear da biomassa microbiana (CBMS) em função da dose de N (sem a dose 0) na segunda coleta



Fonte: Garcia (2018)

Figura 5 - Regressão linear do estresse metabólico (qCO₂) conforme dose de N aplicado no solo na segunda coleta



Fonte: Garcia (2018)

A recuperação de pastagens ou a implantação de pastagens perenes via prática de adubação, podem provocar alterações no solo, especialmente na comunidade microbiana, que ora atua na mineralização de formas orgânicas de nutrientes, liberando-os para as plantas, ora funciona como reservatório, imobilizando-os na sua biomassa (LOPES *et al.*, 2012).

O carbono da biomassa microbiana (CBM) pode assim, ser um importante indicador de qualidade do solo, representando a fração ativa e biodegradável da MOS, refletindo as mudanças pelas quais está passando, sejam elas no curto prazo, distúrbio, ou no longo prazo, recuperação. Em sistemas com a presença permanente de plantas sobre o solo, especialmente plantas em crescimento sob manejo intensivo, o tempo pode ser um fator determinante na mudança dos parâmetros microbiológicos de um solo. O tempo restabelece o carbono orgânico do solo, assim como a mesofauna e a microbiota, em

solos previamente descobertos ou em cultivo mínimo, quando pastagens permanentes são implantadas (HIRSCH *et al.*, 2017).

Diante dos resultados, como conclusão em seu trabalho, Garcia (2018) conclui em seu trabalho realizado na Região Norte pioneiro do Paraná que, apesar de linear, a resposta em produção ao incremento de nitrogênio deve levar em consideração outros fatores, como variações ambientais e aspectos econômicos para justificar doses altas de nitrogênio. Ainda, doses crescentes de nitrogênio afetaram negativamente a comunidade microbiana do solo, diminuindo o CBMS e aumentando o estresse metabólico, devendo ser dada continuidade em pesquisas nessa área em decorrência da variável tempo e suas mudanças constantes nas condições edafoclimáticas a cada ano serem importante no melhor entendimento desta nova linha de trabalho.

Por fim, dentre as demandas importantes para a área de ruminantes, tem se notado a grande necessidade de alternativas para o período seco do ano. Mesmo diante de várias possibilidades já existentes na pesquisa nacional, como pastagem diferida, silagens (milho, sorgo, capim e cana de açúcar), ILPF, irrigação de pastagens, pastagens de inverno, feno, cana de açúcar + ureia e sulfato de amônia, resíduos protéicos e energéticos, entre outros, é perceptível a baixa empregabilidade ou até mesmo a forma errada de emprego das mesmas na nutrição animal.

Diante de tal fato e as possibilidades existentes, os esforços estão sendo empregados atualmente em pesquisas para a produção de volumosos armazenados ou ILPF, com o intuito de identificar a obtenção de MS barata para o período seco. Nesse sentido, em breve irão contribuir para o comportamento de alternativas pesquisadas na realidade da Região Norte pioneiro do Paraná, visando propiciar equilíbrio e sustentabilidade nas atividades pecuárias desenvolvidas com ruminantes.

Seguindo esta mesma linha de produção de forragem para alimentação animal e a característica da Região Norte do Paraná em produção de frango de corte, foi conduzido um trabalho com o objetivo avaliar adubação com cama de frango na produtividade do milho para silagem, bem como seus efeitos nos parâmetros microbiológicos do solo. Foram avaliados os atributos para produção de Massa Seca (MS), Proteína Bruta (PB), Extrato Etéreo (EE), Matéria Mineral (MM) e Matéria Orgânica (MO) e os parâmetros microbiológicos do solo, Carbono da Biomassa Microbiana (CBM) e Quociente Metabólico (qCO_2) e a relação CBM/Carbono Orgânico Total (COT), em um latossolo vermelho eutroférico com histórico de plantio direto de cinco anos.

Como resultado, os valores de CBM e qCO_2 foram influenciados pela atividade antrópica em todos os tratamentos, destacando a queda do CBM e aumento significativo de quociente metabólico no tratamento que recebeu adubação mineral. Nos tratamentos que receberam cama aviária, a relação CBM/COT demonstra maior eficiência na utilização do carbono, sem alterações significativas entre palha de arroz e maravalha. Para a produtividade de MS, não houve diferença entre os tratamentos utilizados e as fontes de adubação. Concluiu-se que os tratamentos com cama de aviário favoreceram o aproveitamento da MOS, causando menor perturbação da atividade microbiológica e que a cama de aviário de maravalha e palha de arroz, podendo substituir 2/3 da adubação sem ocorrer perdas ou diminuição na produção e característica da silagem de milho (COSTA *et al.*, 2015).

Considerações finais

Diante dos resultados apresentados e a importância da pecuária na economia do Estado na última década (2010 a 2020), é consenso que avanços considerados importantes a

serem seguidos convergem no caminho da produção de produtos de origem animal cada vez mais sustentável, a partir do tripé econômico, social e ambiental. As práticas nessa direção são a chave para o desenvolvimento de todas as pecuárias, da produção de bovinos, aves, suínos, peixes, ovinos e outras proteínas animais importantes. Ações que venham a potencializar o bem-estar animal, conservação do meio ambiente, carbono zero, rentabilidade da atividade, entre outros, estão no cotidiano das instituições de pesquisas e empresas dos diferentes setores e, sem dúvida, devem tomar boa parte dos esforços dentro e fora das propriedades rurais.

Referências

ALMEIDA, L. M. F. **Cinética de fermentação ruminal *in vitro* e degradação *in situ* de tortas de oleaginosas.** Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual do Norte do Paraná, Bandeirantes, 2014.

ANTONUCCI, M. C. **Caracterização da produção e consumo de peixes da região do Norte Pioneiro do Paraná.** Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual do Norte do Paraná, Bandeirantes, 2016.

BELLAVER, C.; COTREFAL, G.; GRECCO, M. **Soja integral: processamento e uso.** *Alimentação Animal*, v.7, p.28-30, 2002.

BERCHIELLI, T. T.; MESSANA, J. D.; CANESIN, R.C. **Produção de metano entérico em pastagens tropicais.** *Revista de Saúde e Produção Animal*, v.13, n.4, p.954-968, 2012.

BUENO, J. R. P.; BERTON, R. S.; SILVEIRA, A. P. D.; CHIBA, M. K.; ANDRADE, C. A.; MARIA, I. C. Chemical and microbiological attributes of an oxisol treated with successive applications of sewage sludge. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, n.4, p.1461-1470, 2011.

CARDOSO, A. M.; CLEMENTINO, M. B. M.; MARTINS, O. B.; VIEIRA, R. P.; ALMEIDA, R. V.; ALQUERES, S. M. C.; ALMEIDA, W. I. *Archaea*: Potencial Biotecnológico. **Archaea: Potencial Biotecnológico**, n.30, p.71-71, 2003.

CASTAGNARA, D. D.; MESQUITA, E. E.; NERES, M. A.; DE OLIVEIRA, P. S. R.; ZOZ, T.; ZOZ, A. Morphogenesis and production of tanzânia, mombaça and mulato grasses under nitrogen fertilization. **Bioscience Journal**, p. 45-54, 2014.

CNA. Confederação Nacional da Agricultura. Pesquisa Pecuária Municipal (PPM) 2019: crescimento de todas as atividades englobadas na pesquisa em relação a 2018. **Comunicado Técnico**, Edição 30/2020.

COSTA, G. D.; MATSUMOTO, L. S.; SILVA, M. A.; ALMEIDA, L. M. F.; PORTO, E. P.; DEMETRIO, G. B.; MARQUES, R.D.; SILVA, M. A. A. Fertilization with poultry litter in a corn crop for silage. **African Journal of Agricultural Research**. v.10, p.4126 - 4133, 2015.

COSTA, N. L.; PAULINO, V. T.; MAGALHÃES, J. A.; RODRIGUES, B. H. N.; SANTOS, F. J. S. Eficiência do nitrogênio, produção de forragem e morfogênese do capim-massai sob adubação. **Nucleus**, v.13, n.2, 2016.

COSTA, N. L.; JANK, L.; MAGALHÃES, J. A.; RODRIGUES, A. N. A.; FOGAÇA, F. H. S.; BENDAHAN, A. B.; SANTOS, F. J. S. Produtividade de forragem, composição química e morfogênese de *Panicum maximum* cv Mombaça sob períodos de descanso. **Pubvet**, v.11, n.11, p.1169-1174, Nov. 2017.

DELBEM, F. C. *et al.* Fontes e doses de adubação nitrogenada na atividade microbiana e fertilidade do solo cultivado com *Brachiaria brizantha*. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, p. 361- 367, 2011.

FREIRI, A. P. A. **Desempenho, características de carcaça, produção de metano e metabolismo ruminal em ovinos alimentados com dieta contendo nitrato de cálcio.** 2015. 114 p. Tese (Ciência Animal e Pastagens) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba. 2015.

FIERER, N.; STRICKLAND, M. S.; LIPTZIN, D.; BRADFORD, M. A.; CLEVELAND, C. C. Global patterns in belowground communities. **Ecology Letters**, v.12, p.1238-1249, 2009.

GALIARDI, M. E. B.; GENOVA, J. L.; CARVALHO, P. L. O.; LEAL, I. F.; PORTO, P. P.; SANTOS, L. B. A.; PAIANO, D.; SILVA, M. A. A. Total replacement of the soybean meal with extruded semi-whole soybean in the piglets feeding during the nursery phase. **SEMINA. CIÊNCIAS AGRÁRIAS (ONLINE)** v.40, p.2759 -, 2019.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; BARROS, N. F.; VIANA, A. P.; SANTOS, G. A. Alterações na biomassa e na atividade microbiana da serapilheira e do solo, em decorrência da substituição de cobertura florestal nativa por plantações de eucalipto,

em diferentes sítios da região Sudeste do Brasil. **R. Bras. Ci. Solo**, 32: p.1489-1499, 2008.

GARCIA, F. H. **Impacto de diferentes doses de nitrogênio sobre a produção e composição bromatológica de capim mombaça e atributos microbiológicos do solo.** 2018. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual do Norte do Paraná, Bandeirantes, 2018.

GONZÁLEZ-ORTIZ, G.; CALLEGARI, M. A.; WILCOCK, P.; MELO-DURAN, D.; BEDFORD, M. R.; OLIVEIRA, H. R.V.; DA SILVA, M. A. A.; PIEROZAN, C. R.; DA SILVA, C. A. Dietary xylanase and live yeast supplementation influence intestinal bacterial populations and growth performance of piglets fed a sorghum-based diet. **ANIMAL NUTRITION**, v.6, p.457-466, 2020.

HICKMANN, C.; COSTA, L. M. da. Estoque de carbono no solo e agregados em Argissolo sob diferentes manejos de longa duração. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.16, n.10, p.1055–1061, 2012.

HIRSCH, P. R. *et al.* Soil resilience and recovery: rapid community responses to management changes. **Plant and Soil**, v. 412, n. 1, p. 283-297, 2017.

HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; BRANDÃO-JUNIOR, O.; KASCHUK, G.; SOUZA, R. A. Soil microbial activity and crop sustainability in a long-term experimente with three soil-tillage and two crop-rotation systems. **Applied Soil Ecology**, v. 42, n. 3, p. 288-296, 2009.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Indicadores IBGE - Estatística da Produção Pecuária**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/2380/epp_2020_4tri.pdf. Acesso em: 16 jun. 2021.

KNAPP, J. R.; LAUR, G. L.; VADAS, P. A.; WEISS, W. P.; TRICARICO, J. M. Invited review: enteric methane in dairy cattle production: quantifying the opportunities and impact of reducing emissions. **Journal of Dairy Science**, v.97, p.3231- 3261, 2014.

LIMA, D. S. F. **Avaliação *in vitro* da inclusão de diferentes concentrações de óleos na mitigação de metano em ruminantes**. 2016. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual do Norte do Paraná, Bandeirantes, 2016.

LOPES, A. A. C.; SOUSA, D. M. G.; CHAER, G. M.; JUNIOR, F. B. R.; GOEDERT, W. J.; MENDES, I. C. Interpretation of microbial soil indicators as a function of crop yield na organic carbon. **Soil Science Society American Journal**, v. 77, n. 2, p. 461- 472, 2012.

LUNA, A. A.; DIFANTE, G. S.; MONTAGNER, D. B.; EMERENCIANO NETO, J. V.; ARAÚJO, I. M. M.; OLIVEIRA, L. E. C. Características morfogênicas e acúmulo de forragem de gramíneas forrageiras, sob corte. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 30, n. 6, p. 1803-1810, Nov./Dec. 2014.

MARTUSCELLO, J. A.; SILVA, L. P.; CUNHA, D. N. F. V.; BATISTA, A. C. S.; BRAZ, T. G. S.; FERREIRA, P. S. Adubação

nitrogenada em capim-massai: morfogênese e produção. **Cienc. anim. bras.** v.16, n.1, p. 1-13 jan/mar. 2015.

MAZZA, L. M.; PÔGGERE, G. C.; FERRARO, F. P.; RIBEIRO, C. B. CHEROBIM, V. F.; MOTTA, A. C. V.; MORAES, A. Adubação nitrogenada na produtividade e composição química do capim Mombaça no primeiro planalto paranaense. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.10, n.4, p.257-265, July/Aug. 2009.

MESQUITA, E. E.; NERES, M. A. Morfogênese e composição bromatológica de cultivares de *Panicum maximum* em função da adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Belo Horizonte, v. 9, n. 2, p. 201-209, fev. 2008.

MIRZAEI, M.; KHORVASH, M.; GHORBANI, G. R.; KAZEMI-BONCHENARIA, M.; GHAFFARI, M. H. Growth performance, feeding behavior, and selected blood metabolites of Holstein dairy calves fed restricted amounts of milk: No interactions between sources of finely ground grain and forage provision. **Journal of Dairy Science**, 100: 1086-1094, 2017.

PAGANIN, P. *et al.* Soil microbial community response to differences in soil managements and seasonal changes. **Journal of Biotechnology**, n. 150, p. 291, 2010.

PEIXE BR. **Associação Brasileira da Piscicultura**. Anuário 2021. Disponível em: file:///C:/Users/User/Downloads/AnuarioPeixeBR2021%20(1).pdf. Acesso em: 16 jun. 2021.

RIVERA, A. R.; BERCHIELLI, T. T.; MESSANA, J. D.; VELASQUEZ, P. T.; FRANCO, A. V. M.; FERNANDES, L. B. Fermentação ruminal e produção de metano em bovinos

alimentados com feno de capim-tifton 85 e concentrado com aditivos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, p.617-624, 2010.

ROSTAGNO, H. S.; ALBINO, L. F. T.; DONZELE, J. L. *et al.* **Tabelas brasileiras para aves e suínos. Composição de alimentos e exigências nutricionais.** Viçosa: UFV, 2000. 141 p.

SILVA, A. P; BABUJIA, L. C.; MATSUMOTO, L. S.; GUIMARÃES, M. F.; HUNGRIA, M. Bacterial diversity under different tillage and crop rotation systems in an oxisol of southern brazil. **The Open Agri. J.**, p. 40 - 47, 2013.

SILVA, M. R. H. **Processamento e ensilagem no valor nutritivo de grãos de milho para novilhos em confinamento.** 2015. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Estadual de Maringá, 2015.

SILVA, R. R. da; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; MOREIRA, F. M. S. de; CURI, N.; ALOVISI, A. M. T.; Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica campos das vertentes – MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** p. 1585-1592, 2010.

SINDAVIPAR – Sindicato das Indústrias de Produtos Avícolas do Estado do Paraná. **Empresas Produtoras-PR.** Curitiba: SINDAVIPAR, 2020. Disponível em: <https://sindiavipar.com.br/empresas-produtoras/>. Acesso em: 16 jun. 2021

VALADARES FILHO, S. C.; PAULINO, P. V. R.; MAGALHÃES, K. A. **Exigências nutricionais de zebuínos e tabelas**

brasileiras de composição de alimentos. 1 ed. Viçosa: Suprema Gráfica Ltda - Universidade Federal de Viçosa, 2006.

VARGAS JUNIOR, F. M.; SANCHEZ, L. M. B.; WECHSLER, F. S.; BIANCHINI, W.; OLIVEIRA; M. V. M. Influência do processamento do grão de milho na digestibilidade de rações e no desempenho de bezerros. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, 11, p. 2056- 2062, 2008.

**PLANTAS MEDICINAIS COMO ESTRATÉGIA
SUSTENTÁVEL PARA O CONTROLE
SANITÁRIO ANIMAL**

*Medicinal plants as a sustainable strategy for animal
health control*

Rafael Antonio Sbardella

Gabriel Simili de Oliveira

Erika Cosendey Toledo de Mello Peixoto

Considerações iniciais

O Brasil continua sendo destaque no cenário da pecuária mundial, sendo considerado o maior rebanho comercial do mundo (OECD-FAO, 2020). O setor agropecuário ainda apresenta favorável perspectiva de crescimento, posto que as projeções agrícolas para 2020–2029 indicam aumento do consumo de produtos de origem animal, quando comparado aos produtos básicos da cesta de alimentos (OECD-FAO, 2020). Todavia, apesar da pecuária representar importante atividade para economia nacional, melhores índices de produtividade só poderão ser atingidos pelo eficiente controle sanitário dos rebanhos.

De uma maneira geral, as doenças parasitárias, continuam correspondendo às principais responsáveis pelos entraves no setor pecuário (BIDONE *et al.*, 2021). Os prejuízos referem-se à baixa conversão alimentar, diminuição no ganho de peso, redução da produtividade, além da necessidade de descarte da carne ou leite devido a presença de resíduos medicamentosos. Adicionalmente, a frequente exposição a esses medicamentos, muitas vezes de forma inadequada pelo uso de doses múltiplas e regulares, vem determinando a ocorrência de resistência farmacológica, que por sua vez, gera a necessidade do uso repetitivo, agravando ainda mais o problema.

A resistência farmacológica e os efeitos negativos sobre a evolução da imunidade natural dos rebanhos, tem sido registrada há décadas em diferentes regiões do estado do Paraná (VIEIRA *et al.*, 1992; SOCCOL; POHL-DE-SOUZA, 1997), em outras regiões brasileiras (ALMEIDA *et al.*, 2010; KLAFFKE *et al.*, 2017; SILVA *et al.*, 2020) e estrangeiras (RODRIGUEZ-VIVAS *et al.*, 2018; SAGAR *et al.*, 2020; DEY *et al.*, 2020). Cabe ressaltar ainda, a ocorrência de seleção de cepas resistentes às mais variadas bases químicas (HIGA, 2015; KELLEHER *et al.*, 2020). A descoberta de novas bases químicas é um processo demorado e laborioso, dependendo ainda de aprovação segundo critérios do Ministério da Agricultura e Abastecimento, que exige 95% de eficácia (MAPA, 2015). Portanto, atender à demanda do controle sanitário animal representa importante problema da cadeia produtiva da pecuária bovina no Brasil e no mundo.

Outro grave problema gerado pelo uso de agrotóxicos e medicamentos pesticidas veterinários, refere-se à contaminação ambiental (HAMSCHER; BACHOUR, 2018; ISLAM *et al.*, 2018; AGREBI *et al.*, 2020), de alimentos de origem animal (PACHECO-SILVA; SOUZA; CALDAS, 2014; PICININ *et al.*, 2017; KLÁTYIK *et al.*, 2017; PERKINS *et al.*, 2021) e de trabalhadores rurais que lidam diretamente na criação animal, seus familiares, assim como, microrganismos não alvo (MARGALIDA *et al.*, 2014; DUARTE; SANTANA; DALMAS, 2019; HAN; TIAN; SHEN, 2018; MOSTAFALOU; ABDOLLAHI, 2017). Cabe ressaltar que, as intoxicações de caráter ocupacional podem muitas vezes apresentar sinais clínicos inespecíficos, determinando maior dificuldade de se estabelecer o diagnóstico; principalmente, em quadros crônicos ocorrente ao longo de anos (PARANÁ, 2013). Além disso, observa-se baixa percepção de riscos em relação aos medicamentos veterinários, por parte dos trabalhadores rurais.

Conseqüentemente, na maioria das vezes, esses medicamentos não são reconhecidos como agrotóxicos de uso veterinário, o que agrava os riscos pelo aumento da exposição a tais agentes químicos, além de favorecer o negligenciamento do período de carência para consumo humano (SOARES; PORTO, 2012). Segundo Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN), no período de 2015 a 2019, no Paraná foram notificados 834 casos de câncer relacionado ao trabalho, e destes, 54% foram relacionados com o uso de agrotóxicos (PEVAS-PEA 2020-2023, 2021).

A abordagem política da União Européia em relação à segurança alimentar visa garantir elevado nível de segurança, saúde e bem-estar dos animais. Para isso, cada Estado-membro introduziu medidas de controle desde a exploração agrícola até a mesa do consumidor, apostando na vigilância adequada (CE, 2002). A proteção dos consumidores contra resíduos de substâncias farmacologicamente ativas nos alimentos de origem animal é garantida para cada Estado-membro, pelo Plano Nacional de Controle de Resíduos. Estes planos têm como base, a Diretiva nº 96/23 do Conselho Europeu, relativa às medidas de aplicação de substâncias e aos seus resíduos, nos animais vivos e respectivos produtos. Dessa forma, todos os países que pretendam exportar produtos alimentares para a União Européia, deverão adotar processos de produção e aplicar procedimentos de inspeção que possibilitam o respeito aos critérios sobre esta matéria. Isto significa que os produtos de origem animal que se destinam ao mercado europeu, tanto produzidos internamente como por países terceiros, não podem conter resíduos de substâncias cuja concentração exceda os limites previstos ou conter resíduos de substâncias classificadas como perigosas para a saúde dos consumidores, em qualquer concentração.

Frente a essa problemática, faz-se imprescindível que o crescimento do setor pecuário considere além da sustentabilidade econômica, a ambiental, de modo a garantir proteção efetiva dos recursos naturais, meio ambiente e consumidor (OECD-FAO, 2020). No Brasil, cada vez mais têm-se difundido manejos e práticas agroecológicas conservacionistas para o favorecimento da sustentabilidade agropecuária ((MELLO-PEIXOTO *et al.*, 2016; GRACIANO *et al.*, 2020; ORTEGA *et al.*, 2021). Mudanças nos conceitos de produção exigem que os alimentos sejam produzidos em condições higiênicas, por animais sadios e que não estejam eliminando resíduos de antibióticos ou de outras drogas (DAMETTO JÚNIOR *et al.*, 2019; GARCIA; OSBURN; JAY-RUSSELL, 2020; TREMÉA; SCHAURICH; SILVA, 2020).

A exploração pecuária

O modelo agrícola atual de exploração intensiva dos recursos naturais, associado ao uso excessivo de fertilizantes sintéticos, agrotóxicos, além dos pesticidas químicos utilizados na pecuária como antiparasitários, antibióticos, hormônios, têm favorecido à degradação do meio ambiente e importante impacto sobre a biodiversidade e equilíbrio ecológico. Porém, esses prejuízos não se limitaram apenas ao meio rural, uma vez que a presença de resíduos químicos nos alimentos se agravou a tal ponto de se transformar em um problema de saúde pública (DOSSIÊ ABRASCO, 2015; 2018). Entretanto, o modelo agrícola de subsistência, em geral constituído por agricultores familiares que apresentam pouca qualificação e baixa renda, de certa forma, também tem conduzido ao desenvolvimento de atividades que contribuem para a degradação dos recursos naturais (PLANAPLO, 2016).

No ano 2000, iniciou-se no Estado do Paraná um trabalho de incentivo a formação de Territórios por meio da Emater.

Foram definidas áreas de programação integrada, onde as atividades produtivas em comum eram priorizadas. Por meio deste trabalho, foram reunidas lideranças dos municípios e instituições, a fim de buscar o desenvolvimento regional, de forma organizada, formando os Consórcios Intermunicipais no Norte pioneiro do Paraná. Com a realização do *I Fórum de Desenvolvimento Rural Sustentável* foi demonstrada a grande potencialidade desta região. A decisão de fortalecimento e da soma de interesses resultaram na formação de quatro iniciativas territoriais: Território Vale do Rio das Cinzas, Território Divisa Norte, Território G5 e Território Nordeste. Posteriormente, o Território Integração Norte Pioneiro, surgiu de uma iniciativa do Ministério do Desenvolvimento Agrário, que teve como objetivo somar a ação dos quatro pequenos territórios, integrando-os a fim de aumentar a rede de cooperação e otimizar o processo de desenvolvimento.

Atualmente, o Estado do Paraná apresenta 3.502 produtores orgânicos cadastrados junto ao Ministério da Agricultura, 3.363 unidades produtivas em 177 municípios (PARANÁ, 2021).

Porém, pela grande competitividade do agronegócio brasileiro, a sustentabilidade dos sistemas produtivos se desenvolve pela produção em larga escala, exigindo altos investimentos, maquinário e grandes áreas, e pela agregação de valor ao produto comercializado. Para maioria das propriedades do norte do Paraná, em virtude da pequena área disponível, a produção em larga escala não é possível de ser realizada. O pequeno produtor rural, por produzir produtos caracterizados como *commodities*, na sua maioria das vezes, sobrevive descapitalizado à margem desse sistema. Assim, oferecer produtos diferenciados, como orgânicos, biodinâmicos ou agroecológicos, muitas vezes, representa uma alternativa para favorecer a sustentabilidade da atividade familiar

em pequenas propriedades rurais. A diferenciação e melhoria da qualidade do produto acarretam sustentabilidade da atividade e melhora a renda dos produtores.

O consumo de produtos naturais, agroecológicos e orgânicos tem crescido mundialmente, principalmente, pelo aumento da demanda na Europa, América do Norte, e China (LIMA *et al.*, 2020). Porém, esses sistemas de produção, exigem que os alimentos sejam produzidos sem o uso de fertilizantes químicos, pesticidas, inseticidas, antimicrobianos, antiparasitários, transgênicos, ou qualquer outra droga sintética que determine resíduos nocivos à saúde humana, animal e ao ambiente. Consequentemente, a proibição ao uso desses medicamentos sintéticos, torna fragilizada a sanidade dos rebanhos provenientes dos sistemas. O desenvolvimento de alternativas terapêuticas naturais, pode contribuir para manutenção da sanidade, favorecendo a produtividade sem interferir nos processos de certificação (MELLO-PEIXOTO, 2015; GONÇALVEZ *et al.*, 2016). Dessa forma, a crescente busca por terapias naturais vem sendo observada, por estar em consonância com o consumidor cada vez mais exigente quanto à inocuidade do alimento.

A Organização Mundial da Saúde (OMS) continua valorizando a utilização de plantas medicinais, em função de que 80% da população mundial é dependente dessa terapêutica de baixo custo (WHO, 2013). O cultivo orgânico de plantas medicinais representa alternativa de renda para a agricultura familiar devido ao baixo custo de produção, ser uma atividade pouco mecanizada, ter os rendimentos por área relativamente elevados, gerar oportunidades de trabalho que podem ser planejadas e distribuídas ao longo do ano, além de contribuir para a conservação do meio ambiente pela utilização de um agrossistema sustentável.

No Brasil, a Política Nacional de Plantas Medicinais e Fitoterápicos, é norteada pelos princípios de melhoria da atenção à saúde, sustentabilidade e desenvolvimento socioeconômico, além de contemplar o fortalecimento da agricultura familiar pela produção e comercialização de plantas medicinais de qualidade. Além disso, a matéria-prima vegetal pode ser comercializada de modo cooperado, com adicional vantagem que o modelo de cooperativismo associado promove aspectos de direção coletiva, planejamento, divisão de tarefas e disciplina consciente. Dessa forma, foram estabelecidas diretrizes para o uso de plantas medicinais na saúde pública, com a aprovação da Política Nacional de Práticas Integrativas e Complementares no Sistema Único de Saúde (BRASIL, 2006). Porém, os desafios continuam uma vez que, o acesso dos agricultores aos medicamentos naturais, adequados à produção orgânica tem sido um fator limitante (PLANAPLO, 2016).

Embora a fitoterapia tenha sido aprovada e incorporada ao Sistema Único de Saúde (SUS) (BRASIL, 2011), conste fitoterápicos na Relação Nacional de Medicamentos Essenciais do SUS (BRASIL, 2020) e, os fitoterápicos façam parte do Programa Saúde da Família e do Caderno de Atenção Básica n. 31 (BRASIL, 2012), esses medicamentos ainda não são amplamente conhecidos e prescritos pelos profissionais da saúde. Ainda, cabe ressaltar que a relevância científica dos estudos avaliativos das plantas medicinais é condição essencial para o apoio legal ao registro desses medicamentos vegetais e, conseqüentemente, para o fortalecimento do uso, produção e distribuição destes produtos. As principais dificuldades relacionam-se à baixa disponibilidade de recursos financeiros e de pessoal para a realização das diferentes atividades que perpassam a regulamentação dos produtos naturais (PLANAPLO, 2016).

Controle parasitológico animal

A utilização de plantas medicinais tem sido encorajada nas diversas atividades da agropecuária. Avanços nas pesquisas por terapêuticas naturais vêm sendo obtidos pela utilização de bioterápicos e plantas medicinais (MELLO-PEIXOTO *et al.*, 2016), com destaque principalmente, para o controle de helmintos.

Inicialmente, faz-se importante considerar a complexidade dos fatores envolvidos no controle parasitológico e a necessidade de se adotar diferentes técnicas zootécnicas como: pastejo rotacionado, sistema integrado de pastejo entre diferentes espécies como bovinos e ovinos, seletividade de animais, controle estratégico, entre outras. Dessa forma, independentemente do tipo de tratamento medicamentoso a ser instituído, seja natural ou sintético para o efetivo controle parasitológico, faz imprescindível a integração de múltiplas técnicas de manejo, a fim de se controlar as diferentes fases do ciclo biológico dos parasitas no ambiente e nos animais. Dentre essas técnicas, destaca-se o tratamento estratégico e seletivo dos animais, de forma a se evitar o uso medicamentoso desnecessário em todo rebanho.

Atividade anti-helmíntica a base de plantas medicinais

O método Famacha, por exemplo, frequentemente utilizado para controle de helmitoses em ovinos, auxilia na seleção dos animais a serem tratados pela avaliação indireta da anemia, observando-se e comparando-se o grau da coloração da mucosa ocular com a escala de coloração padrão. A mucosa torna-se hipocorada conforme o grau de infecção por parasitas que determinam depleção sanguínea, como no caso de *Haemonchus contortus*. Embora seja um método rápido, de baixo custo e prático, não é capaz de reconhecer apropriadamente

infecções por parasitas que não determinem anemia. Assim, evidencia-se que independente dos benefícios das diferentes técnicas zootécnicas, dificilmente se promove eficiência e efetividade de controle parasitário quando não se institui múltiplas estratégias sanitárias.

A utilização de medicamentos à base de plantas medicinais, extratos vegetais ou fisioterápicos, pode controlar a resistência farmacológica pela possibilidade de minimizar o uso dos parasiticidas sintéticos. A presença de metabólitos secundários como lactonas, alcaloides, glicosídeos e taninos foi associada às propriedades antiparasitárias. Taninos agem sobre os nematódeos gastrointestinais de forma direta, podendo ligar-se as estruturas do helminto como a cutícula, trato digestivo e reprodutivo (ALONSO-DÍAZ *et al.*, 2011) ou podendo causar inibição da migração larval pelo desembainhamento larval (KAKIMORI *et al.*, 2019). Seus efeitos *in vitro* foram relacionados à redução na eclodibilidade dos ovos e inibição do desenvolvimento e motilidade de adultos e larvas (LEME *et al.*, 2020). A redução na eclodibilidade dos ovos promove redução de helmintos infectantes, da contaminação das pastagens, e conseqüente, reduz o número de animais infectados no rebanho.

O mecanismo de ação antiparasitário também pode ocorrer por meio da capacidade pró-oxidativa, determinando aumento da concentração de H_2O_2 intracelular e dos produtos de peroxidação lipídica, além de aumentar a ação das enzimas antioxidantes glutathione S- transferase e superóxido dismutase. Também podem reduzir o metabolismo dos parasitas por meio da inibição da fosforilação oxidativa, rota metabólica responsável pela geração de adenosina trifosfato, principal molécula fornecedora de energia para o metabolismo animal, o que causa paralisia e morte larval (ATHANASIADOU *et al.*, 2001).

Adicionalmente, a ação indireta dos taninos sobre os parasitas se desenvolve à medida que se ligam as proteínas e as protege da excessiva degradação ruminal, liberando-as para absorção pelo intestino delgado (ALONSO-DÍAZ *et al.*, 2011). Esse acréscimo no nível de proteína metabolizável do alimento, proporciona o incremento da resposta imune do hospedeiro, e assim, favorece a redução do número de ovos por grama de fezes (HOUDIJK *et al.*, 2012).

Musa paradisiaca

A banana (*Musa paradisiaca*) está abundantemente distribuída no Brasil e no mundo, com cultivo principalmente para fins alimentares devido ao seu valor nutritivo. A inflorescência ou botão floral da bananeira, popularmente conhecida como coração da bananeira, é altamente rica em carboidratos e proteínas, sendo importante fonte de minerais e fibras (FINGOLO *et al.*, 2012). Devido aos altos teores de taninos condensados, sua ação anti-helmíntica tem sido avaliada.

Kakimori *et al.* (2019) avaliaram, *in vitro*, a ação anti-helmíntica do extrato hidroalcoólico do botão floral de bananeira (EHB) a 10%, sobre nematoides gastrointestinais de ovinos e bezerros naturalmente infectados. Verificaram que o EHB na dosagem de 2,5 mg.mL⁻¹ determinou 88% de inibição sobre a eclodibilidade das larvas de nematoides de bovinos, e 67,5% de inibição da migração larval na dosagem de 5 mg.mL⁻¹. Entretanto, não observaram eficácia para ambos testes quando realizados em nematoides de ovinos. Porém, esses pesquisadores, ao avaliarem maiores concentrações do EHB, nas mesmas condições que as anteriores, verificaram 100% de inibição para ambos os testes realizados em nematoides gastrointestinais de ovinos (LEME *et al.*, 2020). Provavelmente, tais resultados podem ter sido influenciados pela

maior resistência aos anti-helmínticos desenvolvida na espécie ovina, quando comparada a espécie bovina.

Psidium guajava

Pertencente à família Myrtaceae, a goiaba (*Psidium guajava* L.) é uma planta nativa de florestas tropicais, frequentemente encontrada em todo território nacional. Apresenta como vantagem sua boa adaptação as regiões de clima árido, como o nordeste brasileiro, que corresponde aos Estados de maior produção de ovinos no Brasil. Sua casca, frutos e folhas, apresentam atividade antibacteriana, antiparasitária, hipoglicêmica, anti-inflamatória, analgésica, antipirética, antiespasmódica e depressora do sistema nervoso central (BEGUM *et al.*, 2004).

A atividade anti-helmíntica do extrato hidroalcoólico da casca do caule da goiabeira (PgHA) à 10%, foi também avaliada utilizando os testes de inibição da eclodibilidade e da migração de larvas de em nematoides gastrointestinais de ovinos (SILVA *et al.*, 2020). Os teores de polifenóis totais, flavonoides e taninos foram determinados por análise fitoquímica, cromatografia líquida de alta eficiência acoplada à espectrometria de massa. A atividade antioxidante foi avaliada pelos testes de 1,1-difenil-2-picrilhidrazil, poder antioxidante redutor férrico e substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico. Também foi determinada proteína total, H_2O_2 intracelular e atividade antioxidante das enzimas: glutational S-transferase e superóxido dismutase. O PgHA, na dosagem de 5 mg.mL^{-1} , inibiu a eclodibilidade em 16,12% de maneira dose-dependente. Essa inibição interrompe o início do ciclo do parasita, antes mesmo da liberação das larvas para o meio ambiente, este fato pode reduzir a contaminação de pastagens, reinfecção de animais e contribuir para o controle parasitológico. Talvez o problema desses valores baixos possa ser resolvido testando o extrato

em concentrações mais altas; considerando sua ação no padrão dependente da dose. O PgHA inibiu a migração larval, mas não exibiu o padrão dose dependente, uma vez que não foram observadas diferenças significativas entre as diferentes concentrações de PgHA avaliadas no estudo. Esses autores ainda demonstraram o mecanismo antiparasitário que ocorreu por meio da atividade pró-oxidativa, pelo aumento das proteínas totais, H_2O_2 intracelular e dos produtos da peroxidação lipídica, bem como pelo aumento das enzimas acima relacionadas. Assim, o PgHA também apresentou atividade antiparasitária *in vitro*.

Punica granatum L.

Punica granatum (romã) também conhecida como romãzeira, apresenta-se amplamente distribuída no Brasil e mundialmente. Caracteriza-se por arbusto ramoso, com flores vermelho-alaranjadas e frutos globóides, com sementes envolvidas por cápsula rósea, repleta de líquido adocicado. Constituída principalmente de alcalóides (peletierina, isopeletierina, metilpeletierina), taninos, compostos fenólicos (antocianinas, quercetina, ácidos fenólicos) e flavonoides (HOLLAND *et al.*, 2009). Dentre estes constituintes destacam-se os taninos condensados por apresentarem atividade anti-helmíntica (YOSHIHARA; MINHO; YAMAMURA, 2013; MELLO-PEIXOTO; PELANDA; RADIS, 2013). Dessa forma, o potencial anti-helmíntico do extrato hidroalcoólico da casca do caule da romã a 10% (HEPg) *in vitro*, também foi avaliado em nematódeos de ovinos.

Utilizando-se os testes de inibição da eclodibilidade e da migração larval, o HEPg foi avaliado nas concentrações 0.625, 1.25, 2.5, 5, 7, 10 e 15mg.mL⁻¹. A partir da concentração de 7mg mL⁻¹, o HEPg determinou 100% de inibição da eclodibilidade dos ovos (CARREIRO, 2017). Porém, em relação ao teste de

inibição da migração larval, só foi possível atingir eficácia de 92,76% e 97,25% nas dosagens de 10 e 15mg.mL⁻¹, respectivamente (PAIVA, 2021).

Anjos *et al.* (2016) avaliaram o extrato aquoso seco e *in natura* do caule da romanzeira, sobre a inibição larval de *Haemonchus* spp. e *Cooperia* spp. obtidos a partir de amostras de fezes de bovinos naturalmente infectados. Os resultados foram avaliados em triplicada por contagem de ovos por grama de fezes (EPG), cultura fecal e contagem de larvas. A média das larvas que se desenvolveram por grama de fezes foi submetida a transformação logarítmica. O EPG apresentou valor médio de 3.620 ovos, identificados em culturas fecais de larvas de *Haemonchus* spp. e *Cooperia* spp. e o extrato aquoso seco apresentou redução das larvas, eficácia de 92,29% para *Haemonchus* spp. e 96,97% para *Cooperia* spp. Na forma *in natura*, este extrato apresentou 80% de eficácia contra larvas de *Cooperia*, sendo considerado moderadamente eficaz. No entanto, para *Haemonchus* spp. este extrato não foi eficaz. Esses resultados são especialmente importantes para sistemas de produção orgânicos, biodinâmicos, e agroecológicos, cujo uso de parasiticidas sintéticos comprometem a certificação desses sistemas.

***Fagopyrum esculentum* Moench**

Trigo mourisco (*Fagopyrum esculentum* Moench) é uma planta dicotiledônea pertencente à família Polygonaceae que apresenta alto teor proteico, principalmente devido à presença de lisina (ZHOU *et al.*, 2012). O farelo de trigo mourisco possui taninos condensados, flavonoides e ácidos fenólicos (STEADMAN *et al.*, 2001). Sendo, portanto, considerada uma planta tanífera, o extrato hidroalcoólico de sementes de trigo mourisco (EHATM) a 10%, foi avaliado em triplicada nas seguintes dosagens: 0.625; 1.25; 2.5 e 5 mg.mL⁻¹ (GONÇAVEZ

et al., 2016). Inicialmente, esses autores verificaram inibição de 19,66% da eclosão a partir da dosagem de 1,25 mg mL⁻¹ e 17,66% de inibição da migração larval na concentração de 5 mg.mL⁻¹. Entretanto, Paiva (2021) ao reavaliar o teste de inibição da migração larval, verificou importante atividade inibitória dose dependente, nos valores de 6,8%, 29,76%, 59,29% e 89,87%, respectivamente. As diferenças nos resultados dos estudos, provavelmente ocorreu devido à inadequação da técnica de desbainhamento, uma vez que para o estudo de Gonçalves *et al.* (2016) não foi utilizado hipoclorito de sódio à 12 %, 150 µL mL⁻¹, por 5 minutos.

Considerações finais

Investigações de novas substâncias bioativas naturais podem ser de grande valor para o controle da sanidade animal e segurança alimentar, por diminuir a quantidade e ou frequência de utilização de produtos químicos; sendo particularmente importante para os sistemas de produção agroecológicos, orgânicos ou biológico-dinâmicos, cujo uso de medicamentos químicos sintéticos é fator limitante.

Referências

AGREBI, N. E.; KIRSTEN, T.; OLIVIER, W. C.; TOSI, S., LAURENT, L.; DANNEELS E.; DE GRAAF, D. C.; SAEGERMAN, C. Pesticide and veterinary drug residues in Belgian beeswax: occurrence, toxicity, and risk to honey bees. **Science and Total Environment**, v. 745, n. 25, p. 1–14, 2020.

ALMEIDA, F. A.; GARCIA, K. C. O. D.; TORGERSON, P. R.; AMARANTE, A. F. T. Multiple resistance to anthelmintics by *Haemonchus contortus* and *Trichostrongylus colubriformis*

in sheep in Brazil. **Parasitologia International**, v. 59, n. 4, p. 622-625, 2010.

ALONSO-DÍAZ, M. A.; TORRES-ACOSTA, J. F. J.; SANDOVAL-CASTRO, C. A.; HOST, H. Comparing the sensitivity of two *in vitro* assays to evaluate the anthelmintic activity of tropical tannin rich plant extracts against *Haemonchus contortus*. **Veterinary Parasitology**, v. 181, p. 360-364, 2011.

ANJOS, C.; SILVA, B. T.; HOLSBACK, L. S. F.; SILVA, C.S.; MATSUMOTO, L. S.; SILVA, R. M. G.; MELLO-PEIXOTO, E. C. T. Pomegranate extracts on larval inhibition of *Haemonchus* spp and *Cooperia* spp obtained from cattle. **Bioscience Juornal**, v. 32, n. 5, p. 1277-1285, 2016.

ATHANASIADOU, S.; KYRIAZAKISA, I.; JACKSON, F.; COOPB, R. L. Direct anthelmintic effects of condensed tannins towards different gastrointestinal nematodes of sheep: *in vitro* and *in vivo* studies. **Veterinary Parasitology**, v. 99, p. 205-219, 2001.

BEGUM, S.; HASSAN, S. I.; ALI, S. N.; SIDDIQUI, B. S. Chemical constituents from the leaves of *Psidium guajava*. **Natural Product Research**, v. 18, n. 2, p. 135-140, 2004.

BESIER, R. B. Refugia-based strategies for sustainable worm control: Factors affecting the acceptability to sheep and goat owners. **Veterinary Parasitology**, v. 186, n. 1-2, p. 2-9, 2012.

BIDONE, N. B.; GONÇALVES, A.P.; BREMM, C.; GIROTTO, A. F.; SANTOS, SOARES, A. G.; SANTOS, P.; PINTO, A.; SOARES, J. F. Slaughter condemnation in bovine due to parasitic lesions and their economic impact in Federal Inspection

System establishments in Brazil and in State inspection System in Rio Grande do Sul State. **Revista Brasileira Parasitologia Veterinary**, v. 30, n. 1, 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 971, de 3 de maio de 2006. Aprova a Política Nacional de Práticas Integrativas e Complementares (PNPIC) no Sistema Único de Saúde. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 04 de maio de 2006. Disponível em: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/sau-delegis/gm/2006/prto971_03_05_2006.html. Acesso em: 17 de jul. 2021.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Formulário de Fitoterápicos da Farmacopéia Brasileira**. 1 ed. Brasília: Anvisa, 2011, 126p. Disponível em: <<https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/farmacopeia/formulario-fitoterapico/arquivos/8080json-file-1>> Acesso em: 17/07/ 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Atenção Básica. **Práticas integrativas e complementares: plantas medicinais e fitoterapia na Atenção Básica/Ministério da Saúde**. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Atenção Básica. – Brasília: Ministério da Saúde, 2012. 156 p. (Série A. Normas e Manuais Técnicos) (Cadernos de Atenção Básica; n. 31) Disponível em: http://189.28.128.100/dab/docs/publicacoes/geral/miolo_CAP_31.pdf. Acesso em: 17 de jul. 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos. Departamento de Assistência Farmacêutica e Insumos Estratégicos. **Relação Nacional de Medicamentos Essenciais: RENAME 2020**. ed. rev. e

atual. - Brasília: Ministério da Saúde. 2020. Disponível em: https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/relacao_medicamentos_rename_2020.pdf. Acesso em: 17 de jul. 2021.

CARREIRO, K. M. L. **Atividade anti-helmíntica do extrato de romã em ovinos**. Orientadora: Erika Cosendey Toledo de Melo Peixoto. 34 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Medicina Veterinária) - Universidade Estadual do Norte do Paraná, Bandeirantes, 2017.

DAMETTO JUNIOR, E. R.; FLECK, L.; EYNG, E.; ORSSATO, F. Interest and consumption analysis of sustainable products by the population of Medianeira-PR. **Acta Igazu**, v.8, n.5, p.98-109 2019.

DEY, A. R.; BEGUM, N.; ANISUZZAMAN, A. L. I.; MA, M.; ALAM, M. Z. Multiple anthelmintic resistance in gastrointestinal nematodes of small ruminants in Bangladesh. **Parasitologia International**, v.77, p.102–5, 2020.

DOSSIÊ ABRASCO: um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde. In: CARNEIRO, F. F., RIGOTTO, R. M., SILVA, L. G., FRIEDRICH, A. K., BÚRIGO, A. C. (Org.) Rio de Janeiro: EPSJV; São Paulo: Expressão Popular, 2015. 624 p. Disponível em: https://www.abrasco.org.br/dossieagrotoxicos/wpcontent/uploads/2013/10/DossieAbrasco_2015_web.pdf. Acesso em: 17 de jul. de 2021.

DOSSIÊ ABRASCO ABA: Contra o PL do veneno e a favor da Política Nacional de redução de agrotóxicos – PNARA. In: FRIEDRICH, K., CARNEIRO, F.F., MENDONÇA, M. (Org.), Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Saúde Coletiva (ABRASCO) e Associação Brasileira de Agroecologia (ABA),

2018. 288 p. Disponível em: https://www.abrasco.org.br/site/wpcontent/uploads/2018/08/DOSSIE_NOVO_26_JULHO_Final-compressed2.pdf. Acesso em: 17 de jul. de 2021.

DUARTE, P. M. D. E.; SANTANA, V. T. P.; DALMAS, A. D. Perfil Epidemiológico das Intoxicações por Produtos Veterinários no Estado do Rio Grande do Sul entre 2007 e 2017. **Connection Line – Rev. Elet. Univag**, v. 21, 2019.

FINGOLO, C. E. *et al.* The natural impact of banana inflorescences (*Musa acuminata*) on human nutrition. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 84, n. 4, p. 891-898, 2012.

GARCIA, S. N.; OSBURN, B. I.; JAY-RUSSELL, M. T. **One Health for Food Safety, Food Security, and Sustainable Food Production**, v. 4, n. 1, 2020.

GONÇALVEZ, F. M. F.; YOSHIHARA, E.; SILVA, R. M. G.; MELLO-PEIXOTO, E. C. T. *Anthelmintic and antioxidant potential of Fagopyrum esculentum Moench in vitro*. **African Journal Agriculture Research**, v. 11, n. 44, p. 4454-4460, 2016.

GRACIANO, I.; MATSUMOTO, L. S.; DEMÉTRIO, G. B.; MELLO-PEIXOTO, E. C. T. Evaluating Pfeiffer Chromatography for Its Validation as an Indicator of Soil Quality. **Journal of Agricultural Studies**, v. 8, p. 420-446, 2020.

HAMSCHER, G.; BACHOUR, G. Veterinary Drugs in the Environment: Current Knowledge and Challenges for the

Future, **Jounal Agricultural and Food Chemistry**, v. 66, n. 4, p. 751-752. 2018.

HAN, W.; TIAN, Y.; SHEN, X. Human exposure to neonicotinoid insecticides and the evaluation of their potential toxicity: An overview. **Chemosphere**, v.192, p. 59-65, 2018.

HIGA, L. O. S. Acaricide Resistance Status of the Rhipicephalus microplus in Brazil: A Literature Overview. **Journal of Medicinal Chemistry**, v. 5, n. 7, 2015.

HOLLAND, D.; HATIB, I.; BAR-YA'AKOV. Pomegranate: botany, horticulture, breeding. *In*: JANICK, J. (Ed.), **Horticultural Reviews**, v. 35, p. 127–191. USA: Wiley. 2009.

HOUDIJK, J.G.M.; KYRIAZAKIS, K.; KIDANE, A.; ATHANASIADOU, S. Manipulating small ruminant parasite epidemiology through the combination of nutritional strategies. **Veterinary Parasitology**, v. 186, p. 38-50, 2012.

ISLAM, F.; WANG, J.; FAROOQ, MA, KHAN, M. S. S.; XU, L., ZHU, J.; ZHAO, M.; MUÑOS, S.; LI, Q. X.; ZHOU, W. Potential impact of the herbicide 2,4-dichlorophenoxyacetic acid on human and ecosystems. **Environment International**, v.111, p. 332-51, 2018.

KAKIMORI, M. T. A.; DEBIAGE, R. R.; GONÇALVEZ, F. M. F.; SILVA, R. M. G.; YOSHIHARA, E.; MELLO-PEIXOTO, E. C. T.; Anthelmintic and antioxidant potential of banana bracts (*Musa paradisiaca*) extract in ruminants. **Acta Veterinaria Brasilica** (UFERSA), v. 13, p. 18-23, 2019.

KLAFKE, G.; WEBSTER, A.; AGNOL, B. D.; PRADEL, E.; SILVA, J.; DE LA CANAL, L. H.; BECKER, M.; OSÓRIO, M. F.; MANSSON, M.; BARRETO, R.; SCHEFFER, R.; SOUZA, U. J.; CORASSINI, V. B.; SANTOS, J.; JOSÉ, J., MARTINS, J. R. Multiple resistance to acaricides in field populations of *Rhipicephalus microplus* from Rio Grande do Sul State, Southern Brazil. **Ticks and Tick-borne Diseases.**, v. 8, p. 73-80, 2017.

KELLEHER, A. C.; GOOD, B.; DE WAAL, T.; KEANE, O. M. Anthelmintic resistance among gastrointestinal nematodes of cattle on dairy calf to beef farms in Ireland. **Irish Veterinary Journal**, v.7 3, n. 12, 2020.

LEME, M.E; MELLO-PEIXOTO, E. C. T; YOSHIHARA, E; KAKIMORI, M. T. A; PORTES, E. A; PAIVA, M. M; SILVA, M. A. A. Ação *in vitro* do extrato do botão florar da bananeira (*Musa spp.*) sobre nematódeos gastrintestinais de ovinos. **Research, Society and Development**, v. 9, n.8, 2020.

LIMA, S. K.; GALIZA, M.; VALADARES, A.; FABIO ALVES, F. **Produção e consumo de produtos orgânicos no mundo e no Brasil**, IPEA, Fev. 2020. Disponível em: http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/9678/1/TD_2538.pdf. Acesso: 12 de jul. de 2021.

MAPA. **Regulamento técnico sobre antiparasitários de uso veterinário. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.** Secretaria de defesa agropecuária. Portaria nº 88, de 06 de novembro. de 2015. Disponível em: <http://www.cbpv.org.br/usr/arquivos/Portaria%2088-2015.pdf>. Acesso: 12 de jul. de 2021.

MARGALIDA, A.; BOGLIANI, G.; BOWDEN, C. G. R.; DONÁZAR, J. A.; GENERO, F., GILBERT, M.; KARESH, W. B.; KOCK, R.; LUBROTH, J.; MANTECA, X.; NAIDOO, V.; NEIMANIS, A.; SÁNCHEZ-ZAPATA, J. A.; TAGGART, M.; VAARTEN, A. J.; YON, L.; KUIKEN, T.; GREEN, R. E. One Health approach to use of veterinary pharmaceuticals. **Science**, v. 346, p. 1296–1298, 2014.

MELLO-PEIXOTO, E. C. T.; PELANDA, A.; RADIS, A. C. Phytotherapy in the control of helminthiasis in production animals. **African Journal of Agricultural Research**, v. 8, p. 2421-2429, 2013.

MELLO-PEIXOTO, E. C. T. Utilização de plantas medicinais e bioterápicos para sustentabilidade da produção agroecológica. Subprojeto: Estratégias naturais para o controle de helmintos. *In*: Hur Ben Corrêa da Silva; Denise Cidade Cavalcanti; Alexandra Ferreira Pedroso. (Org.) Pesquisa e extensão para a agricultura familiar no âmbito da política nacional de assistência técnica e extensão rural. 1. ed., Brasília: **Secretaria Agricultura Familiar Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA)**. v.1, p.1-391, 2015. Disponível em: <https://docplayer.com.br/19490612-Pesquisa-e-extensao-para-a-agricultura-familiar-no-ambito-da-politica-nacional-de-assistencia-tecnica-e-extensao-rural.html>. Acesso: 21 de jul. de 2021.

MELLO-PEIXOTO, E. C. T. Produção Animal Orgânica: Cultivo de Plantas Medicinais e sua Aplicação no Controle Sanitário Animal. *In*: Organizado por: SEIDEL, E. P., *et al.* **Sustentabilidade agropecuária em sistemas agroecológicos e orgânicos de produção**. 1. ed. Marechal Cândido Rondon: Grasmil, v. 1. 2016, 228p.

MOSTAFALOU, S.; ABDOLLAHI, M. Pesticides: an update of human exposure and toxicity. **Archives of Toxicology**, v. 91, p. 549-99, 2017.

NOVO, S. M. F.; OLIVEIRA, D. A.; PAPPOTTI, K.; *et al.* Short Communication: Natural Prophylaxis to the Control of Swine Coccidiosis. **International Journal of Environmental & Agriculture Research**, v. 2, p. 22-24, 2016.

OECD-FAO (2020), **OECD-FAO Agricultural Outlook 2020-2029**, FAO, Rome/OECD Publishing, Paris. Disponível em: <http://www.fao.org/3/ca8861en/CA8861EN.pdf>. Acesso em: 21 de jul. de 2021.

ORTEGA, W.; RODRIGUES, D.; RODRIGUES, M. V. S.; GRACIANO, I; MELLO-PEIXOTO, E. C. T. Manejo agroecológico do solo: análise e conservação de solos no modelo agroflorestal. *In*: Eduardo Eugênio Spers. (Org.). **MANEJO AGROECOLÓGICO DO SOLO: ANÁLISE E CONSERVAÇÃO DE SOLOS NO MODELO AGROFLORESTAL**. Ved. Curitiba: Editora Artemis, v.1, p. 143-151, 2021.

PACHECO-SILVA, E.; SOUZA, J. R.; CALDAS, E.D. Resíduos de Medicamentos veterinários em leite e ovos. **Química Nova**, v. 37, n. 1, p.111-122, 2014.

PAIVA, M. M. **Extratos de plantas medicinais sobre nematódeos gastrointestinais de ovinos**. 29f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Medicina Veterinária) - Universidade Estadual do Norte do Paraná, Bandeirantes, 2021.

PARANÁ. Secretaria de Estado da Saúde do Paraná. Superintendência de Vigilância em Saúde. Centro Estadual de Saúde do Trabalhador. **Protocolo de avaliação das Intoxicações Crônicas por agrotóxicos.** Curitiba: Secretaria de Estado da Saúde do Paraná, 2013. Disponível em: http://www.saude.pr.gov.br/arquivos/File/CEST/Protocolo_AvaliacaoIntoxicacaoAgrotoxico.pdf Acesso: 21 de jul. de 2021.

PARANÁ, 2021. Agência de Notícias do Estado do Paraná - Paraná Governo do Estado. Disponível em: <https://www.aen.pr.gov.br/modules/noticias/article.php?storyid=108252>. Acesso: 21 de jul. de 2021.

PERKINS, R.; WHITEHEAD, M.; CIVIL, W.; GOULSON, D. Potential role of veterinary flea products in widespread pesticide contamination of English rivers. **Science Total Environment**, v. 755, 1, 2021. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.143560

PEVASPEA 2020-2023 - **Plano de Vigilância Atenção à Saúde de Populações Expostas aos Agrotóxicos do Estado do Paraná**, Secretaria da Saúde: Curitiba, 2021, 102p. Disponível em: <https://www.saude.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2020-04/plano_agrotoxicos.pdf> Acesso: 21/07/2021.

PICININ, L. C. A.; TOALDO, I. M.; HOFF, R. B.; SOUZA, F. N.; LEITE, M. O.; FONSECA, L. M.; DINIZ, S. A.; SILVA, M. X.; CERQUEIRA, M. M. O. P.; BORDIGNON-LUIZ, M. T Survey of pyrethroid, macrocyclic lactone and antibacterial residues in bulk milk tank from Minas Gerais State, Brazil. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v.37, n.2, p.97-104, 2017.

PLANO NACIONAL DE AGROECOLOGIA E PRODUÇÃO ORGÂNICA – **PLANAPO**: 216-2019 / Câmara Interministerial de Agroecologia e Produção Orgânica. – Brasília, DF: Ministério do Desenvolvimento Agrário, 2016. Disponível em: <<http://www.agroecologia.gov.br/sites/default/files/publicacoes/Planapo%202016%202019%20-%20atualização%20técnica.pdf>> Acesso: 21/07/2021.

REGULAMENTO (CE) N.º 178/2002 DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 28 de Janeiro de 2002. **Jornal Oficial das Comunidades Europeias**. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32002R0178>. Acesso: 17 de jul. de 2021.

RODRIGUEZ-VIVAS, JONSSON, N.; BHUSHAN, C. Strategies for the control of Rhipicephalus microplus ticks in a world of conventional acaricide and macrocyclic lactone resistance. **Parasitology Research**, v.117, n.1, p. 3-29, 2018.

SAGAR, S.V.; SAINI, K.; SHARMA, A. K.; KUMAR, S.; KUMAR, R.; FULAR, A.; SHAKYA, M.; UPADHAYA, D.; NAGAR, G.; SHANMUGANATH, C.; SUBHAMOY S.; KUMAR, S.; GHOSH, S. Acaricide resistance in Rhipicephalus microplus collected from selected districts of Madhya Pradesh, Uttar Pradesh and Punjab states of India. **Tropical Animal Health and Production**, v. 52, n. 2, p. 611–618, 2020.

SILVA, C. J. F. C.; FERREIRA, O. C.; ALMEIDA, L. E. M.; SANTOS, M. H. B.; GOMES, A. L.; VASCONCELOS, A. B.; PIFANO NETO, A. Quintal Resistência a doramectina e alternativas diagnósticas para o controle seletivo de helmintos gastrintestinais em ovinos. **Pubvet**, v. 14, n. 9, p. 132, 2020.

SILVA, L.P.; DEBIAGE, R. R.; BRONZEL JÚNIOR, J. L.; SILVA, R. M. G.; MELLO-PEIXOTO, E.C.T. *In vitro* anthelmintic activity of Psidium guajava hydroalcoholic extract against gastrointestinal nematodes of sheep. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 92, p. 20190074, 2020.

SOARES, W. L.; PORTO, M. F. S. Uso de agrotóxicos e impactos econômicos sobre a saúde. **Revista Saúde Pública**, v. 46, n. 2. p. 209-17, 2012.

SOCCOL, V.T.; POHL-DE-SOUZA, F. Contribuição para o estudo da resistência dos helmintos gastrointestinais de ovinos (*Ovis aries*) aos anti-helmínticos, no Estado do Paraná. **Revista Brasileira Parasitologia Veterinária**, v. 6, 1997.

STEADMAN, K. J.; BURGOON, M. S.; LEWIS, B. A.; STEVEN E. E.; OBENDORF, R. L. Minerals, phytic acid, tannin and rutin in buckwheat seed milling fractions. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 81, p.1094-1100. 2001.

TREMÉA, E.; SCHAURICH, A. C. S.; SILVA, E. K. S. O direito humano à alimentação adequada e à segurança alimentar e nutricional no contexto das políticas alimentares brasileiras **Revista Quero Saber**, v.1, n.2, 2020. Disponível em: <<http://deposita.ibict.br/handle/deposita/200>> Acesso: 17/07/2021.

VIEIRA, L. S.; BERNE, M. E. A.; CAVALCANTE, A. C. R.; COSTA, C. A. F. *Haemonchus contortus* resistance to ivermectin and netobimin in Brazilian sheep. **Veterinary Parasitology**, v. 45, p.111-116, 1992.

YOSHIHARA, E.; MINHO, A. P.; YAMAMURA, M. H. Efeito anti-helmíntico de taninos condensados em nematódeos gastrintestinais de ovinos (*Ovis aries*). **Semina**, v. 34, p. 3935-3950, 2013.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. (2013). **Traditional medicine strategy: 2014-2023**. World Health Organization. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/92455>. Acesso em: 17 de jul. de 2021.

ZHOU, M. L.; BAI, D. Q.; TANG, Y.; ZHU, X. M.; SHAO, J. R. Genetic diversity of four new species related to southwestern Sichuan buckwheats as revealed by karyotype, ISSR and allozyme characterization. **Plant Systematics and Evolution**, v. 298, p.751-759, 2012.

PARTE II
SANIDADE VEGETAL
Part II: Plant health

TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO PARA MILHO E SOJA

Application technology for corn and soybeans

Marco Antonio Gandolfo

Rone Batista de Oliveira

Considerações iniciais

As transformações naturais do meio em que as culturas são conduzidas e o aumento das resistências e adaptações biológicas das doenças, pragas e plantas daninhas, torna-se necessário o uso de tecnologia na atividade agrícola para manter seu potencial competitivo no contexto agrícola mundial.

A produção de grãos e fibras demandou mudanças no aspecto produtivo, tornando-se uma das atividades agrícolas com elevado emprego de mão de obra especializada, com intervenções mecanizadas envolvidas em todos os processos de produção e, praticamente, em todo o território nacional.

Também, o aumento da frequência destas ações nas culturas tem sido elevado tanto pela ação dos agentes de danos, quanto pela adaptação de novas pragas, doenças e plantas invasoras, requerendo aplicações de produto fitossanitários mais frequentes.

Como resposta tecnológica a estes desafios, a ciência tem trabalhado no desenvolvimento de produtos e técnicas de aplicação que elevem a eficiência das pulverizações. Dentre as alternativas de melhoria estão a obtenção de depósitos de produtos nos alvos biológicos de forma mais eficiente e com menores perdas para o ambiente. Além disso, o desenvolvimento e disponibilização de produtos químicos menos tóxicos e mais específicos para cada agente de dano, tem elevado também a segurança das aplicações.

Estes avanços ocorreram, em grande parte, graças as pesquisas, treinamentos, publicações e investimentos na tecnologia de aplicação, cujo conceito segundo Matuo (2001) é o uso das informações para levar a quantidade necessária de produto no local correto, com menor perda para o ambiente e com o custo adequado. Tal conceito destaca como parâmetros importantes a qualidade, a segurança e o custo das aplicações.

Ainda que não se possa estabelecer dentre eles o parâmetro mais importante, deve-se admitir que a priorização de um ou dois dos parâmetros propostos, sempre conflitará com o outro. Assim, ao priorizar o custo deve-se ter o cuidado para não comprometer a segurança ou a qualidade a ponto de inviabilizar o processo.

A tecnologia de aplicação será tratada aqui levando em conta três de seus parâmetros, considerados na conceituação e, ainda, na sua relação com o ambiente, com o pulverizador e com a seleção de pontas de pulverização, de forma a possibilitar a otimização de todos os recursos para maior eficiência possível no controle químico das pragas, doenças e plantas daninhas.

O ambiente

O ambiente pode afetar o resultado da aplicação de produto fitossanitários dependendo das condições meteorológicas, do agente de dano e da cultura onde o produto é aplicado. As condições meteorológicas no momento da aplicação podem ter efeito favorável ou não, dependendo principalmente dos valores de temperatura, umidade do ar, velocidade e direção do vento e da iluminância solar.

Condições meteorológicas

A velocidade do vento e sua direção têm relação direta com a intensidade do deslocamento das gotas e a direção para

onde serão levadas, caracterizando o fenômeno conhecido como deriva (MILLER, 2004). A maioria das recomendações técnicas restringem o uso de gotas mais finas nas aplicações quando a velocidade do vento superar 10 km h^{-1} , porém este valor não deve ser considerado absoluto, pois a deriva não é fator dependente somente da velocidade do vento, mas também das características das gotas produzidas na pulverização (SCHAMPHELEIRE *et al.*, 2008; ALHEIDARY *et al.*, 2014).

Assim, quanto maior as gotas produzidas menor será seu deslocamento em função de uma determinada intensidade do vento. A possibilidade de utilizar espectro de gotas diferentes pode também permitir a pulverização em diferentes condições meteorológicas. Deve-se considerar, porém, que gotas de maior tamanho resultam em exigências de maior taxa de aplicação para se obter uma determinada cobertura, além de estarem limitadas a depósitos em superfícies mais expostas como as partes mais altas das plantas.

Apesar da ocorrência de vento excessivo ser prejudicial, principalmente pelo aumento da deriva, aplicações durante sua ausência ou com velocidades abaixo de 2 km h^{-1} também devem ser evitadas, sobretudo nas pulverizações diurnas com iluminância intensa, já que estas condições podem favorecer a flutuação das gotas. Este efeito baseia-se no aquecimento do solo pela incidência dos raios solares, o que aquece o ar mais próximo ao solo, tornando-o menos denso. Assim, esta porção de ar se desloca para cima, devido a diferença de densidade com o ar em altitude, gerando a ação convectiva. O deslocamento ascendente do ar aquecido retarda ou impede a queda das gotas de pulverização em determinados locais, dependendo da massa da gota e da intensidade convectiva. A ocorrência de vento ($< 2 \text{ km/h}$) reduz o efeito de convecção favorecendo a chegada das gotas ao local desejado, contribuindo inclusive,

com a redução da deriva e carreamento de vapor de produtos devido a volatilidade.

Outro fenômeno atmosférico prejudicial é a inversão térmica. Ela ocorre devido a redução da temperatura do ar próximo ao solo, tornando-o muito denso e mais viscoso, sendo mais comum no final da tarde e nas primeiras horas do amanhecer. Tal condição também retarda ou impede a queda das gotas finas ou muito finas, mantendo-as suspensas sobre a camada de ar frio. Estas gotas serão dissipadas ou cairão somente após a redução da densidade e da viscosidade da camada mais baixa de ar, não sendo possível prever seu deslocamento e local de queda com precisão e segurança. Este fenômeno pode ser observado principalmente no período da manhã, quando se vê a massa de gotas suspensa acima da lavoura onde foram pulverizadas. Neste caso, o vento também minimiza os efeitos da inversão térmica, já que pela turbulência produzida, mistura o ar frio ao aquecido, o que reduz o gradiente de diferencial térmico e de viscosidade do ar, colaborando com a distribuição e quedas das gotas pulverizadas em locais mais próximos à área tratada.

As práticas de pulverização são altamente sensíveis as variações das condições meteorológicas (SILVA; OLIVEIRA; GANDOLFO, 2018). As condições meteorológicas consideradas favoráveis para a realização das pulverizações são amplamente citadas na literatura, sendo caracterizadas por temperaturas entre 15 a 30 °C, umidade relativa do ar maior que 55% e velocidade do vento variando de 2 a 10 km h⁻¹ (RUEDELL, 2002; ANTUNIASSI, 2005; MINGUELA; CUNHA, 2010). A umidade relativa e a temperatura do ar têm um efeito importante sobre a evaporação das gotas e dos produtos, prejudicando mais as aplicações nas temperaturas mais altas e com os menores valores de umidade relativa do ar. Técnicas voltadas para gotas grossas, muito grossas ou ultra grossas ou

de caldas menos voláteis, os valores limites sugeridos podem ser modificados, pois gotas grossas e caldas menos voláteis são mais resistentes a evaporação parcial ou completa que as gotas finas de caldas compostas por baixa concentração de redutores de evaporação e volatilidade.

Ao adotar gotas de maior tamanho, deve-se atentar para a redução de distribuição das gotas na massa foliar, sobretudo, na parte baixa das plantas. Ademais da demanda de maior volume de calda por área tratada para preservar a cobertura.

Uma das alternativas para minimizar as perdas da massa da gota pela evaporação em condição ambiental mais agressiva, sem depender da adoção de gotas mais grossas é o uso de adjuvantes com efeito umectante, os quais contribuem na redução do tempo de evaporação independente da condição ambiental. Entre os produtos mais comuns estão os óleos minerais, óleos vegetais e outros surfactantes específicos para este fim. Estes adjuvantes, normalmente, podem ser usados agregando outras funções na mesma pulverização, dependendo de sua composição e qualidade. De forma geral, um bom produto evita as perdas das gotas finas e médias e reduz a produção de gotas muito finas, maximizando o potencial de depósito e cobertura em locais de difícil chegada das gotas. Este efeito reduz também, as perdas dos produtos fitossanitários para o ambiente tornando-os mais seguros aos fatores de perdas, principalmente da evaporação e da deriva.

Agente de dano

O agente de dano se refere a planta daninha, a praga ou a doença que deve ser controlada para manter o potencial produtivo da cultura. Isto pode estabelecer tanto a necessidade de tratamento quanto o prazo máximo para realização do controle, requerendo muitas vezes operações emergenciais e contínuas para obter um controle eficaz e no tempo correto,

independente do ambiente ser propício ou não à uma determinada aplicação.

A melhor forma de se preparar para esta situação é fazer um planejamento antecipado para realização das aplicações, prevendo tanto a técnica a ser adotada quanto outras ações necessárias para atingir os resultados pretendidos nas distintas condições ambientais previstas. Para isso, a observação da estrutura, arquitetura e densidade foliar da cultura em questão é fundamental. Uma vez que a planta eleva sua altura, ramificação e densidade com a evolução dos estádios vegetativos e, por isso, entende-se que a distribuição e quantidade de produto em toda área da planta deverão ser ajustadas adequadamente a cada condição observada.

Um dos cuidados para se promover a maior eficiência possível é a cobertura do alvo. Dependendo do produto químico a ser aplicado, o requerimento de cobertura pode ser diferente para garantir sua eficácia, não havendo, portanto, uma cobertura mínima única que satisfaça todas as aplicações. Mathews (2000) propôs valores de cobertura segundo a classe de produto fitossanitário a ser usado na aplicação, tal como se observa na Tabela 1.

Tabela 1 - Densidade de gotas para classes de produtos

Produtos	Gotas cm ⁻²
Inseticidas	20 – 30
Herbicidas pré-emergentes	20 – 30
Herbicidas pós-emergentes	30 – 40
Fungicidas sistêmicos	30 – 50
Fungicidas de contato	> 70

Fonte: Mathews (2000)

Para as aplicações de herbicidas diretamente ao solo, a demanda de cobertura é considerada baixa entre os padrões

(20 gotas cm^{-2}), visto que o produto se distribuirá ao compor a solução do solo antes de surtir os efeitos desejados, não sendo necessária sua distribuição em toda a área exposta.

Já para as aplicações pós emergentes, cujo alvo seja a planta, a cobertura deverá ser aumentada para valores entre 20 e 30 gotas cm^{-2} , sendo menos necessária para herbicidas sistêmicos e maior para produtos de contato.

Nas aplicações dos fungicidas, há a maior demanda na cobertura, principalmente quando se trata de produtos de efeito tóxico como os protetores. Neste caso, a cobertura pode superar 70 gotas cm^{-2} , exigindo elevados volumes de calda para atender tal condição e gotas de menor tamanho para assegurar uma distribuição mais homogênea. No caso dos fungicidas sistêmicos, a cobertura pode ser menor, uma vez que o produto fitossanitário deverá penetrar nas células da planta para atuar corretamente, além de estar sujeito, em alguns casos, a translocação no interior da planta. Então, sugere-se um mínimo de 30 gotas cm^{-2} . Diferentes níveis de coberturas sobre as folhas podem ser observados na Figura 1.

Figura 1 - Diferentes níveis de cobertura em superfícies de folíolos de feijão.

Gotas finas (esquerda), gotas médias (centro) e gotas grossas (direita)



Fonte: os autores (2021)

Estádio de desenvolvimento

O conhecimento do estágio de desenvolvimento da cultura e o local preferencial do patógeno na planta é fundamental para a definição da técnica de aplicação mais indicada para atingir o alvo correto. O estágio da cultura pode definir quais agentes poderão aparecer, e assim, estabelecer previamente os níveis de danos máximos para intervenções, bem como, quais seriam os produtos recomendados. Assim, as doenças podem ocorrer em praticamente todos os estágios de desenvolvimento das culturas, principalmente em condições ambientais favoráveis, como precipitações frequentes, elevada umidade relativa e temperatura amena.

As plantas daninhas ocupam sempre locais próximo ao solo, possibilitando aplicações em pré-emergência, tanto da cultura quanto da planta daninha, ou ainda, em pós-emergência inicial quando todas as plantas ainda estiverem com pequeno porte, facilitando a distribuição dos fitossanitários. Os dois momentos de aplicação, pré ou pós-emergência, oferecem a vantagem de facilitar a chegada do produto no alvo, seja ele solo ou planta, quando comparado aos estágios mais avançados de desenvolvimento da cultura, os quais dificultam a chegada dos produtos fitossanitários no alvo pela barreira física que a massa foliar representa ao deslocamento das gotas.

No caso das pragas, supondo ataque em plantas mais desenvolvidas, pode-se supor uma dificuldade maior no controle, na medida em que a praga ocupe locais mais protegidos da cultura e com maior densidade foliar. Assim, a face inferior das folhas mais baixas, sobretudo no caso de plantas de maior porte e com maior densidade foliar, por ser um local extremamente protegido, requer aplicações com gotas mais finas e em momentos com a ocorrência de ventos de baixa intensidade, que possam movê-las e elevar a cobertura e os depósitos nestes locais. Estas condições contribuem também com a redução do

risco de perdas por evaporação e principalmente por deriva, já que minimizam a ação convectiva e a inversão térmica.

Para os casos de extrema dificuldade na distribuição dos fitossanitários, a adoção de acessórios de movimentação mecânica das plantas como o kit alvo e/ou dispositivos de movimentação aerodinâmica como a assistência de ar, podem contribuir com a maior eficiência das aplicações pela potencialização da chegada dos produtos aos locais mais protegidos. Tais acessórios ou dispositivos têm em contrapartida, no caso do kit alvo maior potencial de danos mecânicos na lavoura e, para a assistência de ar, maior custo de aquisição, de manutenção e de operação do equipamento. Sistemas rotativos ou eletrostáticos também representam uma opção para adequação da técnica de aplicação com os requisitos de cada produto no controle de determinados agentes de danos.

O pulverizador

O equipamento responsável pela aplicação dos produtos fitossanitários deve atender a pelo menos três requisitos fundamentais. O primeiro é a distribuição da dose mínima necessária ao longo de toda a faixa tratada. O segundo é possibilitar o uso de diversas classes de gotas para atender a demanda de cobertura e depósito, de acordo com recomendação para cada agente de dano. O terceiro requisito é a realização de uma área mínima, para que ocorra no tempo necessário ao controle do agente de dano antes que o mesmo reduza o potencial produtivo da lavoura ou inviabilize sua produção.

Pontas de pulverização

A barra do pulverizador contém os bicos de pulverização, dispositivos necessários a filtragem e ao controle da vazão individual da calda em cada faixa tratada. O bico é composto pela carcaça, capa, filtro e ponta de pulverização. Também

pode possuir elementos de redução de escoamento chamados antigotejadores (Figura 2).

Dentre os componentes dos bicos, as pontas de pulverização são os mais importantes para obtenção da qualidade da aplicação. Elas determinam a vazão individual da calda em cada unidade de pulverização, distribuem o líquido numa faixa correspondente ao espaçamento entre os bicos e produzem a classe de gotas pretendida em cada pulverização, segundo a indicação técnica para a maior eficiência dos produtos fitossanitários.

Figura 2 - Carcaça dos bicos com cinco pontas de pulverização (esquerda), com três pontas (centro) e filtro, ponta e capa (direita)



Fonte: os autores (2022)

Vazão individual

A vazão individual das pontas depende das características do orifício de saída do líquido tal como o formato, o diâmetro e a presença de dispositivos redutores de deriva, sendo os mais comuns o venturi e ou o defletor, para indução de ar e o pré-orifício, para redução da velocidade de saída do líquido e conseqüente redução da micronização hidráulica.

Outro parâmetro determinante na vazão individual das pontas de pulverização é a pressão operacional, tal como definido por Castelli (1628), citado por Nussenzveig (1996), período em que propôs a equação da continuidade. Tal equação considera variáveis como pressão e vazão.

Equação da continuidade:

$$A_1.V_1 = A_2.V_2$$

Onde:

A_1 = Área de escoamento no conduto 1

V_1 = Velocidade do fluxo do fluido no conduto 1

A_2 = Área de escoamento no conduto 2

V_2 = Velocidade do fluxo do fluido no conduto 2

Embora não sejam proporcionais, o aumento da pressão eleva a vazão da ponta e vice-versa, permitindo que o pulverizador varie sua velocidade de deslocamento durante a operação sem variar a taxa de aplicação. Este efeito é obtido pelo aumento da pressão e da vazão prevista em cada ponta, de acordo com especificações dos fabricantes, na medida em que o pulverizador eleva sua velocidade, mantendo a taxa de aplicação mais próxima possível da desejada e, conseqüentemente, com menor variação da dose recomendada. Deve-se considerar, porém, que existem limites nas variações de pressão possíveis do equipamento segundo o tipo de bomba de pulverização utilizada e a configuração de seu circuito hidráulico.

De forma geral, bombas do tipo centrífugas permitem variações de pressão menores que as bombas de pistão ou de membrana, devendo o operador observar tais limites em cada modelo de máquina para não operar em velocidades extremas, sejam elas baixas ou altas, que estejam além da capacidade dos reguladores de pressão de corrigirem o volume a ser aplicado por área. Por isso, as velocidades mínimas e máximas que serão usadas durante as aplicações devem estar planejadas de acordo com o circuito hidráulico utilizado no equipamento, as pressões adequadas para cada modelo de ponta de pulverização e a taxa de aplicação recomendada em função da dose do produto fitossanitário a ser aplicado.

Os valores de vazão para cada modelo de ponta segundo a pressão do líquido estão disponíveis em catálogos e nos sites da indústria que os fabrica ou que os comercializa. Para cada modelo de ponta há uma identificação visual da cor de sua carcaça que atende a padrões internacionais de vazão absoluta. Assim, ao observar a coloração da ponta é possível avaliar rapidamente o intervalo de vazão nas diferentes pressões. Isto permite primeiramente que, o produtor observe se há cores diferentes de pontas na barra evitando faixas com vazão e doses diferentes. Também possibilita a seleção previa da cor e vazão que corresponda à taxa de aplicação necessária. Para isso, existem as tabelas de taxa de aplicação para cada velocidade de deslocamento do pulverizador de acordo com a cor da ponta nas diferentes pressões (Figura 3).

Figura 3 - Modelos e cores de pontas de pulverização



Fonte: Acervo Instituto Dashen (2021)

Uma vez estabelecida a velocidade operacional possível, a seleção da ponta deverá ser realizada de forma a atender a taxa de aplicação necessária para cada produto a ser aplicado, segundo recomendação técnica. Desta forma, pontas de

menor vazão absoluta serão mais indicadas para máquinas de menor velocidade, como as montadas e de arrasto e pontas de maior vazão para os equipamentos autopropelidos que operam em velocidades superiores devido a presença de sistemas de suspensão que permitem melhor absorção de movimentos da máquina, reduzindo as oscilações verticais e horizontais das barras de pulverização.

Além da cor, a ponta tem sua vazão absoluta também identificada por algarismos, numéricos inseridos na carcaça. A vazão está identificada pelos últimos dois algarismos da direita e a unidade de vazão utilizada é o galão norte americano por minuto (GNA). A conversão de GNA para litros é realizada pela divisão do valor indicado pelo fator 3,786, o qual corresponde ao valor em litros de cada GNA.

Os demais algarismos da esquerda se referem ao ângulo de pulverização da ponta, podendo variar desde valores inferiores a 80° a valores superiores a 110° . De forma geral, considera-se que quanto maior o ângulo de pulverização da ponta, maior será a sobreposição entre jatos adjacentes, permitindo distribuição mais homogênea do líquido na faixa tratada independente das variações de altura da barra do pulverizador em relação ao alvo.

Os diferentes tipos de pontas oferecem padrões de qualidade de pulverização que visam atender os objetivos de cada aplicação, sendo a escolha da ponta correta fator fundamental para a eficácia do tratamento e redução do potencial risco da aplicação. Uma das orientações para esta escolha é o uso de um catálogo de pontas oferecido pelos fabricantes que auxilia na escolha da ponta mais indicada e que pode indicar as alternativas de seleção destas pontas para cada situação (Figura 4).

Figura 4 - Exemplo ilustrativo de guia de seleção de pontas de pulverização

Tipo de Pontas	Herbicidas			Fungicida e inseticida	
	Aplicação de solo	Contato	Sistêmico	Contato	Sistêmico
A	Excelente	Bom	Bom	Excelente	Bom
B	Bom	Excelente	Bom	Não recomendado	Bom
C	Bom	Bom	Bom	Não recomendado	Não recomendado
D	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
E	Não recomendado	Bom	Excelente	Bom	Excelente

 Excelente
  Bom
  Não recomendado

Fonte: os autores (2022)

Classes de gotas e suas aplicações

A escolha das pontas de pulverização pelas características de espectro de gotas é um importante critério na aplicação de produtos fitossanitários, por ter relação direta com o potencial risco de deriva, evaporação, deposição, cobertura, eficiência biológica, bem como, o risco ambiental dos produtos aplicados. A norma internacional ASAE S-572 estabelece o tamanho das gotas como parâmetro para definição de sua classe, tal como ilustra a Tabela 2.

Tabela 2 - Classes, simbologia e tamanhos de gotas segundo ASAE S-572

Classe de gotas	Símbolo	Tamanho (µm)
Muito fina	VF	<150
Fina	F	150 a 250
Média	M	250 a 350
Grossa	C	350 a 425
Muito Grossa	VC	425 a 500
Extremamente Grossa	EC	>500

Fonte: ASAE (1999)

Uma característica importante definida pelo espectro de gotas é a classe de gotas. Uma vez identificado o agente

de dano a ser controlado, o usuário deverá identificar a classe de gotas que melhor atenda a sua condição considerando o seguinte:

Gotas muito finas e finas. Devem ser usadas para as aplicações de pós-emergentes que requeiram elevada penetração na massa foliar e maior cobertura do alvo. São altamente suscetíveis a perdas por deriva e evaporação devendo, portanto, ser evitadas nas aplicações em condições ambientais adversas (alta temperatura, baixa umidade e ausência de ventos ou ocorrência de ventos fortes).

Gotas médias. São as mais versáteis para uso agrícola, sendo menos sujeitas às perdas e permitem seu uso por períodos mais longos que as gotas finas e muito finas. Podem oferecer, inclusive, coberturas semelhantes às gotas finas, mas dependem para isso do aumento da taxa de aplicação. Servem às aplicações preferencialmente de pós-emergentes, podendo ser utilizadas para pré-emergentes com restrições àquelas condições atmosféricas extremas já identificadas no item anterior.

Deve-se considerar que o aumento da taxa de aplicação reduz proporcionalmente a concentração do produto fitossanitário na calda. Esta diluição, quando realizada em valores exagerados, pode tornar a absorção do ingrediente ativo mais lenta e reduzida, podendo reduzir também, a eficiência da aplicação, principalmente quando se tratar de produtos sistêmicos. Este efeito está determinado pela equação de Fick a qual considera a forma de equação diferencial que descreve casos de difusão de matéria em meio sem equilíbrio químico. Assim, para caldas menos concentradas, e, portanto, com menor diferencial de potencial osmótico entre o líquido externo às folhas (calda) e o conteúdo interno, mais lento será o fluxo através da membrana celular.

Esta consequência pode reduzir a eficiência dos agroquímicos que dependam da absorção para promover seu efeito, tal como os sistêmicos. Sobretudo, em períodos de estresse hídrico onde a menor turgescência interna das folhas das culturas reduz o potencial de absorção pelo menor diferencial de potencial osmótico, retardando e inibindo a absorção do agroquímico.

Gotas grossas. Devem ser utilizadas preferencialmente para aplicações de pré-emergentes, podendo também, ser aplicadas aos pós emergentes, desde que não exijam elevada cobertura das folhas nem alta penetração na massa foliar, já que apresentam algumas limitações quanto a estes parâmetros. Estas limitações serão maiores quanto menor a ocorrência de ventos, pois, sendo gotas maiores terão deslocamento mais retilíneo, reduzindo a possibilidade de desvio das folhas das partes mais altas das plantas, o que limita sua chegada à parte baixa.

Quanto às limitações ambientais, estas gotas oferecem maior resistência às perdas que as anteriores, pois sendo maiores e mais pesadas, serão também mais resistentes ao deslocamento horizontal pelos ventos ou ao deslocamento vertical ascendente pelas correntes convectivas.

Gotas muito grossas. São as mais indicadas para as aplicações de pré-emergentes e são as que melhor se comportam quanto aos fatores ambientais adversos, sendo indicadas para aplicação em alvos expostos ou para agroquímicos de elevado risco de contaminação ambiental.

A escolha de um padrão de gotas que permita minimizar as perdas e que maximize o depósito de produto químico no alvo, fazendo-o permanecer por tempo suficiente para surtir o efeito desejado, associado aos critérios operacionais mais econômicos e mais seguros pode definir o sucesso ou o fracasso de uma pulverização agrícola.

A escolha da ponta, pressão de trabalho, vazão e espaçamento entre as pontas resultarão em uma taxa de aplicação para cada velocidade do conjunto. O valor da taxa de aplicação determinará a quantidade de produto fitossanitário a ser colocado no tanque do pulverizador, estabelecendo, portanto, a dose do produto que será aplicado.

As taxas de aplicação entre 50 e 150 L ha⁻¹ com gotas finas e médias prevalecem na maioria das pulverizações de fungicidas no Brasil e não representam problemas nos aspectos de perdas para o ambiente ou ineficácia por diluição.

A obtenção destas taxas é feita consultando a tabela de vazão e pressão da ponta de pulverização escolhida (Figura 5).

As gotas grossas devem ser utilizadas preferencialmente para aplicações de pré-emergentes, podendo também ser aplicadas aos pós emergentes, desde que não exijam elevada cobertura das folhas nem alta penetração na massa foliar, já que apresentam algumas limitações quanto a estes parâmetros. Estas limitações serão maiores quanto menor a ocorrência de ventos, pois, sendo gotas maiores elas terão deslocamento mais retilíneo, reduzindo a possibilidade de desvio das folhas das partes mais altas das plantas, limitando sua chegada à parte baixa.

Quanto às limitações ambientais, estas gotas oferecem maior resistência às perdas que as anteriores, pois sendo maiores e mais pesadas, serão também mais resistentes ao deslocamento horizontal pelos ventos, ou ao deslocamento vertical ascendentes pelas correntes convectivas.

As gotas muito grossas e ultra grossas são as mais indicadas para as aplicações de pré-emergentes e são as que melhor se comportam quanto aos fatores ambientais adversos. São indicadas para aplicação em alvos expostos ou para agroquímicos de elevado risco de contaminação ambiental.

A escolha de um padrão de gotas que permita minimizar as perdas e que maximize o depósito de produto químico no alvo, fazendo-o permanecer por tempo suficiente para surtir o efeito desejado, associado aos critérios operacionais mais econômicos e mais seguros pode definir o sucesso ou o fracasso de uma pulverização agrícola.

A escolha da ponta, pressão de trabalho, vazão e espaçamento entre as pontas resultarão em uma taxa de aplicação para cada velocidade do conjunto. O valor da taxa de aplicação determinará a quantidade de produto fitossanitário a ser colocado no tanque do pulverizador, estabelecendo, portanto, a dose do produto que será aplicado.

As taxas de aplicação entre 50 e 150 L ha⁻¹ aplicada com gotas finas e médias prevalecem na maioria das pulverizações de fungicidas no Brasil e não representam problemas nos aspectos de perdas para o ambiente ou ineficácia por diluição.

A obtenção destas taxas é feita consultando a tabela de vazão e pressão da ponta de pulverização escolhida (Figura 5).

Figura 5 - Quadro de taxa de aplicação (L ha⁻¹), vazão e pressão de cada tipo de ponta de pulverização, classes de gotas e velocidade de deslocamento do pulverizador

Pontas (Modelos)	Pressão (PSI)	Vazão (L/min)	Classe de gotas	Velocidade de trabalho (km/h)								
				5	7	10	12	16	20	25	30	35
				Taxa de aplicação (L/ha)								
A	30	0,33	Fina (150 µm < ds250 µm)	79,2	56,6	39,6	33	24,8	19,8	15,8	13,2	11,3
	45	0,39	Muito Fina (50 µm < ds150 µm)	93,6	66,9	46,8	39	29,3	23,4	18,7	15,6	13,4
	60	0,45		108	77,1	54,0	45	33,8	27	21,6	18	15,4
	75	0,50		120	85,7	60	50	37,5	30	24	20	17,1
B	30	0,32	Média (250 µm < ds350 µm)	77	55	38	32	24	19	15	13	11
	45	0,40	Fina (150 µm < ds250 µm)	96	69	48	40	30	24	19	16	14
	60	0,48		110	79	55	46	35	28	22	18	16
	75	0,56		134	96	67	56	42	34	27	22	19
C	30	0,65	Grossa (350 µm < ds400 µm)	156	111	78	65	48,8	39	31,2	26	22,3
	45	0,79	Média (250 µm < ds350 µm)	190	135	94,8	79	59,3	52,7	37,9	31,6	27,1
	60	0,91		218	156	109	91	68,3	54,6	43,7	36,4	31,2
	75	1,02		245	175	122	102	76,5	61,2	49	40,8	35
D	30	0,81	Muito Grossa (400 µm < ds500 µm)	194	139	97,2	81,0	60,8	48,6	38,9	32,4	27,8
	45	0,99	Grossa (350 µm < ds400 µm)	238	170	119	99	74,3	59,4	47,5	39,6	33,9
	60	1,14		274	195	137	114	85,5	68,4	54,7	45,6	39,1
	75	1,28		307	219	154	128	96	76,8	61,4	51,2	43,1

Fonte: os autores (2022)

A mudança das condições meteorológicas durante as aplicações é inevitável, requerendo, muitas vezes, modificações nas condições operacionais do equipamento.

Dentre estas modificações, a substituição das pontas é uma das mais passíveis de ocorrer, possibilitando a maximização da eficiência do produto aplicado em diferentes condições. Com o objetivo de garantir uma troca rápida das pontas, algumas máquinas dispõem de porta bicos também com duas ou mais opções de pontas. A troca é feita simplesmente girando a carcaça do porta-bicos até direcionar a ponta escolhida para baixo.

Normalmente, estes porta-bicos estão munidos de válvulas antigotejo que impedem a saída do líquido imediatamente após o bombeamento da calda. Isto confere ao equipamento menor desperdício de produto, bem como maior segurança ao operador e ao ambiente.

Esta troca de pontas deve ser realizada com análise prévia a aplicação, sendo necessário o estabelecimento das condições possíveis quando as trocas ocorrerão, ou seja, as condições necessárias às trocas durante a operação deverão estar previstas para cada um dos tipos e/ou modelos de ponta a serem usadas segundo as mudanças nas condições atmosféricas. O monitoramento destas condições deve ser feito constantemente observando os limites de temperatura, umidade relativa e vento para cada tipo ou modelo de ponta, devendo variar além da própria ponta, também a taxa de aplicação correspondente à cobertura necessária do alvo.

Distribuição da dose na área tratada

Existem técnicas de aplicação que melhor atendem a cada uma das inúmeras condições encontradas no campo, apesar de ainda existir dificuldades para a deposição e cobertura dos ingredientes ativos nos alvos em quantidades suficientes.

Como fatores fundamentais de análise, além do alvo e do ambiente, existem aqueles relacionados à configuração do equipamento que será utilizado na aplicação. O processo de formação das gotas e aplicação é semelhante para quase todos os equipamentos, diferindo no ajuste dos parâmetros operacionais à cultura, ao clima e ao agente de dano que se pretende controlar. Estes ajustes caracterizam a configuração e a calibração do pulverizador.

A configuração se resume ao dimensionamento e montagem de um equipamento com as melhores condições operacionais que satisfaçam todos os requisitos necessários ao sucesso da aplicação, tal como a velocidade, o padrão de classes de gotas e a pressão de trabalho. Já a calibração consiste em determinar a taxa de aplicação pretendida e a uniformidade da distribuição do produto ao longo da barra de pulverização. Os três aspectos importantes que devem ser considerados no equipamento são: a escolha da ponta de pulverização e taxa de aplicação.

Considerações finais

A seleção da tecnologia de aplicação mais adequada ao controle dos agentes de danos não é uma tarefa fácil, pois depende das condições locais onde a aplicação será realizada. O profissional responsável pela aplicação deverá levar em conta os aspectos ambientais, qualitativos, operacionais, entre outros, para que a quantidade mínima de produto chegue ao local correto com o menor desperdício e contaminação ambiental. Além da seleção da técnica, sua variação ao longo do turno de trabalho também deve ser considerada. Assim, a medida que o ambiente atua de forma diferente sobre a pulverização, ajustes na técnica devem ser aplicados para maximizar os depósitos no alvo.

Dentre as técnicas mais utilizadas, algumas têm sido eleitas como padrão e eventualmente, servem de modelos

para uso em uma determinada região. Embora isto facilite a decisão da tecnologia a adotar, deve-se ter em conta que análises mais precisas e mais completas para cada local, permitirá aplicações com níveis superiores de eficiência, além de proporcionar o maior período residual dos agroquímicos, elevando as chances de reduzir o número de aplicações.

O aumento das tolerâncias e das resistências das pragas, doenças e plantas daninhas são bons indicativos dos prováveis desafios da produção agrícola viável. Isso nos permite avaliar o quanto será importante o preparo de todo corpo técnico envolvido nas aplicações. A inclusão de disciplinas específicas em tecnologia de aplicação nos cursos técnicos e universidades, programas de treinamento de operadores e de atualização de consultores, pesquisas científicas na área e desenvolvimento de produtos de qualidade, serão de grande valia para preparar nosso mercado no enfrentamento destes desafios, bem como, um bom exemplo para o mundo a cerca da responsabilidade do setor produtivo brasileiro.

Referências

ALHEIDARY, M.; DOUZALS, J. P.; SINFORT, C.; VALLET, A. Influence of spray characteristics on potential spray drift of field crop sprayers: A literature review. **Crop Protection**, v. 63, p. 120–130, Set, 2014.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Agricultural machinery management data ASAE D497.4. *In*: **ASAE standards 1999**: standards engineering practices data. St. Joseph, p. 359–366. 1999.

ANTUNIASSI, U. R. **Qualidade em tecnologia de aplicação**. *In*: Congresso Brasileiro de Algodão, 5, 2005, Salvador. Anais... Salvador, BA: Fundeagro, 1, 1-6. 2005.

MATTHEWS, G. A. **Pesticide application methods**. 3. ed. London: Blackwell Science, 2000.

MATUO, T. **Técnicas de aplicação de produtos fitossanitários**. Jaboticabal: FUNEP, 2001.

MILLER, P. C. H. Reducing the risk of drift from boom sprayers. *In*: RAETANO, C. G.; ANTUNIASSI, U. R. **Qualidade em tecnologia de aplicação**. Botucatu: Fepaf, 2004.

MINGUELA, J. V.; CUNHA, J. P. A. R. **Manual de aplicação de produtos fitossanitários**. Viçosa: Aprenda fácil, 2010. 588 p.

NUSSENZVEIG, H. M. Curso de Física Básica 2. – **Fluidos, Oscilação, Ondas e Calor**. São Paulo. Editora Edgard Blucher, 3ª Edição. 1996.

RUEDELL, J. **Tecnologia de aplicação de defensivos**. Plantio Direto, Brasília, v.19, n.6, p.9-11. 2002.

SCHAMPHELEIRE, M.; NUYTTENS, D.; BAETENS, K.; CORNELIS, W.; GABRIELS, D.; SPANOGHE, P. Effects on pesticide spray drift of the physicochemical properties of the spray liquid. **Precision Agriculture**, Bedford, v. 9, p. 1-12, Oct. 2008.

SILVA, A. F.; OLIVEIRA, R. B.; GANDOLFO, M. A. Mapping of the time available for application of pesticides in the state of Paraná, Brazil. **Acta Scientiarum**, v. 40, e.39421, 2018.

ENTOMOFAUNA NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR

Entomofauna in the sugarcane crop

Jael Simões Santos Rando
Rafael Alvim Gonzaga de Oliveira

Considerações iniciais

A cana-de-açúcar é a maior fonte de energia renovável do Brasil, que tem como seus principais produtos derivados o açúcar, classificado em cristal (branco) e *Very High Polarization* (VHP) (bruto) e o etanol em hidratado e anidro.

Como subprodutos da cana, tem-se o bagaço (biomassa), vinhaça e a torta de filtro. O bagaço é usado para cogeração de energia elétrica, tornando-se uma importante fonte de receita para as usinas e de grande contribuição para o meio ambiente, pois a energia vinda da biomassa é uma energia limpa e renovável. A vinhaça e a torta de filtro são resíduos do processo produtivo, utilizados como adubo orgânico, substituindo os adubos químicos com custos menores para a usina. E atualmente, também estão sendo empregados para produção de biometano, gás usado no abastecimento de algumas frotas de caminhões e na geração de energia elétrica. Com isso, passam de apenas simples resíduos para subprodutos de alto valor agregado para as usinas.

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB 2014), o Estado do Paraná é um dos principais produtores de cana-de-açúcar do Brasil, possuindo uma área de 642.980 hectares, correspondente a 7,07% da área nacional. Neste Estado as áreas aptas ao cultivo de cana-de-açúcar estão na sua porção Norte, que inclui as mesorregiões Norte Pioneiro, Norte Central e Noroeste, sendo que praticamente

100% da cana é produzida nessas regiões (LIBARDI; CARDOSO, 2007).

A cultura de cana-de-açúcar tornou-se significativa na mesorregião Norte pioneira paranaense após a criação do Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA). Assim, a partir da década de 1940, ocorreram as instalações das usinas nos municípios de Bandeirantes, Porecatu e Jacarezinho (RIBEIRO; ENDLICH, 2010).

Numa perspectiva de desenvolvimento regional é necessário entender a importância que os derivados da cana-de-açúcar tendem a assumir como alternativa energética mundial e, sobretudo, todo o processo envolvido na produção da cultura.

Sabe-se que o desempenho industrial está diretamente ligado à qualidade da matéria-prima, sendo que os fatores ambientais, pragas, doenças bem como o planejamento agrícola, são fundamentais na obtenção de rendimentos satisfatórios e qualidade do produto final (DOJAS; BATISTA; MARQUES, 2009).

Entomofauna praga

É notório que os insetos causam grandes problemas nos sistemas agrícolas, quando considerados apenas como praga, visto que acarretam perdas qualitativas e quantitativas para toda a cadeia produtiva e para o consumidor. A cana-de-açúcar está sujeita a ataques por diversas pragas desde sua implantação até a reforma. Espécies de cupins dos gêneros *Heterotermes*; *Procornitermes*; *Nasutitermes*; *Neocapritermes*; *Syntermes*; *Amitermes*, *Rynchotermes* e *Cornitermes* atacam os toletes no sulco de plantio danificando as gemas e prejudicando a germinação. Em canas adultas destroem raízes, abrem galerias nos entrenós basais resultando em secamento dos colmos (MACEDO *et al.*, 2012).

Larvas do gorgulho ou bicudo da cana *Sphenophorus levis* broqueiam rizomas, abrindo galerias nas bases dos

colmos, trazem como consequência amarelecimento de folhas com secamento e morte de perfilhos comprometendo a produtividade e longevidade do canavial. Estima-se que os danos provocados por *S. levis* equivalem a uma redução na produtividade de 33% em média (DINARDO-MIRANDA; FRACASSO, 2010).

Outra importante praga de solo é o besouro *Migdolus fryanus*, que ataca em reboleiras a cana planta e seus cortes subsequentes, com as larvas inicialmente se alimentando das raízes em profundidade, e subindo até os toletes ou rizomas que atacados e com poucas raízes resulta no secamento das touceiras (MACEDO *et al.*, 2012). As perdas provocadas por esse inseto podem variar de 25 a 30 toneladas de cana-de-açúcar por hectare, e em alguns casos, a completa destruição da lavoura, resultando na reforma antecipada mesmo de canaviais de primeiro corte (MARTINS, 2013).

As cigarrinhas Cercopidae como as *Mahanarva* spp. estão presentes em diversas regiões canavieiras do Brasil causando danos expressivos à produtividade e à qualidade da matéria-prima. A principal espécie de cigarrinha-da-raiz na Região Centro-Sul do país é *M. fimbriolata* (DINARDO-MIRANDA, 2014). Entretanto foi relatada pela primeira vez por Alves e Carvalho (2014), a ocorrência das espécies *M. spectabilis* e *M. litura* na região de Goianésia (GO).

O clima apresenta grande influência na dinâmica populacional das cigarrinhas desse gênero, no período seco, pela ausência de umidade do solo, os ovos ficam em diapausa, com o início das chuvas, na primavera, pelo aumento da umidade e temperatura, ocorre a eclosão dos ovos, aumentando o número de indivíduos. A mudança do sistema de colheita da cana-de-açúcar manual com queimada da palha para o mecanizado sem queimada favorece a praga, pois o fogo elimina

todas as formas biológicas desse inseto além da própria palha da cultura.

Os danos de *Mahanarva fimbriolata* são causados principalmente devido à sucção de ninfas nos vasos do xilema e floema evitando o fluxo de água e nutrientes e, consequentemente, reduzindo a produtividade de colmos de cana-de-açúcar (GARCIA *et al.*, 2010). Além dos danos diretos na produtividade, o ataque desse inseto pode provocar alterações na qualidade da cana-de-açúcar por meio da redução do teor de açúcar do colmo e aumento no teor de fibra. As perdas também podem se estender nos processos industriais pela redução da capacidade de moagem dos colmos e introdução de contaminantes, dificultando a recuperação do açúcar e inibindo a fermentação (DINARDO-MIRANDA *et al.*, 2014).

Prejuízos econômicos elevados são proporcionados pelas fases larvais de lepidópteros como a broca gigante *Telchin licus* e a broca peluda *Hyponelma taltula*, sendo que ambas causam sintomas e prejuízos similares ao das brocas do gênero *Diatraea*.

Conhecida como uma das pragas mais importantes da cana-de-açúcar nas Américas, a broca da-cana-de-açúcar *Diatraea saccharalis* com ocorrência relatada em culturas como arroz, milho e sorgo, pode responder por prejuízos economicamente significativos (FRITZ *et al.*, 2008; CRUZ *et al.*, 2013). Os primeiros ataques da fase larval dessa broca ocorrem na fase de perfilhamento, após a formação dos primeiros entrenós basais, a partir do terceiro mês após o plantio ou corte da cana. Em canas jovens promove a morte da folha central “coração morto”, e em plantas desenvolvidas a brotação lateral, raízes aéreas, morte de gemas, galerias ascendentes e transversais, tombamento e pelo orifício no colmo que abrem próximo a empupação, facilitam a entrada dos fungos *Fusarium* e *Colletotrichum* resultando em podridão, inversão as

sacarose, escurecimento de açúcares e infecções nas dornas de fermentação, sendo que para 1% de intensidade de infestação ocorrem perdas de 1,14% na produtividade, 0,425% na produção de açúcar e 0,21 a 0,25% na produção de etanol (MACEDO, 2018).

A maioria das pragas que ocorrem na cana-de-açúcar dependendo da severidade de seu ataque, podem interferir a ponto de comprometer a atividade agrícola com essa cultura e sua viabilidade econômica. Devido aos prejuízos que causam, estas pragas são consideradas limitantes para a cultura se não forem corretamente manejadas.

Entomofauna edáfica

A diversidade de invertebrados que compõem a fauna edáfica está diretamente associada aos recursos oferecidos pela cobertura vegetal, os organismos edáficos apresentam grande mobilidade nos interstícios do solo, transportam materiais orgânicos, fragmentam resíduos vegetais, constroem canais, câmaras, tuneis, ninhos e modificam as propriedades físico-químicas do solo que influenciam diretamente a distribuição de nutrientes para as plantas (BIGNELL *et al.*, 2010; KORASAKI *et al.*, 2013; FLECK; CANTARELLI; GRANZOTTO, 2015). Essa fauna difere em tamanho, metabolismo, comportamentos e estratégias de forrageamento. Embora seja importante, a fauna edáfica é pouco valorizada em programas de manejo (BROWN *et al.*, 2015). Estudos sobre a macrofauna edáfica em áreas de cana-de-açúcar no Brasil têm se restringido às regiões tropicais, (BENZAZZI *et al.*, 2013; ABREU; LIMA; OLIVEIRA, 2014; FRANCO *et al.*, 2016), mas com a expansão canavieira merece atenção também estudos em regiões subtropicais (PASQUALIN *et al.*, 2012).

O cultivo da cana-de-açúcar com implementos e máquinas pesadas pode afetar vários grupos de invertebrados,

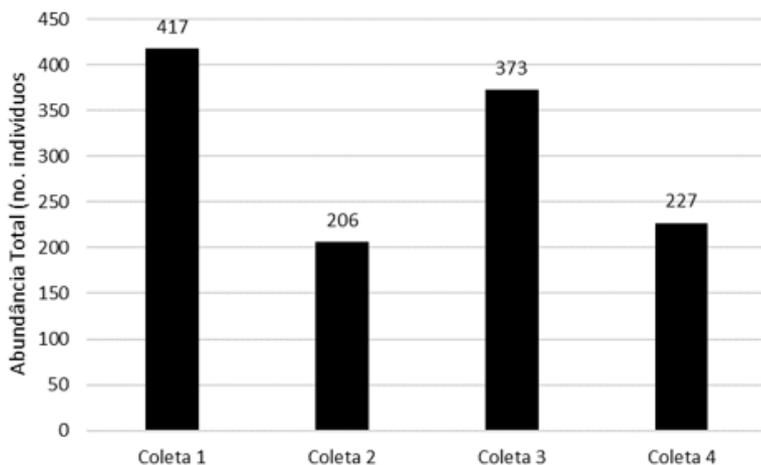
devido a agregação dos componentes do solo e redução da atividade biológica (SILVA *et al.*, 2007). Cultivos de cana-de-açúcar possuem baixa diversidade edáfica e a manutenção da palha no solo pode aumentar a atividade sobre alguns táxons como coleópteros dípteros e, principalmente, formigas.

Apresenta-se a seguir resultados obtidos de um levantamento da macrofauna epigeica. A pesquisa foi desenvolvida no município de Jaboti, Região Norte pioneira paranaense (23° 42' 11" S e 50° 07' 28" W, a 520 metros), com clima subtropical Cfa (classificação de Koeppen), numa propriedade caracterizada por ser de agricultura familiar, tendo como principal atividade o cultivo orgânico de cana-de-açúcar, com os cultivos SP81-3250 e SP80-3280, em uma área de 15,6 hectares certificada pelo IBD Certificações. A colheita da cana-de-açúcar ocorre de forma manual *in natura*, sem a utilização de queimada, sendo que a única alteração antrópica ocorrida no solo foi a realização de gradagem em fevereiro de 2014.

As análises biológicas foram realizadas em quatro ocasiões, nos meses de fevereiro de 2014/15 (verão) e nos meses de julho de 2014/15 (inverno). Em cada época de coleta foram amostrados dez pontos de forma aleatória, equidistantes no mínimo em dez metros e instaladas em cada ponto três armadilhas tipo Pitfall, a uma distância mínima de cinco metros entre si. Após permanecerem no local por 48 horas, foram recolhidas e os artrópodes capturados foram armazenados em álcool 70% para posterior identificação em nível de ordem. Os valores obtidos foram considerados em seus totais e a análise de componentes principais (ACP) foi realizada para os grupos da macrofauna epigeica, abundância total e riqueza em relação às épocas de coleta para armadilhas Pitfall, sendo que o eixo 1 explica 28,8% da variabilidade total e o eixo 2 18,2%, utilizando o programa CANOCO versão 4.5

Foi obtido um total de 1.223 indivíduos (Figura 1), tendo a riqueza máxima de sete táxons, sendo coletados os grupos em ordem decrescente: Hymenoptera; Coleoptera, Hemiptera, Araneae, Diptera, Orthoptera, Dermaptera e Lepidoptera.

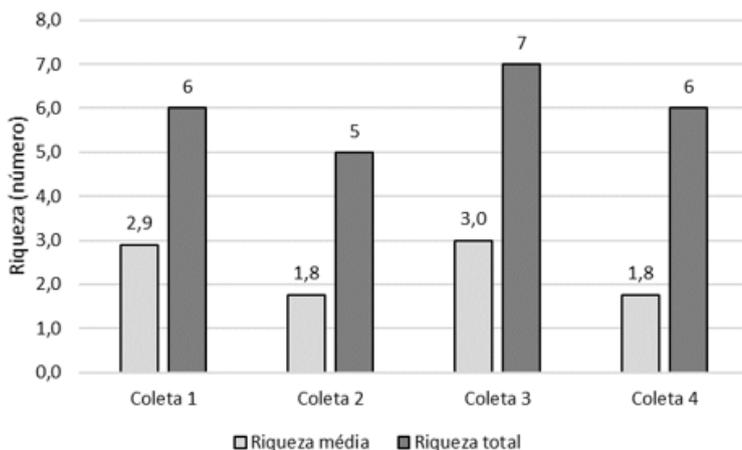
Figura 1- Abundância total da macrofauna epigeica em cada época de coleta em um sistema orgânico de cana-de-açúcar, Jaboti-PR (coleta 1 fevereiro de 2014, coleta 2 julho de 2014, coleta 3 fevereiro de 2015 e coleta 4 julho de 2015)



Fonte: Os autores (2016)

Dentre as estações, os períodos de verão possivelmente por serem mais favoráveis à proliferação desses organismos, apresentaram maior número de indivíduos coletados em relação às estações de inverno (Figura 1). A riqueza média apresentou um maior valor nas estações de verão, tendo o valor máximo alcançado no verão de 2015 (Figura 2).

Figura 2 - Riqueza média e total da macrofauna epigeica em sistema de cultivo orgânico de cana-de-açúcar, Jaboti-PR



Fonte: os autores (2016)

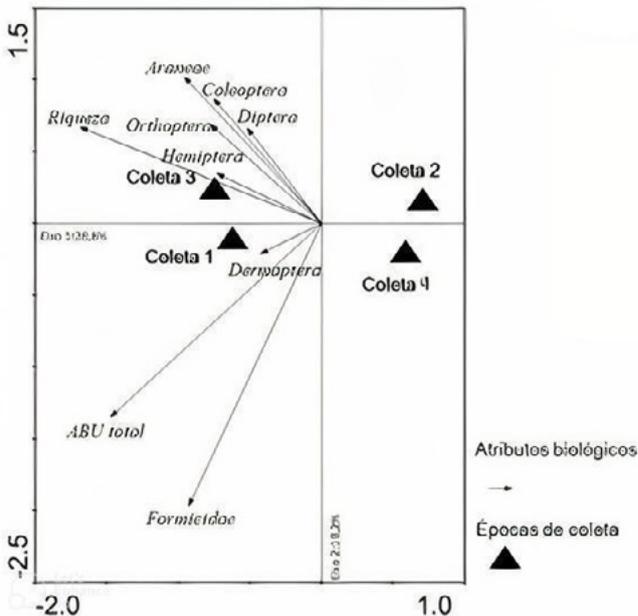
Os padrões da abundância e riqueza de insetos são sincronizados com o clima e com a disponibilidade de recursos alimentares, podendo variar sazonalmente. A entomofauna, de forma geral, se desenvolve melhor em temperaturas elevadas pois a temperatura tem uma relação positiva com abundância de diferentes grupos de insetos, aumento na qualidade e quantidade da matéria orgânica e na cobertura (BERNARDI *et al.*, 2010; COSTA; SOUZA; FREITAS, 2010).

A ACP dos grupos de artrópodes epigeicos, abundância total e riqueza em relação às épocas de coleta para armadilhas Pitfall estão ilustradas na Figura 3, sendo que o eixo 1 explica 28,8% da variabilidade total e o eixo 2, 18,2%. Observa-se uma correlação entre a coleta 3 com os grupos Araneae, Coleoptera, Orthoptera e Hemiptera, além da riqueza total. A coleta 1, verão de 2014, se relaciona com os grupos Dermaptera e Formicidae além da abundância total.

Os artrópodes desses grupos apresentam alimentação e hábitat diversificados, podem desenvolver fase imatura e/ou adulta no solo e serrapilheira, muitos são fitófagos, mas há também importantes espécies de predadores.

As aranhas são exclusivamente predadoras e dentre os artrópodes, representam o maior grupo a adotar tal comportamento alimentar. Em seu predatismo, adotam três técnicas principais de captura de presas, a caça visual, a caça por emboscada e a caça com teia, podem ser divididas em dois grupos, as que vivem sobre a vegetação (fitófilas) e as nômade ou epígeas, que são as que nunca saem do solo.

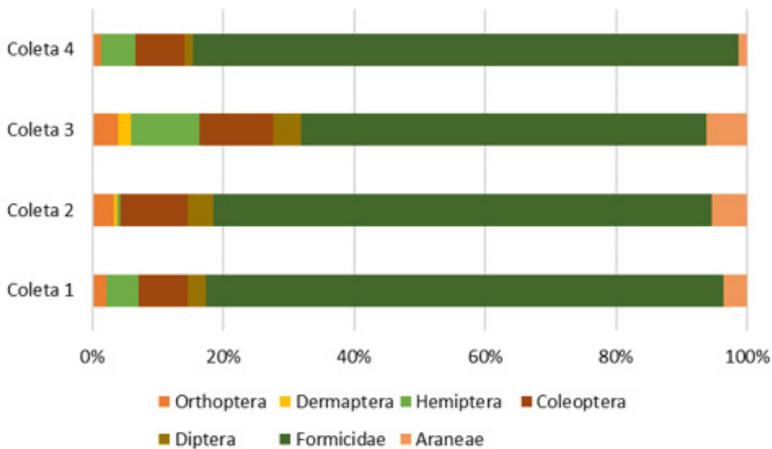
Figura 3 - Análise de Componentes Principais dos grupos da macrofauna epigeicos, abundância total e riqueza em relação às épocas de coleta para armadilhas Pitfall em um sistema de cultivo orgânico de cana-de-açúcar, Jaboti-PR



Fonte: os autores (2016)

Em relação à frequência dos táxons e sua distribuição nas diferentes épocas de coleta, houve dominância da família Formicidae (Figura 4), resultado análogo aos de outros autores (LIMA *et al.*, 2010; VARGAS *et al.*, 2013; OLIVEIRA *et al.*, 2020). Formicidae é um dos grupos mais abundantes da meso e macrofauna edáfica, ocupando diversos níveis tróficos. Nos ecossistemas onde ocorrem aeram os solos, podem atuar como detritívoras auxiliando na ciclagem de nutrientes e/ou como predadoras controlando a população de outros insetos (NAKANO *et al.* 2013; FLECK; CANTARELLI; GRANZOTTO, 2015). Além da atividade predatória a presença desses organismos é responsável pela quebra de agregados e deposição de pequenos grânulos na superfície do solo, tendo assim, um efeito descompactante e devido a essas atividades, facilitam a movimentação da água e as trocas gasosas por aumentarem a porosidade do solo (LAVELLE, 1997; QUEIROZ; ALMEIDA; PEREIRA, 2006).

Figura 4 - Frequência dos táxons nas quatro estações utilizando armadilha tipo Pitfall, Jaboti-PR



Fonte: os autores (2016)

O sistema de cultivo orgânico de cana-de-açúcar apresentou uma maior interação da abundância e riqueza de artrópodes nas estações de verão. Entre os elementos da macrofauna epigéicos a família Formicidae foi a mais frequente, tendo com destaque os gêneros *Solenopsis*, *Paratrechina*, *Camponotus* e *Hypoponera*. Os três primeiros gêneros são dominantes de solo e serrapilheira pertencendo ao grupo das onívoras verdadeiras (ANDERSEN, 1997). O gênero *Hypoponera* é identificado como um predador generalista que ocupa distintas funções nas relações tróficas da fauna edáfica, sendo que sua presença pode contribuir para o controle natural de insetos nocivos aos cultivos (SILVA; MENDONÇA, 2006; CREPALDI *et al.*, 2014).

Importância das formigas predadoras na cana-de-açúcar

Em ecossistemas naturais, uma enorme quantidade de espécies de inimigos naturais mantém insetos fitófagos em baixas densidades populacionais. Mesmo em agroecossistemas, muitas pragas potenciais são mantidas em níveis que não causam danos, por meio da ação dos inimigos naturais que ocorrem naturalmente. A predação é um processo complexo com interação de componentes básicos e subsidiários como densidade da presa e do predador, descrição da presa, do predador e do ambiente, onde a caracterização desses componentes é de suma importância para explicar esse processo.

Do ponto de vista econômico, um inimigo natural efetivo é aquele que é capaz de regular a densidade populacional de uma praga e mantê-la em níveis abaixo daquele de dano econômico estabelecido para um determinado cultivo. No geral, os inimigos naturais, em particular, os parasitóides e predadores mais efetivos, devem apresentar as seguintes características: adaptabilidade às mudanças das condições

físicas do meio ambiente, um certo grau de especificidade a um determinado hospedeiro/presa, alta capacidade de crescimento populacional com relação a seu hospedeiro/presa, alta capacidade de busca, particularmente em baixas densidades do hospedeiro/presa, sincronização sazonal com o hospedeiro/presa, estar apto a sobreviver nos períodos de ausência do hospedeiro/presa, e conseguir modificar sua ação em função de sua própria densidade e do hospedeiro/presa, ou seja, mostrar densidade recíproca.

Na classe Insecta a predação de inseto por inseto é mais frequente que o parasitismo de inseto por inseto. E há somente seis ordens que não contem formas predatórias ou parasíticas: Ephemera, Isoptera, Mallophaga, Homoptera, Anoplura e Siphonaptera.

Um dos grupos de artrópodes mais estudado corresponde a família Formicidae, e as informações disponíveis na literatura atual comprovam a importância desse grupo para a conservação ambiental (OLIVEIRA *et al.*, 2014).

Quanto ao hábito alimentar as formigas podem ser classificadas em fitófagas, onívoras, detritivas, predadoras de pragas (MOÇO *et al.*, 2005; KORASAKI *et al.*, 2013) e ainda como cultivadoras de fungo, geralmente na tribo Attini.

Algumas características apresentadas pelas formigas predadoras as tornam potenciais agentes de controle biológico natural de pragas, tais como populações relativamente estáveis; sistemas de recrutamento rápido; eficiência e respostas a variações na densidade de recursos; versatilidade com forrageio em diferentes habitats ou estratos, abundância e biomassa elevadas; repelência a certas pragas (RISCH; CARROL, 1982; WAY; KHOO, 1992); alimentação de qualquer estágio de desenvolvimento da presa e capacidade de reestabelecimento parcial ou completo após o distúrbio por algumas espécies ou grupos ecológicos (ANDERSEN; MAJER, 2004).

Muitas espécies de formigas apresentam comportamento territorial e agressivo, buscam alvos de acordo com sua capacidade de manipulação e fáceis de serem subjugados, entretanto, quando o ataque ocorre em grupo conseguem dominar presas maiores. As formigas predadoras usam uma variedade de artrópodes como fonte de nutrientes constituindo-se de extrema importância nos agroecossistemas, no Brasil, destacando os gêneros *Pheidole*, *Solenopsis*, *Camponotus*, *Creमतogaster* e *Iridomyrmex* (SUJII *et al.*, 2020).

As formigas predadoras são os mais importantes inimigos naturais de *D. saccharalis* em cana-de-açúcar (ROSSI; FOWLER, 2004). Apesar de serem consideradas generalistas, os ovos e as larvas de primeiros ínstaes (até 3^o instar larval) dessa praga representam uma das principais fontes de alimento para as formigas que habitam os canaviais, o gênero *Solenopsis* é considerado um importante agente de controle biológico de estágios larvais iniciais e ovos de *D. saccharalis* praga chave na cultura da cana-de-açúcar (CARVALHO; SOUZA, 2002; GUZZO; NEGRISOLI JÚNIOR, 2012), comportamento que também caracteriza formigas dos gêneros *Pheidole* e *Creमतogaster* (OLIVEIRA, 2012).

Na Flórida (EUA) *Solenopsis* e outras seis espécies de formigas e a vespinha *Cotesia flavipes* são reportadas como responsáveis pela redução e manutenção de baixos níveis na população de *D. saccharalis* em cana-de-açúcar neste Estado (ROLDÁN *et al.*, 2020). Os gêneros *Paratrechina* e *Camponotus* são predadores de ninfas e adultos da cigarrinha *Mahanarva fimbriolata*, importante praga da raiz da cana crua (MENDONÇA; MENDONÇA, 2005).

A presença de insetos predadores de várias ordens, associados às formigas *Solenopsis*, *Dorymyrmex*, *Pheidole* e *Creमतogaster* exercem pressão sobre ovos e lagartas da broca *D. saccharalis* com eficiência próxima a 100%, especialmente

nessas fases em cana soca devido ao ambiente mais estruturado (PINTO, 2010). Formigas *Solenopsis* têm uma posição de destaque em estudos que avaliam os efeitos causados por espécies invasoras em ambientes preservados e antropizados, por serem onívoras, oportunistas e notavelmente agressivas quando perturbadas. Formigas desse gênero no Panamá respondem por 90% de predação de ovos de *T. licus* em cana-de-açúcar (WAY; KHOO, 1992), no Brasil as espécies *Camponotus crassus*, *Crematogaster victima*, *Ectatomma tuberculatum*, *Linepithema neotropicum* *Pheidole radoszkowskii*, e *Wasmannia auropunctata* foram encontradas predando ovos dessa praga (GUZZO *et al.*, 2010).

Em cultivos de cana-de-açúcar, Rando *et al.* (2011) usando iscas atrativas coletaram *Tapinoma melanocephalum* e *Pheidole* em área fertirrigada com vinhaça, e em área sem aplicação desse resíduo espécies dos gêneros *Pheidole*, *Paratrechina*, *Dorymyrmex*, *Linepithema*, *Camponotus* e *Brachymyrmex*. Após cinco anos, nessas mesmas áreas com Soares *et al.* (2016) repetiu-se o estudo, como resultado obteve-se os mesmos gêneros na área com vinhaça. Na área cultivada sem aplicação, foram coletados *Pheidole*, *Camponotus*, *Wasmannia auropunctata* e *Tapinoma melanocephalum*. O gênero *Pheidole* foi comum nos dois tipos de cultivo e nos dois estudos. As literaturas citadas ratificam a importância das espécies registradas nesse trabalho no controle biológico natural de pragas da cana-de-açúcar, principalmente na predação de *D. sachharalis*.

Num experimento de campo em área de cana-de-açúcar em três transectos, a cada 30 metros, foram depositados em potes plásticos contendo um pedaço de dieta de alimentação para hidratar as lagartas de *D. saccharalis* os tratamentos A- uma lagarta; B- cinco lagartas e em C- toletes com cerca de 20cm de comprimento, perfurados onde introduziu-se uma

lagarta (Figuras 5, 6 e 7). Os tratamentos permaneceram no campo por 40 minutos. Como resultado obteve-se em A- predação total das lagartas e elevado número de *Crematogaster*. Em B-a maior frequência (54,8%) foi apresentada por *Pheidole*; (34,5%) para *Crematogaster* e 10,7% para *Wasmannia auropunctata* com lagartas parcialmente predadas. No tratamento C- foram encontradas somente *Brachymyrmex admo-tus* em média de 77,5 formigas por tolete. A agressividade e o número elevado de *Crematogaster* tem sido observada em várias situações no campo e no laboratório. No campo cápsulas para liberação de *Cotesia flavipes* permitiam a entrada dessas formigas muitas vezes com predação total dos parasitoides. Com mudanças na metodologia para liberação das cápsulas de amido que se degradam rapidamente no ambiente, esse problema com formigas foi solucionado. Os dados apresentados são parciais e servem para definir as espécies alvo para a condução de pesquisas.

Figura 5 - Tolete contendo uma lagarta



Fonte: os autores (2020)

Figura 6 - *Crematogaster* predando *D. saccharalis*



Fonte: os autores (2020)

Figura 7 - Toletes para fixação nas plantas de cana-de-açúcar



Fonte: os autores (2020)

Com as atividades econômicas de cana-de-açúcar expandindo-se para a Região Centro-Oeste e grande parte da Região Norte, caracterizando o monocultivo em áreas extensas, e com a ocorrência de pragas que podem atingir o nível de controle, há a necessidade do uso de inseticidas. Com o impacto que a antropização e a tecnologia promovem

no ambiente, simplificando a biodiversidade de vários grupos da fauna edáfica e de inimigos naturais, espera-se que prevaleça o bom senso na escolha de inseticidas fisiológicos e biológicos para o controle de pragas, respeitando assim, a produção sustentável da cultura.

Considerações finais

O sucesso dos programas de controle biológico das pragas da cana-de-açúcar no Brasil é reconhecido mundialmente. Os processos de produção e liberação dos parasitoides de lagartas de *Diatraea saccharalis* pela vespinha *Cotesia flavipes* e de ovos por *Trichogramma galloi* já estão consolidados. De modo semelhante o uso do fungo entomopatogênico *Metarhizium anisopliae* no controle de cigarrinhas do gênero *Mahanarva*, coloca o país em destaque no controle biológico aumentativo. Em contrapartida, programas de controle com insetos predadores apresentam poucos resultados efetivos, os bem-sucedidos são conseguidos com espécies com menor amplitude de presas. Devido a várias limitações que dificultam a condução desses programas a atuação dos predadores está amparada no controle biológico conservativo.

No Laboratório de Pragas da UENP, no *campus* Luiz Meneghel, os discentes de graduação e Pós-graduação em Agronomia têm desenvolvido estudos básicos relacionados a levantamento de espécies, assim como, buscado conhecer a biologia, ecologia e sistemática de formigas pragas e benéficas para melhor entendimento do papel desses insetos no agroecossistema.

Os autores deste capítulo agradecem a Dra. Maria Santina de Castro Morini pela confirmação da espécie *Braconchymyrmex admotus*.

Referências

ABREU, R. R. L.; LIMA, S. S.; OLIVEIRA, N. C. Fauna edáfica sob diferentes níveis de palhada em cultivo de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 4, p. 409-416, 2014.

ALVES, R. T.; CARVALHO, G. S. Primeiro registro das espécies de cigarrinhas-da raiz da cana-de-açúcar *Mahanarva spectabilis* (Distant) e *Mahanarva liturata* (Le Peletier & Serville) atacando canaviais na região de Goianésia (GO), Brasil. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 81, n. 1, p. 83-85, 2014.

ANDERSEN, A. N. Functional groups and patterns of organization in North American ant communities: A comparison with Australia. **Journal of Biogeography**, v.24, p.433-460, 1997.

ANDERSEN, A. N.; MAJER, J. D. Ants show the waydown under: invertebrates as bioindicators in land management. **Frontiers in Ecology and Environment**, v.2, n.6, p.291-298, 2004.

BENAZZI, E. S.; BIANCHI, M. O.; CORREIA, M. E. F.; LIMA, E.; ZONTA, E. Impactos dos métodos de colheita da cana-de-açúcar sobre a macrofauna do solo em área de produção no Espírito Santo – Brasil. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 6, supl. 1, p. 3425-3442, 2013.

BERNARDI, O.; GARCIA, M. S.; SILVA, E. J. E.; ZAZYCKI, L. C. F.; BERNARDI, D.; MIORELLI, D.; RAMIRO, G. A.; FINKENAUER, E. Coleópteros coletados com armadilhas luminosas e etanólicas em plantio de *Eucalyptus* spp. no sul do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, v.20, n.4, p.59-588, 2010.

BIGNELL, D.; CONSTANTINO, R.; CSUDI, C.; KARYANTO, A.; KONATÉ, S.; LOUZADA, J. N. C.; SUSILO, F. X.; TONDOH, J. E.; ZANETTI, R. Macrofauna. *In*: MOREIRA, F. M. S.; HUISING, E. J.; BIGNELL, D. E. (Eds.). **Manual de biologia dos solos tropicais**: amostragem e caracterização da biodiversidade. Lavras: UFLA, p. 121-137. 2010.

BROWN, G. G.; NIVA, C. C.; ZAGATTO, M. R. G.; FERREIRA, S. A.; NADONNY, H. S.; CARDOSO, G. B. X.; SANTOS, A.; MARTINEZ, G. A.; PASINI, A.; BARTZ, M. L. C.; SAUTTER, K. D.; THOMAZINI, M. J.; BARETTA, D.; SILVA, E.; ANTONIOLLI, Z. I.; DECAENS, T.; LACELLE, P. M.; SOUSA, J. P.; CARVALHO, F. Biodiversidade da fauna do solo e sua contribuição para os serviços ambientais. *In*: PARRON, L.M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B.; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. **Serviços ambientais em Sistemas Agrícolas e Florestais do Bioma Mata Atlântica**. Brasília: Embrapa, p. 122-154. 2015.

CARVALHO, C. F.; SOUZA, B. Potencial de insetos Predadores no Controle Biológico Aplicado. *In*: PARRA, J. R. P.; BOTELHO, P. S. M.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; BENTO, J. M. S. **Controle biológico no Brasil**: parasitóides e predadores. São Paulo: Manole, 2002.

CONAB, Acomp. safra Bras. cana-de-açúcar, Safra 2014/15: Segundo Levantamento, Brasília, p. 1-20, ago. 2014.

COSTA, R. I. F.; SOUZA, B.; FREITAS, S. Dinâmica Espaço-Temporal de Taxocenoses de Crisopídeos (Neuroptera: Chrysopidae) em Ecossistemas Naturais. **Neotropical Entomology**, v.39, n. 4, p. 470-475. 2010.

CREPALDI, R. A.; PORTILHO, I. I. R.; SILVESTRE, R.; MERCADANTE, F. M.; Formigas como bioindicadores da qualidade do solo em sistema integrado lavoura pecuária. **Ciência Rural**, v.44, n.5, p.781-787, 2014.

CRUZ, I.; VALICENTE, F. H.; VINA, F. H.; VIANA, P. H.; MENDES, S. M. **Risco potencial das pragas do milho e de sorgo no Brasil. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo**. 2013. 39 p. (Doc.,150).

DINARDO-MIRANDA, L. L.; FRACASSO, J. V. Effect of insecticides applied at sugarcane planting on *Sphenophorus levis* Vaurie (Coleoptera; Curculionidae) control and on the yield of first two harvests. **Proceedings International Society of Sugar Cane Technology**, v. 27, P.1-5, 2010.

DINARDO-MIRANDA, L. L. **Nematoides e pragas da cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônômico, p. 101-167, 2014.

DINARDO-MIRANDA, L. L.; COSTA, V. P.; FRACASSO, J. V.; PERECIN, D.; OLIVEIRA, M. C.; IZEPPPI, T. S.; LOPES, D. O. P. Resistance of sugarcane cultivars to *Mahanarva fimbriolata* (Stål) (Hemiptera: Cercopidae). **Neotropical Entomology**, v.43, n.1, p.90-95, 2014.

DOJAS, F.; BATISTA, V.; MARQUES, M. O. A qualidade da cana-de-açúcar como matéria-prima para a produção de açúcar. **Nucleus**, ed. esp., p.59-66, 2009.

FLECK, M. D.; CANTARELLI, E. B.; GRANZOTTO, F. Registro de novas espécies de formigas (Hymenoptera: Formicidae) no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Ciência Florestal**, v. 25, n. 2, p. 491-499, 2015.

FRANCO, A. L. C.; BARTZ, M. L. C.; CHERUBIN, M. R.; BARETTA, D.; CERRI, C. E.; FEIGL, B. J.; WALL, D. H.; DAVIES, C. A.; CERRI, C. C. Loss of soil (macro) fauna due to the expansion of Brazilian sugarcane acreage. **Science of the Total Environment**, v.1, n.563-564, p.160-168, 2016.

FRITZ, L. L.; HEINRICH, E. A.; PANDOLFO, M.; SALLES, S.M.; OLIVEIRA, J. V.; FIUZA, L. M. Agroecossistemas orizícolas irrigados: insetos- praga, inimigos naturais e manejo integrado. **Oecol. Bras.**, v. 12, n.4, p.720-732, 2008.

GARCIA, D. B.; RAVANELI, G.C.; MADALENO, L. L.; MUTTON, M. A.; MUTTON, M. J. R. Damages of spittlebug on sugarcane quality and fermentation process. **Scientia Agrícola**, v.67, n.5, p.555-561, 2010.

GUZZO, E. C., NEGRISOLI JÚNIOR. **Diagnóstico dos Processos Tecnológicos Utilizados no Manejo Integrado de Pragas da Cana-de-açúcar em El Salvador**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2012 (Embrapa Agrobiologia. Doc.,174).

GUZZO, E. C.; SOUZA, L. A.; JATOBÁ, D. G.; DIAS, N. S.; BROGLIO-MICHELETTI, S.M.F.; DELABIE, J.H.C. Formigas (Hymenoptera: Formicidae) predando ovos de *Telchin licus licus* (Drury, 1773) (Lepidoptera: Castniidae) em canaviais no Estado de Alagoas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENTOMOLOGIA, 23., 2010, Natal. **Anais...** Natal: Sociedade Entomológica do Brasil, 2010.

KORASAKI, V.; MORAIS, J. W. de; BRAGA, R. F. Macrofauna. In: MOREIRA, F. M.S.; CARES, J. E.; ZANETTI, R.; STÜRMER, S. L. (Eds.). **O ecossistema solo**:Componentes,

relações ecológicas e efeitos na produção vegetal. Lavras: UFLA, p. 79-128.2013.

LAVELLE, P. Faunal activities and soil processes: adaptative strategies that determine ecosystem function. **Advanced in Ecological Research**, v. 27, p. 93-132, 1997.

LIBARDI, D.; CARDOSO, N. A. Cana-de-açúcar: a salvação da lavoura ou do planeta? **Análise Conjuntural**, v. 29, n. 5-6, p.24-26, 2007.

LIMA, S. S.; AQUINO, A. M.; LEITE, L. F. C.; VELASQUEZ, E.; LAVELLE, P. Relação entre macrofauna edáfica e atributos químicos do solo, em diferentes agroecossistemas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.3, p.322-31,2010.

MACEDO, N. **Atualização em controle de pragas da cana-de-açúcar: Broca do colmo e cigarrinhas**. 2018. Disponível em: http://www.stab.org.br/palestras_pragas_2018/stab_newton_macedo_pragas_2018.pdf. Acesso em: 10 de jul. 2021.

MACEDO, N.; MACEDO, D.; CAMPOS, M.B.S.; NOVARETTI, W.R.T.; FERRAZ, L.C.C.B. Manejo de pragas e nematoides. *In*: SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C. **Cana-de-açúcar: Bioenergia, açúcar e etanol- Tecnologias e perspectivas** (2.ed.). Viçosa, MG: Os Editores, cap.5. p.119-160, 2012.

MARTINS, G.D. **Caracterização espectral e espacial de áreas infestadas por nematoides e *Migdolus fryanus* em cultura canavieira**. Dissertação. (Mestrado)-Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente. 2013.

MENDONÇA, A. F.; MENDONÇA, I. C. B. R. Cigarrinha da raiz *Mahanarva fimbriolata* (Hemiptera: Cercopidae). In: MENDONÇA A.F. (ed.). **Cigarrinhas da cana-de açúcar: controle biológico**. Maceió: Insecta. p. 95-140. 2005.

MOÇO, M. K.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMARODRIGUES, A. C.; CORREIA, M. E. F. 2005. Caracterização da fauna edáfica em diferentes coberturas vegetais na região norte fluminense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.555-564, 2005.

NAKANO, M. A.; MIRANDA, V. F. O.; SOUZA, D. R.; FEITOSA, R. M.; MORINI, M. S. C. Occurrence and natural history of *Myrmelachista Roger* (Formicidae: Formicinae) in the Atlantic Forest of southeastern Brazil. **Revista Chilena de História Natural**, v. 86, 169-179.2013.

OLIVEIRA, R. F.; ALMEIDA, L. C.; SOUZA, D. R.; MUNHA, E. C. B.; BUENO, O. C.; MORINI, M. S. C. Ant diversity (Hymenoptera: Formicidae) and predation by ants on the different stages of the sugarcane borer life cycle *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae). **European journal of entomology**, v. 109, n.3, p. 381-387, 2012.

OLIVEIRA, M. A.; GOMES, C. F. F.; PIRES, E. M.; MARINHO, C. G. S.; DELLA LUCIA, T. M. C. Bioindicadores ambientais: insetos como um instrumento desta avaliação. **Revista Ceres**. v.61, p. 800-807, 2014.

OLIVEIRA, R. A. G.; RANDO J. S. S.; BARTZ, M. L. C; ALVES, V. S. Macrofauna edáfica em cultivo orgânico de cana-de-açúcar no Norte do Estado do Paraná. **Research, Society and development**, v.9, n.10, e2649108467, 2020.

PASQUALIN, L. A.; DIONÍSIO, J. A.; ZAWADNEAK, M. A. C.; MARÇAL, C. T. Macrofauna edáfica em lavouras de cana-de-açúcar e mata no noroeste do Paraná -Brasil. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 1, p. 7-18, 2012.

PINTO, A. S. **Controle biológico da broca da cana-de-açúcar**. *G. Bio*, ed. esp., p.24-28, 2010.

QUEIROZ, J. M.; ALMEIDA F. S.; PEREIRA M. P. S., Conservação da biodiversidade e o papel das formigas (Hymenoptera: Formicidae) em agroecossistemas. **Floresta e Ambiente**, v.13, n.2, p. 37 - 45, 2006.

RANDO, J. S.; MATSUYAMA, S. S.; LIMA, L. S. P.; COSTA, R. P. S. Impacto de aplicação de vinhaça sobre comunidades de formigas em cana-de-açúcar. *In: SIMPÓSIO DE MIRMECOLOGIA, I ENCUENTRO DE MIRMECOLOGISTAS DE LAS AMÉRICAS*, 20. 2011. Petrópolis. **Anais...** Petrópolis: UFRRJ, P.95. 2011.

RIBEIRO, V. H.; ENDLICH, A. M., O Avanço da agroindústria canavieira na Mesorregião Noroeste Paranaense. **Revista Percorso**, v. 2, n.1, p. 73- 92, 2010.

RISCH, S.; CARROL, R.C. The ecological role of ants in two mexican agroecosystems. **Oecologia**, v.55, p.114-119, 1982.

ROLDÁN, E. L.; BEUZELIN, J. M.; VAN WEELDEN, M. T.; CHERRY, R. H. Abundance of the sugar cane borer (Lepidoptera: Crambidae) and foraging ants (Hymenoptera: Formicidae) in sugarcane grown on organic and mineral soils in Florida. **Environmental Entomology**, v.49, n.2, p.473-481, 2020.

ROSSI, M. N.; FOWLER, H. G. Predaceous anst fauna in new sugarcane fields in the state of São Paulo, Brazil. **Brazilian Archives of Biology and technology**, v47, p.805-811, 2004.

SILVA, A. J. N. D., CABEDA, CARVALHO, F. G. D. Matéria orgânica e propriedades físicas de um argissolo amarelo coeso sob sistemas de manejo com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, p.579-585, 2006.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. *In*: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2007.

SUJII, E. R.; PIRES, C. S. S.; VENZON, M.; FERNANDES, O. A. Controle de artrópodes-praga com insetos predadores. *In*: FONTES, E. M. G.; VALADARES-INGLIS, M. C. **Controle Biológico de Pragas da Agricultura**. Embrapa: Brasília, cap.4. p.113-140. 2020.

WAY, M.J.; KHOO, K.C. Role of ants in pest management. **Annual Review of Entomology**, v37, p.479-503, 1992.

VARGAS A. B., CHAVES D. A., VAL G. A., SOUZA C., FARIA R. M., CARDOZO C., MENEZEZ C. E. G. Diversidade de artrópodes da macrofauna edáfica em diferentes usos da terra em pinheiral, RJ. **Acta Scientiae et Technicae**, v. 1, n. 2, p. 21-27, 2013.

**ESTUDOS COM NEMATOIDES
ENTOMOPATOGÊNICOS NO ESTADO DO
PARANÁ, BRASIL**

*Studies with entomopathogenic nematodes in the State of
Paraná, Brazil*

Viviane Sandra Alves
Bruna Aparecida Guide
Gabriela de Souza Doneze

Considerações iniciais

A busca por alternativas para uma produção agrícola sustentável é permeada pelo Controle Biológico (CB), um dos pilares do manejo de pragas e doenças e, que junto à outras técnicas integra os programas de Manejo Integrado de pragas (MIP) e Manejo Integrado de Doenças (MID) em cada cultura.

Os programas de MIP e MID não são estáticos, pelo contrário, estão em constante processo de aperfeiçoamento e adequação aos novos desafios que se apresentam com o surgimento de pragas e doenças ao longo dos anos, o que obriga a ciência, buscar novas alternativas para controlar a ocorrência de insetos pragas e patógenos sobre as culturas de importância econômica.

Dentro do MIP, o CB tem ganhado destaque, com um aumento significativo de registros de produtos de baixo risco na última década (MAPA, 2021) e com previsão de crescimento ainda maior para os próximos anos. Tal demanda se deve em parte, ao crescimento constante do setor produtivo em nosso país, mas também, ao surgimento de novas pragas, que é agravado pela ineficiência de outros produtos ou pela inexistência deles.

Estudos a respeito dos Nematoides Entomopatogênicos (NEP) como alternativa de controle de insetos pragas, principalmente os de solo ou, os que passam ao menos uma fase do ciclo de vida nesse ambiente, têm acompanhado a tendência de crescimento de outros Inimigos Naturais (IN) no Brasil. Os trabalhos com NEP vão desde o levantamento e identificação de novas espécies e/ou isolados, inclusive das primeiras espécies nativas brasileiras (ANDALÓ; NGUYEN; MOINO JUNIOR, 2006; NGUYEN *et al.*, 2010) até o registro do primeiro produto formulado a base desses agentes com autorização para uso no nosso país (AGROFIT, 2021).

Com o intuito de incluir o uso de NEP como mais uma alternativa no controle de pragas, projetos desenvolvidos no Norte pioneiro do Estado do Paraná têm contribuído para o crescimento das informações a respeito desses entomopatógenos. No decorrer da última década, vários trabalhos vinculados ao grupo de pesquisa de Entomologia e Controle Microbiano (GPECOM) da UENP foram realizados visando o levantamento, identificação e caracterização desses agentes na região, bem como, sua utilização como alternativa no controle de pragas de importância econômica no Estado.

O GPECOM, em parceria com outras instituições e universidades da região, tem desenvolvido trabalhos envolvendo desde alunos de graduação com trabalhos de Iniciação Científica e de Conclusão de Curso, até pesquisas vinculadas a dissertações de Mestrado, teses de doutorado e pós-doutorado, todos objetivando o estudo de NEP na região.

Diante do exposto, esse capítulo visa reunir os principais resultados dos estudos desenvolvidos pelo GPECOM e instituições parceiras, e ainda, atualizar os conhecimentos a respeito da ocorrência de NEP e seu uso sobre algumas das pragas alvo desses entomopatógenos na Região Norte do Estado do Paraná.

Nematóides entomopatogênicos

Nematóides são vermes de corpo alongado e cilíndrico, pertencentes ao Filo Nematoda, entre os quais são conhecidas espécies de vida livre (terrestres e aquáticos) e parasitas (DE LEY, 2006). Dentre os parasitas, encontram-se espécies de nematoides nocivas a ártropodes, com potencial para uso no controle biológico de insetos pragas (ALMENARA *et al.*, 2012), principalmente aquelas, cujo ciclo de vida está associado ao solo.

Entre as mais de 30 famílias de nematoides que apresentam associação com insetos, Steinernematidae e Heterorhabditidae são as que merecem maior destaque (POPIEL; HOMINICK, 1992). As espécies pertencentes a essas famílias são consideradas entomopatogênicas, devido sua associação com bactérias simbiotes que, por septcemia, matam os insetos hospedeiros.

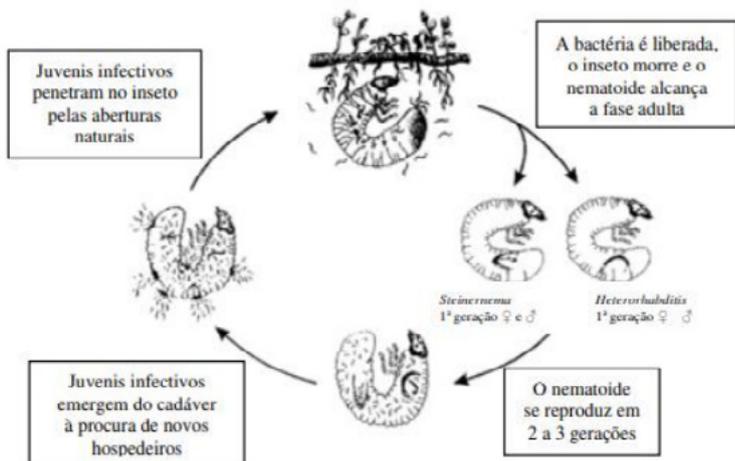
A simbiose entre a bactéria e o nematoide é fundamental para ambos, uma vez que, a bactéria proporciona um ambiente favorável no interior do inseto para o nematoide se alimentar e reproduzir-se com êxito, e este por sua vez, garante abrigo e dispersão para a bactéria, transportando-a de um inseto para outro (CLARKE, 2008). Além disso, esta associação é altamente específica, na qual, as famílias Steinernematidae e Heterorhabditidae, associam-se a bactérias dos gêneros *Xenorhabdus* e *Photorhabdus*, respectivamente (GREWAL; EHLERS; SHAPIRO-ILAN, 2005).

Os NEP possuem uma fase de vida livre (J3) ou JI (juvenil infectante) encontrada no solo, sendo a única fase que carrega consigo a bactéria simbiote. Os JI, quando encontram um hospedeiro, penetram através das aberturas naturais como aparato bucal, ânus e espiráculos, e em alguns casos, através da cutícula (FORST; CLARKE, 2002; ALMENARA *et al.*, 2012). Uma vez dentro do hospedeiro, os JI liberam a

bactéria, que se multiplica na hemolinfa provocando a morte do inseto entre 24 e 48 horas, ao digerir os tecidos do inseto e convertendo-os em nutrientes assimiláveis para o nematoide se alimentar e dar continuidade ao seu ciclo (FUGA; FERNANDES; LOPES, 2012).

Após a morte do inseto, os NEP se alimentam das bactérias simbiontes que estão se multiplicando no cadáver e tornam-se adultos de primeira geração, hermafroditas com morfologia de fêmeas para o gênero *Heterorhabditis* e fêmeas e machos para *Steinernema*, que produzirão ovos. Os ovos eclodem e saem deles, juvenis de primeiro estágio (J1) que sucessivamente mudam para juvenis de segundo, terceiro e quarto estágio. O ciclo de reprodução no interior do inseto continua até que o cadáver fica exaurido, e então, os juvenis de segundo estágio ingerem as bactérias, passam para o terceiro estágio (J3), retém o exoesqueleto do segundo e deixam o cadáver em busca de outro hospedeiro (MOLINA; MOINO JUNIOR; CAVALCANTI, 2004; DOLINSKI; MOINO JÚNIOR, 2006). A Figura 1 apresenta o ciclo de vida dos NEP, *Steinernema* e *Heterorhabditis*.

Figura 1 - Ciclo de vida dos nematoides entomopatogênicos *Steinernema* e *Heterorhabditis* dentro de um inseto. Desenvolvimento do estágio juvenil que passa por quatro estádios (J1, J2, J3 e J4), no qual, J3 é o juvenil infectante (JI). Na primeira geração de adultos, *Heterorhabditis* apresenta adultos hermafroditas com morfologia de fêmeas e em *Steinernema* observa-se diferenciação em machos e fêmeas. A partir da segunda geração há formação de machos e fêmeas para ambos os gêneros



Fonte: Ferraz *et al.* (2008)

Os NEP apresentam algumas características que tornam favoráveis a sua utilização no controle de pragas, dentre elas, a capacidade de busca ao hospedeiro. Os JI conseguem deslocar-se no filme d'água presente no solo em direção ao inseto e podem apresentar duas estratégias de busca: "cruiser", na qual os JI movem-se no solo em direção aos hospedeiros respondendo a sinais como compostos voláteis emitidos por plantas e CO₂ liberado pelo hospedeiro (rastreamento), ou "ambusher" (emboscada), e neste caso, os JI se mantêm imóveis no solo realizando movimento de nictação que consiste na suspensão do corpo, apoiando-o apenas pela ponta da cauda, aguardando um hospedeiro passar para então saltar

sobre ele (LEWIS *et al.*, 2006). Algumas espécies de NEP podem apresentar as duas estratégias de busca, intercalando a busca pelo hospedeiro com parada para realizar nictação (GREWAL; SELVAN; GAUGLER, 1994).

O conhecimento a cerca do comportamento de busca do NEP é essencial quando se pensa no seu uso para o controle de pragas, pois, a partir dessa informação, é possível saber se o encontro entre NEP e o inseto ocorrerá. Nesse sentido, quando pensa-se no controle de espécies de insetos com hábito sedentário ou criptico, indica-se a utilização de NEP “cruiser”. Por sua vez, os NEP de hábito “ambusher” apresentam maior probabilidade de sucesso no controle de insetos que se movimentam na superfície do solo (LEWIS *et al.*, 2006).

A descoberta de espécies de NEP tornou viável o seu uso no CB de insetos em diversas culturas (FUGA; FERNANDES; LOPES, 2012). Dolinski *et al.* (2017) a partir de uma busca na base de dados Scopus, utilizando a expressão “Nematoides Entomopatogênicos”, observaram que o Brasil ocupa o sétimo lugar no mundo em número de publicações, com 107 documentos, atrás dos Estados Unidos (914), Reino Unido (231), Alemanha (168), Índia (143), China (118) e Egito (109).

Conhecer a diversidade de espécies e isolados de NEP nativos de uma determinada região é fundamental, visto que, organismos nativos são adaptados as condições locais e isto influencia diretamente na virulência destes quando comparados às espécies exóticas, o que potencializa e favorece a sua utilização no MIP (DOLINSKI; MOINO JUNIOR, 2006; ANDALÓ; MOREIRA; MOINO JÚNIOR, 2009).

No Brasil, a primeira descrição de um NEP foi realizada por Lauro Travassos em 1927, o mesmo que descreveu o gênero *Steinernema* (FUGA; FERNANDES; LOPES, 2012). Já a primeira espécie brasileira do gênero *Heterorhabditis*,

classificada primeiramente como *Rhabditis humbletoni* foi descrita por Pereira (1937).

Estudos de levantamento de isolados (espécies) podem ser feitos a partir de amostras de solo, usando a técnica denominada “isca-viva”, que consiste na exposição de insetos, geralmente lagartas de *Galleria mellonella* (Lepidoptera: Pyralidae), ao solo umedecido. Caso haja presença de NEP na amostra de solo coletada, eles irão infectar as lagartas e, assim, poderão ser coletados e multiplicados. A obtenção de nematoides é favorecida pela escolha do local de coleta e pela repetição do processo de inseto-isca em amostras negativas, pois os JI podem permanecer não infectantes durante algum período (HOMINICK, 2002; VOSS *et al.*, 2009).

A ocorrência de alguns isolados de NEP já foi registrada no Brasil. Destes, sete espécies foram identificadas sendo do gênero *Steinernema*: *S. australe*, *S. diaprepesi*, *S. feltiae*, *S. glaseri*, *S. puertoricense*, *S. rarum* e *S. riobrave*; e quatro do gênero *Heterorhabditis*: *H. bacteriophora*, *H. baujardi*, *H. indica* e *H. amazonensis*. Entretanto, com relação a espécies nativas, apenas dois isolados foram descritos como novas espécies, sendo elas, *Heterorhabditis amazonensis* (RSC 05) (ANDALÓ; NGUYEN; MOINO JUNIOR, 2006) e *Steinernema brazilense* (IBCB-n 06) (DOLINSKI *et al.*, 2017).

É de se esperar que a presença de diferentes biomas e ampla biodiversidade do Brasil favoreça a ocorrência de novas espécies e/ou isolados de NEP (DOLINSKI *et al.*, 2017) porém, o baixo número de novas espécies e ou isolados, reflete muito a carência de estudos nesta área, do que a real riqueza de espécies de NEP brasileiras.

Levantamento e identificação de nematoides entomopatogênicos no Paraná

A identificação das espécies regionais é muito importante, pois permite conhecer a biodiversidade local, fator primordial quando se cogita o uso desses agentes no CB (NGUYEN *et al.*, 2010) pois, organismos nativos são adaptados às condições locais, o que pode proporcionar maiores índices de mortalidade quando comparado aos exóticos, fator que favorece e potencializa a utilização de NEP no MIP (DOLINSKI; MOINO JUNIOR, 2006; ANDALÓ; MOREIRA; MOINO JÚNIOR, 2009).

Guide (2019) realizou um levantamento em diferentes áreas (agrícolas com sistema de cultivo convencional e de plantio direto; cultivo orgânico; pastagem e floresta) nas cidades de Londrina, Marumbi, Marilândia do Sul, Jandaía do Sul e São Sebastião da Amoreira, todas no Estado do Paraná e coletou um total de 60 amostras de solo e destas, uma foi positiva para presença de NEP. Neste trabalho identificou-se e registrou-se o primeiro NEP no Paraná, mais especificamente, na cidade de Londrina, sendo previamente chamado de “isolado UEL o8”. Para identificação, análises moleculares foram realizadas e mostraram que a amplificação e sequenciamento de parte do gene de rDNA (ITS1, 5,8S, 1ITS2) para o isolado UEL o8 forneceram uma sequência idêntica a sequência de referência de *Heterorhabditis amazonensis* (DQ665222), concluindo que este pertence a espécie *H. amazonensis*.

Doneze (2019) também com objetivo de conhecer a diversidade de NEP no Estado do Paraná, realizou um levantamento com um total de 80 amostras de solo coletadas em diferentes propriedades da Região Norte do Paraná. Como resultado, foi observado pela autora, 7 amostras positivas para presença de NEP, uma em área de pastagem e 6 em mata de reflorestamento. Dos 7 isolados coletados, a autora realizou

a identificação molecular de 3, os quais foram chamados de UENP 2, UENP 5 e UENP 6, ambos encontrados na mesma propriedade, localizada na cidade de Ribeirão Claro, Paraná, porém, em pontos diferentes de coleta de solo (Figura 2). A partir das análises moleculares dos 3 isolados, foi possível observar que a amplificação e sequenciamento de parte do gene de rDNA (ITS₁, 5,8S, 1ITS₂) dos isolados, forneceram uma sequência semelhante a sequência de referência de *H. amazonensis* (DQ665222). Este fato confirma que os isolados UENP 2, UENP 5 e UENP 6 também pertencem à espécie *H. amazonensis*.

Figura 2 - Local de coleta dos isolados UENP 2, UENP 5 e UENP 6 no município de Ribeirão Claro- PR



Fonte: Doneze (2019)

Dentre os trabalhos realizados sobre levantamento de NEP no Paraná, pode-se citar também o de Macedo (2020). Neste estudo, a autora identificou um isolado proveniente de uma área de pastagem coletado por Doneze (2019) denominado previamente como UENP 1. Os resultados demonstraram

a partir da análise molecular da região ITS uma sequência de 840 pares de base (pb) de um trecho do gene do DNA ribossomal, incluindo parte do RNAr 28S, ITS1, 5.8S, ITS2 e parte do 18S. No entanto, a sequência obtida para o isolado UENP 1 não foi idêntica a nenhuma sequência para os NEP disponível no GenBank, mas, ficou próxima das espécies *Heterorhabditis mexicana* (EF043444) (98,64%) e *Heterorhabditis taysearae* (EF043443) (98,57%). Ainda, realizou-se análise molecular a partir da região 28S-rDNA- D2D3 LSU sendo obtida uma sequência de 330 pb de um trecho do gene do DNA ribossomal da região 28S, com similaridade de 96,64% com os isolados da espécie *H. mexicana* MK421470 e EU100414. Todavia, Macedo (2020) concluiu a partir dos dados moleculares que o isolado pertence ao gênero *Heterorhabditis*, mas, a sequência obtida não apresentou 100% de similaridade com nenhuma outra espécie, não podendo afirmar com certeza a qual espécie de NEP o isolado UENP 1 pertence.

Fernandes (2020) também realizou a identificação de um dos isolados coletados por Doneze (2019). O isolado denominado UENP 4, foi obtido a partir de coleta de amostras de solo em diferentes aéreas com sistema de cultivo orgânico, também na cidade de Ribeirão Claro, no Estado do Paraná. O autor observou, a partir de estudos moleculares, uma sequência de 198 pares de base (pb) de um trecho do gene do DNA ribossomal da região 28S-rDNA- D2D3 LSU e, além disso, determinou a partir da análise filogenética (topologia de *Neighbor Joining*) um grupo monofilético formado por dois isolados das espécies *H. mexicana* (EU100414) e *H. mexicana*. Já, a análise de similaridade da região D2D3 mostrou uma proximidade de 100% com a espécie *H. mexicana* (EU100414.1). Desta forma, Fernandes (2020) concluiu que o isolado UENP 4 pertence a espécie *H. mexicana*, registrando

assim, a primeira ocorrência dessa espécie de NEP no Brasil e no Estado do Paraná.

De acordo com Shapiro-Ilan; Hazir; Glazer (2017), o gênero *Heterorhabditis* compreende 20 espécies. No Brasil, 27 isolados *Heterorhabditis* foram encontrados, pertencentes às espécies *H. amazonenses*, Andaló; Nguyen; Moino Junior (2006); *H. indicus*, Poinar Junior; Karunakar; David, (1992); *H. baujardi*, Dolinski *et al.* (2008) e *H. bacteriophora*, Poinar (1992) (DOLINSKI *et al.*, 2017).

É possível observar uma maior predominância de isolados *Heterorhabditis* no Brasil. E, ainda, observa-se até o momento, a mesma tendência a Região Norte pioneira do Estado do Paraná. Popiel e Hominick (1992) citam que espécies do gênero *Heterorhabditis* são frequentes em solos tropicais e subtropicais, enquanto *Steinernema* spp. ocorrem em maior abundância em regiões temperadas. De acordo com Tarasco *et al.* (2015), a distribuição de isolados de NEP pode ser influenciada pela temperatura, presença de culturas agrícolas e disponibilidade de hospedeiros. Ainda, segundo os mesmos autores, a presença de cobertura vegetal rasteira ou em decomposição, favorece a proteção do solo e a manutenção da umidade, sendo esta combinação a condição favorável para presença e persistência de NEP.

Sabe-se que o número de isolados de NEP encontrados no Estado do Paraná até o momento, não representa o modo como estão distribuídos e tão pouco a sua diversidade. Por outro lado, conhecer as espécies que aqui ocorrem é uma das alternativas que pode possibilitar e aumentar o uso destes organismos como agentes de controle biológico. Portanto, a otimização dos estudos de levantamento, identificação e aspectos biológicos ainda se faz necessária.

Estudos aplicados com nematoides entomopatogênicos no Paraná

Além dos trabalhos de isolamento e identificação, o GPECOM se dedica também ao estudo aplicado com esses isolados, a fim de conhecer seus aspectos biológicos como ciclo de vida, patogenicidade e virulência sobre diferentes insetos praga, capacidade de produção *in vivo* e *in vitro*, compatibilidade com produtos fitossanitários, entre outros.

O isolado UEL 08, identificado como *H. amazonensis* (GUIDE *et al.*, 2019) foi caracterizado quanto a patogenicidade e virulência sobre três diferentes insetos: lagartas de *G. mellonella*, adultos de *Dichelops melacanthus* (Hemiptera: Pentatomidae) e larvas de *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae). Observou-se patogenicidade do isolado aos três insetos, porém, houve diferença na virulência e, lagartas de *G. mellonella* e larvas de *A. diaperinus* foram mais susceptíveis com porcentagem de mortalidade de 100 e 85%, respectivamente.

O GPECOM também realizou pesquisas utilizando NEP no controle de pragas agrícolas, evidenciando o potencial de uso dos isolados sobre diferentes espécies de insetos praga importantes para a região.

Um dos primeiros estudos desenvolvidos pelo grupo, consistiu na avaliação do potencial de NEP no controle da cochonilha-da-raiz-da-mandioca *Dysmicoccus* sp. (Hemiptera: Pseudococcidae). Os isolados NEPET11 e RSC05, ambos da espécie *H. amazonensis* mostraram maior virulência para as cochonilhas no ensaio de seleção, com porcentagens de mortalidade de 93% e 90%, respectivamente, e não diferiram entre si. Por outro lado, o isolado NEPET11 mostrou-se mais virulento quando concentrações mais baixas de JI/cm² foram utilizadas.

Os mesmos isolados foram avaliados quanto a capacidade de deslocamento e ambos causaram mortalidade de 100% sem diferença significativa nas profundidades avaliadas, confirmando o comportamento “cruiser” para ambos.

Outra cochonilha registrada em raízes de mandioca é a espécie *Dysmicoccus brevipes* (Hemiptera: Pseudococcidae) (LORENZI; WOLFF; SILVA, 2016). Diante disso, prospectou-se a possibilidade do uso de NEP para seu controle. Zart *et al.* (2021) obtiveram resultados positivos ao realizarem experimentos em laboratório com 9 isolados de NEP para o controle dessa cochonilha. Os isolados que causaram a maior taxa de mortalidade em *D. brevipes* foram NEPET11 (93,8% ± 4,1) e IBCB-n40 (84,0% ± 8,1), ambos os isolados de *Heterorhabditis amazonensis*. Observou-se também, que o isolado NEPET11 foi mais virulento, pois na concentração de 25JI/cm² causou maior mortalidade que o isolado IBCB-n40 na concentração de 200 JI/cm² (aproximadamente 90%).

Testes para avaliar os aspectos de dispersão de NEP demonstraram que o isolado NEPET11 causou mortalidade em *D. brevipes* em uma profundidade de até 20 cm e teve deslocamento horizontal de 7,25 cm. Esse isolado foi avaliado também quanto a compatibilidade com inseticidas registrados para a cultura da mandioca e observou-se redução na viabilidade quando exposto aos produtos Poquer, Tiguer 100 EC, Actara 250 WG e Gaucho FS. No entanto, o inseticida Curyom 550 EC foi o único que reduziu a infectividade (redução de 92%) sendo classificado como moderadamente tóxico, enquanto todos os outros foram classificados como compatíveis (ZART *et al.*, 2021).

Os NEP também foram avaliados como alternativa para controle da lagarta-rosca, *Agrotis ipsilon* (Hufnagel) (Lepidoptera: Noctuidae), considerada uma praga polífaga, e no

Paraná, causa danos significativos em várias culturas, principalmente a do milho (GIANNASI *et al.*, 2018).

Realizaram-se ensaios em condições de laboratório para seleção de isolados e avaliação da suscetibilidade de diferentes fases do inseto (instares das lagartas e fase de pupa) e a virulência em diferentes concentrações de JI/cm². Lagartas de 3^o e 4^o instares foram mais susceptíveis aos NEP e o isolado *Steinernema carpocapsae* (IBCBn-02) foi o único a causar acima de 95% de mortalidade nas lagartas, além de ter a CL₉₉ mais baixa (140 JI/cm²) (GIANNASI *et al.*, 2018).

Os NEP também foram estudados como alternativa no controle de percevejos da Família Pentatomidae, como o percevejo barriga-verde, *Dichelops melacanthus* (Dallas) (Hemiptera: Pentatomidae), e o percevejo marrom-da-soja, *Euschistus heros* (Fabricius) (Hemiptera: Pentatomidae) (GUIDE *et al.*, 2019; CECCONELLO, 2020).

GUIDE *et al.* (2019) avaliaram a patogenicidade e virulência de diferentes isolados de NEP sobre adultos de *D. melacanthus*, e observaram que os isolados *H. amazonensis* (GL), *Steinernema* sp. (IBCB-n27) e *H. amazonensis* (RSC05) foram os mais virulentos com 80; 82 e 88% de mortalidade respectivamente. O isolado *S. feltiae* quando aplicado nas concentrações de 50 e 100 JI/cm² foi responsável pelas maiores taxas de mortalidade dos percevejos (88 e 86%, respectivamente) (GUIDE *et al.*, 2019).

No teste realizado em casa-de-vegetação com *D. melacanthus*, *S. feltiae* causou mortalidade (38%) superior ao controle, sendo este, um resultado satisfatório, se somado à estudos sobre alternativas de aplicação no controle desse inseto (GUIDE *et al.*, 2019).

Para o controle do percevejo-marrom, Cecconello (2020) desenvolveu testes visando o controle deste inseto durante seu período de diapausa. Para tanto, o autor avaliou o

potencial de NEP em condições de laboratório e campo, sendo possível observar que os isolados *H. amazonenses* (IBCB-n46) e *Heterorhabditis* sp. (NEPET11), foram os que causaram mortalidade de até 100% dos adultos de percevejo-marrom em laboratório. No entanto, quando levados para campo, o maior índice de controle foi de 18%, indicando que novos isolados devem ser avaliados ou então associados a outras técnicas de controle, que somadas a ação dos NEP, alcancem índices mais significativos de mortalidade.

O GPECOM também tem dedicado atenção ao controle de um inseto praga de grande importância para a avicultura de corte no Estado do Paraná, o coleóptero *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae). Em trabalho precursor no Brasil visando o controle deste inseto com NEP, Alves *et al.* (2012) avaliaram a virulência de 14 isolados em diferentes temperaturas. Todos os isolados foram patogênicos e os valores de mortalidade variaram entre 1 e 99%. O isolado exótico, *Steniernema arenarium*, foi o mais eficaz, causando 99% de mortalidade e com CL_{90} estimada de 106 JI/inseto (aproximadamente 25 IJ/cm²). Foi observado também, que temperaturas superiores a 30°C inviabilizaram a ação do NEP e a cama do aviário pode interferir na patogenicidade e, conseqüentemente, reduzir o potencial de controle do inseto por NEP no aviário.

Mais recentemente, Fernandes *et al.* (2021) também avaliaram NEP como alternativa de controle para *A. diaperinus*, trabalhando exclusivamente com isolados nativos brasileiros. Observou-se que os 3 isolados mais virulentos sobre adultos de cascudinho foram *Heterorhabditis amazonensis* (UEL 07), *H. amazonensis* (RSC 05) e *S. carpocapsae* (All) com 76,5; 73,5 e 70% mortalidade, respectivamente. Para as larvas, os isolados *Heterorhabditis* sp. (NEPET 11), *S. feltiae* (IBCB-n47), *H. amazonensis* (UEL 07), *H. amazonensis* (IBCB-n40) e *H. amazonensis* (UEL 08) foram os mais virulentos.

No teste de concentrações, observou-se melhor desempenho para *S. feltiae*, o qual, nas concentrações de 30JI/cm² e 50JI/cm² causou 98% de mortalidade sobre adultos e larvas de *A. diaperinus*, respectivamente. O isolado nativo *H. amazonensis* (UEL 07) foi o que apresentou o pior desempenho (FERNANDES *et al.*, 2021). Os autores avaliaram também o efeito da cama de aviário sobre *S. feltiae* (IBCB-n 47) e *S. carpocapse* (All), os quais foram capazes de causar até 80% de mortalidade nos insetos quando aplicados nesta condição, demonstrando que a cama de aviário não afetou a capacidade infectiva dos mesmos.

Além de avaliar a virulência dos isolados sobre pragas alvo, outro quesito importante para o uso de um isolado no controle de pragas é a capacidade reprodutiva do mesmo, pois uma maior produtividade em um menor período é fundamental, uma vez que, o sucesso da utilização dos NEP em programas de MIP está relacionado à possibilidade de sua produção em larga escala (BARBOSA, 2005).

O GPECOM também realizou alguns trabalhos a fim de avaliar a capacidade de produção *in vivo* de alguns isolados utilizando lagartas de *G. mellonella* como hospedeiro alternativo. Em trabalho desenvolvido por Guide *et al.* (2016), foi possível observar que os isolados NEPET11 e RSC05 alcançaram produtividade de $7,0 \times 10^4$ e $7,2 \times 10^4$ JI/g de lagarta, respectivamente, sem diferença significativa entre eles.

Giannasi *et al.* (2018) também avaliaram a capacidade de multiplicação de isolados em lagartas de *A. ipsilon* e observaram que *S. carpocapsae* (IBCB-no2), *H. indica* (IBCB-no5) e *H. amazonensis* (GL) produziram $4,7 \times 10^4$, $2,3 \times 10^4$ e $3,3 \times 10^4$ JI/lagarta, respectivamente. Estes valores foram considerados baixos quando comparados a outros trabalhos de produção *in vivo*. No entanto, os autores salientaram que lagartas de *G. mellonella* são susceptíveis à NEP e, por isso, frequentemente

utilizadas na produção *in vivo* de NEP (GAUGLER; HAN, 2002). Por outro lado, insetos que passam parte do seu ciclo de vida em contato com o solo, como *A. epsilon*, apresentam mecanismos de defesa contra estes agentes que podem afetar o desenvolvimento e reprodução dos NEP no seu interior, o que justifica os baixos resultados de produção obtidos por eles no trabalho.

Não obstante, diferenças de infectividade e multiplicação entre espécies de nematoide podem ser observadas, mesmo para uma espécie de hospedeiro susceptível, como no caso de *G. mellonella* (OZER; UNLU, 2003), quanto mais, para hospedeiros de espécies diferentes.

Os isolados UENP, obtidos em trabalho de isolamento realizado por Doneze (2019) também foram avaliados quanto a capacidade de produção *in vivo* sobre lagartas de *G. mellonella*, e apresentaram diferenças significativas (dados não publicados), corroborando a teoria de que, além de avaliar a patogenicidade e virulência sobre diferentes hospedeiros, a avaliação da capacidade reprodutiva dos isolados é muito importante quando se pensa no uso de um isolado como uma alternativa de controle.

Considerações finais

Conhecer as espécies de NEP que ocorrem no Paraná, bem como os seus aspectos biológicos é fundamental para o uso adequado desses agentes, pois estas informações podem facilitar o uso destes organismos no CB.

Ainda há muito a ser estudado e os dados aqui apresentados são uma pequena luz em meio a grande extensão do Paraná e, conseqüentemente, da biodiversidade que acreditamos existir em relação aos NEP neste Estado. Porém, antes de ser um fator de desalento, este imenso desafio nos motiva a continuar a estudar este grupo tão fascinante, acreditando que

em breve, o uso de NEP será uma realidade e uma alternativa para os programas de MIP em diferentes culturas no Paraná e em outros Estados do Brasil, assim como o é em outros países.

Referências

AGROFIT. 2021. Disponível em: https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 10 de maio de 2021.

ALMENARA, D. P.; ROSSI, C.; NEVES, C. M. R.; WINTER, C. E. Nematoides Entomopatogênicos. *In: Tópicos Avançados em Entomologia Molecular*. INCT-EM, p.1-40, 2012.

ALVES, V. S.; NEVES, P. M. J. O.; ALVES, L. F. A.; MOINO JUNIOR, A.; HOLZ, N. Entomopathogenic nematodes (Rhabditida: Heterorhabditidae and Steinernematidae) creening for lesser mealworm *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae) control. **Revista Colombiana de Entomologia**, v. 38:1, p. 76-80, 2012.

ANDALÓ, V.; MOREIRA, F. G.; MOINO JUNIOR, A. Studies of two new populations of *Heterorhabditis amazonensis* (Rhabditida: Heterorhabditidae). **Nematropica**, v. 39:2, p. 199- 211, 2009.

ANDALÓ, V.; NGUYEN, K. B.; MOINO JUNIOR, A. *Heterorhabditis amazonensis* n. sp. (Rhabditida: Heterorhabditidae) from Amazonas, Brazil. **Nematology**, v. 8: 6, p.853-867, 2006.

BARBOSA, C. R. C. **Técnicas de produção *in vivo* de nematoides entomopatogênicos (Rhabditida: Heterorhabditidae) em *Galleria mellonella* (L.)**

(Lepidoptera: Pyralidae) e hospedeiros alternativos.
Mestrado em Entomologia. Universidade, 2005.

CECCONELLO, D. M. **Nematoides entomopatogênicos no controle do percevejo *Euschistus heros* (Fabricius) (Hemiptera: Pentatomidae).** Dissertação de Mestrado. Programa de Mestrado em Agronomia, UENP. Bandeirantes, Paraná. 2020. 58p.

CLARKE, D.J. Photorhabdus: a model for the analysis of pathogenicity and mutualism. **Cellular Microbiology**, v. 10, p.2159-2167, 2008.

DE LEY, P. **A quick tour of nematode diversity and the backbone of nematode phylogeny.** In: WormBook, eds. The *C. elegans* Research Community. Disponível em: <<http://www.wormbook.org>>_2006. Acesso em: 15 de abril de 2021.

DOLINSKI, C.; MOINO JUNIOR, A. Utilização de nematóides entomopatogênicos Nativos ou Exóticos: O Perigo das Introduções. **Nematologia Brasileira**, v. 30, p. 139-149, 2006.

DOLINSKI, C.; KAMITANI, F. L.; MACHADO, I. R.; WINTER, C. E. Molecular and morphological characterization of heterorhabditid entomopathogenic nematodes from the tropical rainforest in Brazil. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 103, n.2, p. 150-159, 2008.

DOLINSKI, C.; MONTEIRO, C.; ANDALÓ, V.; LEITE, L.G. Studies on entomopathogenic nematodes in Brazil: past and future. **Nematoda**, 4, p. 1-14, 2017.

DONEZE, G. S. **Caracterização molecular de nematoides entomopatogênicos (UENP 02, 05 e 06) nativos da região norte do Paraná.** 32 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Graduação em Ciências Biológicas, Universidade Estadual do Norte do Paraná, Cornélio Procópio, 2019.

FERRAZ, L. C. C. B. *et al.* Utilização de nematoides para o controle de pragas agrícolas e urbanas. *In:* ALVES, S. B.; LOPES, R. B. **Controle Microbiano de Pragas na América Latina: Avanços e desafios.** Piracicaba: Fealq, Cap. 6. p. 171-196, 2008.

FERNANDES, T. A. P. **Identificação e caracterização do isolado de nematoide entomopatogênico UENP n-04 e de sua bactéria simbiote no norte do Paraná, Brasil.** 60 f. Dissertação (Mestrado) – Programa Pós-graduação em Agronomia, Universidade Estadual de Londrina. 2020.

FERNANDES, T. A. P.; MARCOMINI, M. C.; FERREIRA, F. P.; GUIDE, B. A., ALVES, V. S.; NEVES, P. M. O. J. Native isolates and the effect of aviary litter on the pathogenicity and virulence of entomopathogenic nematodes for the control of the lesser mealworm, *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae). **Semina: Ciências Agrárias**, v. 42: 1, p. 1-18, 2021.

FORST, S.; CLARKE, D. Bacteria-nematode symbiosis. *In:* GAUGLER, R., editor. **Entomopathogenic Nematology**, CABI Publishing, New York, NY, p. 57-77, 2002.

FUGA, C. A. G.; FERNANDES, R. H; LOPES, E. A. Nematoides entomopatogênicos. **Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas**, v.6:3, p. 56-75, 2012.

GAUGLER, R.; HAN, R. Production technology. pp. 289- 310. *In: Gaugler, R. (Ed.). Entomopathogenic nematology.* New Jersey: Rutgers University, 2002.

GIANNASI, A. O.; BRAMBILA, C. R.; ZART, M.; GUIDE, B. A.; ALVES, V. S. Assessment of entomopathogenic nematodes in *Agrotis ipsilon* (Lepidoptera: Noctuidae) under laboratory and greenhouse conditions. **Revista Colombiana de Entomología**, v. 44:1, p. 25-31, 2018.

GREWAL, P. S.; SELVAN, S.; GAUGLER, R. Thermal adaptation of entomopathogenic nematodes: niche breadth for infection, establishment and reproduction. **Journal of Thermal Biology**, v.19:4, p. 245-253, 1994.

GREWAL, P. S.; EHLERS, R. U.; SHAPIRO-ILAN, D. I. (Eds.). **Nematodes as Biological Control Agents.** CABI, Wallingford. 2005.

GUIDE, B. A.; SOARES, E. A.; ITIMURA, C. B.; ALVES, V. S. Entomopathogenic nematodes in the control of cassava root mealybug *Dysmicoccus* sp. (Hemiptera: Pseudococcidae). **Revista Colombiana de Entomologia**, v.42:1, p. 16-21, 2016.

GUIDE, B. A.; ALVES, V. S.; FERNANDES, T. A. P.; MARCOMINI, M. C.; MENEGHIN, A. M.; NEVES, P. M. O. J. Pathogenicity and virulence of entomopathogenic nematodes against *Dichelops melacanthus* Dallas (Hemiptera: Pentatomidae). **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40: 4, p. 1417- 1426, 2019.

HOMINICK, W. M. Biogeography. In: GAUGLER, R. (Ed). **Entomopatogenic entomology**. Wallingford, UK: CAB International, p. 115-143, 2002.

LEWIS, E.D.; CAMPBELL, J.; GRIFFIN, C.; KAYA, H.; PETERS, A. Behavioral ecology of entomopathogenic nematodes. **Biological Control**, v. 38:1, p. 66-79, 2006.

LORENZI, E. F. P.; WOLFF, V. R. S.; SILVA, V. C. P. Ocorrência de *Dysmicoccus brevipes* em raízes de mandioca no estado de Santa Catarina e alterações reprodutivas em função do substrato de criação. **Agropecuária Catarinense**, v. 29:2, p. 50-52, 2016.

MACEDO, M. F. **Identificação molecular e caracterização morfológica do isolado de nematoide entomopatogênico *Heterorhabditis* sp. UENP n-01 obtido em área de pastagem no município de Ribeirão Claro, Paraná**. 57 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Mestrado em Agronomia, Universidade Estadual do Norte do Paraná, Campus Luiz Meneghel. 2020.

Ministério da Agricultura do Abastecimento – **MAPA**. 2021. Disponível em: < <https://www.gov.br/pt-br/search?SearchableText=produtividade%20agricola>>. Acesso em: 17/07/2021.

MOLINA, J. P. A.; MOINO JUNIOR, A.; CAVALCANTI, R. S. Produção in vivo de nematóides entomopatogênicos em diferentes insetos hospedeiros. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 71:3, p. 347-354, 2004

NGUYEN, K. B.; GINARTE, C. M. A.; LEITE, L. G.; DOS SANTOS, J. M.; HARAKAVA, R. *Steinernema brazilense* n. sp. (Rhabditida: Steinernematidae), a new entomopathogenic nematode from Mato Grosso, Brazil. **Journal of Invertebrate Pathology**, v. 103: 1, p.8-20, 2010.

OZER, N.; UNLU, I. O. Evaluation of the reproductive potential and competition between two entomopathogenic nematodes, *Steinernema feltiae* FILIPJEV, 1934 (Rhabditida: Steinernematidae) and *Heterorhabditis bacteriophora*, POINAR, 1976 (Rhabditida: Heterorhabditidae). **Turkish Journal of Biology**, v. 27: p. 149-155, 2003.

PEREIRA, C. *Rhabditis hambletoni* n.sp., nema aparentemente semi-parasito da “bróca do algodoeiro” (*Gasterocercodes brasiliensis*). **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 8, p. 214-230, 1937.

POINAR JUNIOR, G. O.; KARUNAKAR, G. K.; DAVID, H. *Heterorhabditis indicus* n. sp. (Rhabditida, Nematoda) from India: separation of *Heterorhabditis* spp. by infective juveniles. *Fundamental and Applied Nematology*, v. 15, p. 467-472, 1992. POPIEL, I. D.; HOMINICK, W.M. Nematodes as biological control agents: part II. **Advances in Parasitology**, v. 31, p. 381-431, 1992.

SHAPIRO ILAN, D. I.; HAZIR, S.; GLAZER, I. Basic and applied research: Entomopathogenic nematodes. *In*: LACEY, L. A. (Ed.). **Microbial Agents for Control of Insect Pests: from discovery to commercial development and use**. Academic Press, Amsterdam, p. 91-105, 2017.

TARASCO, E.; CLAUSI, M.; RAPPAZZO, G.; PANZAVOLTA, T.; CURTO, G.; SORINO, R.; VINCIGUERRA, M. T. Biodiversity of entomopathogenic nematodes in Italy. **Journal of Helminthology**, v. 89:3, p. 359-366, 2015.

VOSS, M. Nematoides Entomopatogênicos (NEPs) como Agentes de Controle Biológico de Insetos. *In: Manual de Técnicas Laboratoriais para Obtenção, Manutenção e Caracterização de Nematoides Entomopatogênicos.* ed. Embrapa Trigo. Documentos 97, p. 9-17, 2009.

ZART, M., MACEDO, M. F.; RANDO, J. S.; DONEZE, G. S.; BRITO, C. P.; POLETTI, R. S.; ALVES, V. S. Performance of entomopathogenic nematodes on the mealybug, *Dysmicoccus brevipes* (Hemiptera: Pseudococcidae) and the compatibility of control agents with nematodes. **Journal of Nematology**, v.53, p. 1-10, 2021.

PARTE III
INOVAÇÕES EM SANIDADE VEGETAL
Part III: Innovations in plant health

METABÓLITOS SECUNDÁRIOS MICROBIANOS NO CONTROLE DE FITOPATÓGENOS

*Microbial secondary metabolites in the control of
phytopathogens*

Paula Fernanda de Azevedo
Giovanna Letícia Poltronieri da Silva
Leopoldo Sussumu Matsumoto

Considerações iniciais

Devido ao aumento da população mundial e, consequentemente, da demanda de produção de alimentos, cresceu a utilização de agroquímicos. O Brasil, na última década, aumentou gradativamente sua produtividade, sendo atualmente, o quarto maior produtor de grãos (EMBRAPA, 2021).

A elevada produtividade resultou em maior utilização de agroquímicos para prevenir ou controlar pragas, doenças e patógenos (SILVEIRO; PINHEIRO, 2019). Entretanto, a utilização crescente representa ameaças para o meio ambiente e para a qualidade da saúde humana. De 1992 a 2016 o uso de pesticidas foi de 1,3 para 2,57 kg ha⁻¹, o que totaliza um aumento de 197,69% (FAO, 2018).

Além da existência da utilização de agroquímicos proibidos comercialmente e utilizados muito acima dos limites estabelecidos, estes produzem efeitos tóxicos até mesmo em baixas concentrações (GONÇALVES; CESTARIZICHAR, 2019). O uso excessivo e inadequado desses produtos pode causar a morte dos componentes bióticos do solo, o que compromete tanto a sua sustentabilidade como a sua funcionalidade que é de extrema importância para a manutenção da biodiversidade e dinâmica dos seres vivos (CECHINEL, 2019).

A produção agrícola vem passando por processos de mudanças ao longo dos anos, principalmente, para maior

aceitação do consumidor, para redução dos impactos ambientais, para o aumento da produtividade e controle de doenças responsáveis por perdas econômicas. A segurança alimentar e a qualidade dos produtos também têm se tornado crescente preocupação da demanda nacional e internacional, situação que tem influenciado agricultores a buscarem práticas agrícolas de base ecológica (NUNES; NUNES; MARASCHIN, 2020).

As doenças causadas por fungos fitopatogênicos são umas das principais preocupações agrônômicas, pelo fato de selecionarem organismos resistentes, os quais podem sobreviver por grandes períodos no ambiente (GUSMÃO *et al.*, 2020). Dentre os microrganismos causadores de doenças em plantas, os fungos correspondem até 50% das perdas dos cultivos que são observados em países em desenvolvimento (MILAGRE, 2017).

Devido aos problemas e danos associados ao uso de agroquímicos, as pesquisas destinadas a encontrar biomoléculas microbianas com atividade antagonista têm aumentado significativamente (DEVEAU *et al.*, 2018). Através da bioprospecção que abrange a biodiversidade natural, a exploração e investigação de plantas, animais e microrganismos com finalidade de identificar princípios ativos úteis em diferentes áreas tem se intensificado (STROBEL; DAISY, 2003).

As relações entre bactérias e fungos vêm sendo investigadas há anos, sendo uma alternativa diante dos agroquímicos, pois são capazes de produzir substâncias antagonistas frente a outros organismos, podendo desempenhar papel de controle biológico nas lavouras, reduzindo os impactos ambientais (MORANDI *et al.*, 2009).

Segundo Maron; Mougel; Ranjard (2011), o conhecimento sobre a diversidade microbiana ainda é muito pequeno, comparado à riqueza desta classe, na qual exibe a maior amplitude de diversidade na Terra. Sendo assim, a descoberta do

potencial de novos microrganismos, suas atividades e funções é de extrema importância para o meio ambiente.

Produtos naturais derivados de microrganismos, já estão sendo amplamente utilizados na indústria, medicina e também na agricultura para diminuir o uso excessivo de produtos químicos (BERNAL, 2020). Assim, os metabólitos secundários produzidos por estes organismos possuem potencial uso como moléculas protótipos para o desenvolvimento de novos fármacos.

Cada espécie produz compostos naturais específicos em seu metabolismo secundário, na qual podem ter características distintas, desde funções fisiológicas quanto predatórias ou até mesmo de interação positiva entre os microrganismos (O'BRIEN; WRIGHT, 2011). Apresentam vantagens também em relação aos produtos sintéticos, pelo fato de serem produzidos em sistemas vivos, o que pode potencializar a sua interação com receptores biológicos (GANJHU *et al.*, 2015).

Bioprospecção

Através da bioprospecção pode-se extrair valor econômico por meio da biodiversidade, consistindo na busca sistemática por organismos, compostos, genes ou partes provenientes de seres vivos que tenham potencial econômico, levando ao desenvolvimento de um produto (SACCARO JÚNIOR, 2011). A bioprospecção também consiste na exploração de recursos naturais produzidos por microrganismos, plantas e animais, a fim de investigar princípios ativos úteis em diferentes áreas como na indústria farmacêutica, agrônômica e alimentícia (STROBEL; DAISY, 2003).

Embora o uso dos microrganismos traga benefícios para o homem, estima-se que menos de 10% das espécies microbianas existentes tenham sido descritas, na qual a diversidade e as relações entre os organismos ainda é um campo vasto a ser

explorado. O conhecimento sobre os ecossistemas microbianos e sua biodiversidade torna-se um dos focos principais da biotecnologia, visando a descoberta de novas funções benéficas dos microrganismos, na busca de soluções nas áreas de alimentos, saúde, meio ambiente, indústria e outras necessidades crescentes da população mundial (OLIVEIRA; SETTE; FANTINATTI-GARBOGGINI, 2006).

Interação fungo e bactéria

No solo encontra-se uma grande diversidade de microrganismos que estão em constante interação, principalmente, na rizosfera das plantas, pela grande quantidade de nutrientes secretados. A relação entre fungos e bactérias vem sendo estudada há muito tempo, posto desempenharem um papel fundamental no ecossistema, devido a interações comportamentais que podem contribuir para melhorar as atividades humanas em diversas áreas, como a utilização de seus subprodutos na agricultura, meio ambiente, biotecnologia e aplicações médicas (DEVEAU *et al.*, 2018).

Segundo Frey-Klett *et al.* (2011), existem mecanismos que mediam as interações, divididos em quatro classes, nas quais estão presentes, a antibiose envolvendo troca de metabólitos, a sinalização e quimiotaxia envolvendo detecção e conversão de metabólitos, alterações físico-químicas após adesão e, por fim, secreção de proteínas, estando essa relação intimamente ligada à troca de sinal, ou seja, dos metabólitos.

Estudos mostram que fungos e bactérias reagem diferentemente dependendo da presença do microrganismo com o qual interagem (TOMADA *et al.*, 2017); bem como a especificidade das ações subjacentes, na qual os sinais são altamente específicos, sendo liberados diretamente pela presença do parceiro de interação (DEVEAU *et al.*, 2018).

Mecanismos das interações antagonistas

Uma forma de controle alternativo de doenças é o controle biológico que possui como objetivo a redução da quantidade e da viabilidade do inóculo de um organismo patogênico ou de atividades determinantes da doença provocada por um fitopatógeno, sendo induzida por um ou mais organismos antagonistas ou estimuladores de resistência na planta (BLUM, 2007). Sendo um dos mecanismos envolvidos no controle biológico, o antagonismo, um tipo de interação onde existe a oposição por um organismo (antagonista) a outro (patógeno) (BROETTO, 2013).

Os mecanismos das interações antagonistas entre microrganismos patogênicos e antagonistas podem ser divididos em: antibiose, competição, parasitismo, predação, hipovirulência e indução de defesa do hospedeiro (BETTIOL, 1991). Um antagonista pode agir por meio de um ou mais mecanismos de interações, o que aumenta suas chances de sucesso.

O antagonismo é um tipo de relação existente entre agentes de biocontrole e os fitopatógenos e que vem sendo bastante estudado nos últimos anos (YANG *et al.*, 2020), por vários motivos, principalmente pelos problemas ambientais e de saúde humana decorrentes do uso indiscriminado de agroquímicos (GRIGOLETTI JÚNIOR; SANTOS; AUER, 2000).

De acordo com Leite *et al.* (1995), o principal mecanismo de resistência em plantas é a antibiose, também conhecida como amensalismo. Um tipo de interação desarmônica na qual indivíduos de uma população secretam substâncias que inibem o crescimento e desenvolvimento de outras espécies. Esse tipo de relação pode envolver disputa pela obtenção de recursos, que pode ser considerada um tipo de competição.

A competição é uma relação ecológica também desarmônica que pode ocorrer entre organismos de espécies diferentes (interespecíficas) e das mesmas espécies (intraespecíficas),

devido a concorrência por recursos do meio, como alimento, água, espaço físico e luminosidade.

Dessa forma, um exemplo são os microrganismos cavernícolas que por habitarem ambientes com baixas concentrações de nutrientes, são forçados a competir entre si para a obtenção de recursos à sua sobrevivência, podendo também criar rotas metabólicas alternativas para a produção de substâncias com propriedades antagônicas a outros microrganismos (ALMEIDA, 2018; MARQUES *et al.*, 2015).

Por outro lado, o parasitismo é um tipo de relação ecológica interespecífica e desarmônica, na qual um organismo (parasita) se associa a outro ser vivo (hospedeiro) com o objetivo de alimentar-se dele. Os hiperparasitas conseguem atacar as hifas e estruturas de reprodução e sobrevivência dos patógenos de planta, reduzindo, portanto, a infecção e o inóculo do patógeno (AZEVEDO *et al.*, 2021; BETTIOL, 1991).

Diante disso, Azevedo *et al.* (2021) observaram que o micélio do fungo *Trichoderma harzianum* cresce mais rápido que o do *Fusarium solani*, fazendo o biocontrole do mesmo pelo contato direto de suas hifas por micoparasitismo, demonstrando o comportamento antagonista pela diminuição do crescimento micelial do fitopatógeno diante da competição por nutrientes e espaço.

O predatismo configura-se por um tipo de interação ecológica interespecífica desarmônica, sendo estabelecida quando um ser vivo, por meio de sobrevivência, domina outro ser vivo para se manter vivo (DE JESUS; MANOEL; PANTOJA, 2019). Assim, os predadores conseguem obter seu alimento dos patógenos ou de outras fontes.

O comportamento antagonista pode ser observado também em *Trichoderma sp.*, na qual inclui principalmente os mecanismos de antibiose onde libera inibidores extracelulares compostos por gliotoxinas, parasitismo que engloba o contato

imediatamente com a produção e liberação de enzimas que degradam a parede celular do fungo parasitado e a competição por nutrientes e espaço (KIM; VUJANOVIC, 2016).

Os micovírus conseguem multiplicar-se somente em células de fungos, não possuem vetores conhecidos e causam nenhum ou pouco efeito sobre seus hospedeiros e diferencialmente, reduzem a capacidade do fungo de causar doença na cultura infectada, fenômeno intitulado hipovirulência, situação que possibilita a sua utilização no controle biológico de fungos fitopatogênicos (MILGROOM; HILLMAN, 2011; TURINA; ROSTAGNO, 2007).

A indução de defesa do hospedeiro por microrganismos ou seus metabólitos possui ação direcionada à planta hospedeira e não ao patógeno. Diversos microrganismos ou seus metabólitos podem induzir o hospedeiro a alterar seus mecanismos bioquímicos de resposta da planta com reflexos na expressão da resistência (BETTIOL, 1991).

Metabólitos secundários

O metabolismo contempla reações químicas que ocorrem nas células de todos os organismos, atendendo as necessidades primárias das células, como o crescimento celular e obtenção de energia através da síntese de ATP. Diferentemente, o metabolismo secundário compreende diversas reações anabólicas e catabólicas das estruturas celulares e, são derivados do metabolismo primário; sintetizam substâncias bioativas provenientes da adaptação e, evoluíram a tal ponto, que desenvolvem funções diferentes do metabolismo primário (CUNHA *et al.*, 2016; O'BRIEN; WRIGHT, 2011).

A produção de metabólitos secundários auxilia em diversas funções benéficas tanto para os organismos que os produzem quanto para o ambiente. Atuam na destruição de outros organismos desempenhando um papel químico e,

podem aumentar, da mesma forma, a taxa de sobrevivência de organismos produtores no ambiente (BERVANAKIS, 2008).

Plantas, insetos e microrganismos, possuem uma complexa interação com o ambiente onde vivem e podem produzir metabólitos secundários para auxiliar a sua sobrevivência frente a outros organismos. Esse tipo de controle biológico abre um grande espectro de aplicações (PUPO *et al.*, 2006; LAGE, 2011).

Os metabólitos secundários são componentes biologicamente ativos, sintetizados durante a fase estacionária, não tendo função essencial ao crescimento do organismo (FREIRE; VASCONCELOS; DE LIMA COUTINHO, 2014). São moléculas estruturalmente heterogêneas, com baixo peso molecular e, diferentemente dos metabólitos primários, não são diretamente necessários para manter o desenvolvimento do organismo (KENNEDY; WIGHTMAN, 2011).

Em sua composição podem conter enzimas, toxinas, antibióticos, vitaminas, fitormônios, ácidos, ésteres, fenóis e entre outros compostos (CATTELAN, 1999; RAMAMOORTHY *et al.*, 2001; NANDAKUMAR *et al.*, 2001; SCHLINDWEIN *et al.*, 2008), situação que possibilita sua ampla aplicação como matéria prima na preparação de substâncias com atividade biológica (DI STASI, 1996).

Os microrganismos são notáveis produtores de metabólitos secundários e também enzimas e sua escolha correta possibilita a sua produção em larga escala (GAUTAM; AZMI, 2017). Inúmeros estudos ressaltam a produção de compostos antifúngicos provenientes de bactérias, sendo esses compostos ativos biodegradáveis e menos nocivos ao meio ambiente (BENITEZ *et al.*, 2012).

Purificação de metabólitos

As técnicas de purificação são extremamente importantes para o desenvolvimento de compostos bioativos e vêm sendo muito estudadas para atingir e garantir esse objetivo. Ao considerar o custo dos bioprocessos, as estratégias de purificação somam aproximadamente 80% desses gastos (RUIZ *et al.*, 2012). Comumente a abordagem aplicada para a descoberta de novas moléculas a partir de microrganismos, abrange o cultivo destas bactérias em diferentes meios de cultura, a extração de metabólitos e a análise do extrato obtido (MILAGRE, 2017).

Para a análise do extrato de um biofungicida usualmente é realizado o método de inibição por difusão em ágar onde é avaliado o crescimento diário do micélio frente aos metabólitos bioativos em diferentes meios de cultura e os valores são utilizados para posterior cálculo do Índice de Velocidade de Crescimento Micelial (IVCM) e Porcentagem de Inibição (PIC) (OLIVEIRA, 1991; SILVA, 2011).

Quando estes resultados demonstram potencial de inibição, passa-se para uma análise mais detalhada que frequentemente envolve testes enzimáticos, voláteis, termoestabilidades, separação dos constituintes através de cromatografia que é um método físico-químico muito utilizado para separação de moléculas dependendo das características que possuem.

A técnica de cromatografia líquida clássica é comumente utilizada para purificação de compostos naturais onde apresenta bons resultados na separação e identificação de lipídeos, aminoácidos, proteínas, carboidratos, ácidos nucleicos, esteroides e outras moléculas bioativas (COSKUN, 2016).

Köhl *et al.* (2011) ressalta a importância de dar maior sustentação ao controle biológico e minimizar problemas, onde os antagonistas candidatos devem ser testados em

ensaios sob diferentes condições ambientais, permitindo avaliar aspectos positivos e negativos para determinar sua correta aplicação. Existe, também, uma necessidade atual de aprofundamento das técnicas e métodos de extração de metabólitos, assim como a caracterização do seu potencial biológico (SOUZA *et al.*, 2014).

Biofungicidas

A grande maioria das moléculas orgânicas que são produzidas por microrganismos são metabólitos secundários, os quais possuem diferentes estruturas químicas e atividades biológicas (BERVANAKIS, 2008). Podem ser compostos por lipídeos, peptídeos, carboidratos, policetídeos, terpenos, esteróides, alcalóides e entre outros (O'BRIEN; WRIGHT, 2011).

Os biofungicidas são uma alternativa para reduzir a utilização de fungicidas sintéticos e possuem origem natural, sendo um manejo alternativo visando manejos mais sustentáveis e maior produção (FALEIRO; ANDRADE; REIS JUNIOR, 2011). Podem ser desenvolvidos a partir de produtos de fungos e bactérias, capazes de fazer o controle dos fitopatógenos ((GÓMEZ DE LA CRUZ *et al.*, 2017)).

Além dos microrganismos, podem ser produzidos através de substâncias provenientes de plantas ou pesticidas bioquímicos, compostos que ocorrem naturalmente e controlam pestes por mecanismos não-tóxicos (MILAGRE, 2017). Os biopesticidas apresentam vários benefícios como listados por Gupta e Dikshit (2010), na Tabela 1.

Os biofertilizantes, além de sua atividade como fertilizantes para o desenvolvimento vegetal, também podem apresentar capacidade de suprimir patógenos, por meio do aumento da diversidade e abundância dos microrganismos benéficos onde competem com os fitopatógenos por nichos similares, podendo produzir moléculas antimicrobianas que

apresentam potencial de biocontrole (ARAÚJO *et al.*, 2002; TIMMUSK *et al.*, 2009; WU *et al.*, 2009).

Os biofertilizantes são basicamente produtos da decomposição de compostos orgânicos, contendo células vivas ou latentes de microrganismos. Podem ser preparados a partir da digestão anaeróbia (sistema fechado) ou aeróbia (sistema aberto) de materiais orgânicos e minerais, tendo em vista maior disponibilidade de nutrientes e de microrganismos. A composição química do biofertilizante pode variar diante de vários fatores como o método de preparo, o tempo de decomposição, a população microbiológica, temperatura e pH do composto, bem como o material que o origina (MARROCOS *et al.*, 2012).

Tabela 1 - Benefícios dos biopesticidas

Fatores	Benefícios dos Biopesticidas
Custo	Mais caro, mas número de aplicações reduzido
Persistência e efeito residual	Baixa e maior parte biodegradável
Ressurgimento da peste	Menor frequência
Resistência	Menor propensão
Efeitos na flora benéfica	Menores efeitos
Especificidade de alvo	Mais específico para o hospedeiro
Natureza do controle	Preventivo
Vida de prateleira	Menor

Fonte: Gupta e Dikshit (2010); Milagre (2017)

De acordo com Palmieri *et al.* (2017), a composição microbiana dos biofertilizantes é importante diante de seu desempenho para a supressão das doenças, a qual está intimamente relacionada com a diminuição da comunidade microbiana do solo. Assim, a reintegração da microbiota pela aplicação do biofertilizante com a presença de microrganismos, auxilia na degradação da matéria biológica do solo e disponibiliza nutrientes para as plantas (BHARDWAJ *et al.*, 2014).

Marques *et al.* (2021) observaram que a aplicação de biofertilizante é capaz de aumentar a comunidade bacteriana epifítica em citros, onde os fixadores de nitrogênio foram encontrados em maior quantidade e o número de bactérias totais foi expressivamente maior nas áreas em que o produto foi aplicado, seja em plantas saudias, assintomáticas ou sintomáticas quanto a presença de *Candidatus Liberibacter spp.*, bactéria causadora da doença Huanglongbing (HLB), a mais grave para a citricultura.

Trabalho realizado por Azevedo *et al.* (2021) avaliou diferentes concentrações de biofertilizante esterilizado e não esterilizado sobre o controle *in vitro* do fungo *Fusarium solani*, responsável pela podridão radicular em mandioca. Foi observado que o produto esterilizado não promoveu o biocontrole. Entretanto, o biofertilizante não esterilizado a partir da concentração de 2,5%, foi responsável pela inibição do crescimento micelial e redução na germinação dos esporos de *F. solani*, em função da atividade antagonista da população microbiana presente no produto.

Fungos fitopatogênicos

Os fungos constituem o maior grupo de organismos fitopatogênicos, sendo organismos saprofiticos presentes no solo, plantas e matérias em decomposição (ARAÚJO *et al.*, 2018). As doenças de plantas que causam, levam a perdas na produção de inúmeras culturas, reduzindo sua produtividade, podendo atacar desde o início do ciclo da cultura até o final, com redução da rentabilidade econômica (BRUM *et al.*, 2014; BRAGA JUNIOR *et al.*, 2017).

Por esta razão, a maioria dos produtores escolhem usar antifúngicos sintéticos em aplicação contínua e a longo prazo, o que pode selecionar organismos resistentes ocasionando impactos negativos ao ambiente e à saúde do homem

(HAWKINS *et al.*, 2018). Nesse sentido, a indústria impulsionou suas pesquisas para descobrir novos princípios ativos e formulações (COUTINHO, 1996).

A comercialização de fungicidas no Brasil tem apresentado aumento nos últimos anos, o que reforça a relevância do controle de fitopatógenos e a necessidade de manejos alternativos que visam a menor degradação do meio ambiente (HAWKINS *et al.*, 2018).

As perdas acarretadas pelos fungos fitopatogênicos podem variar de 25% a 50% nos países ocidentais, situação que mostra a importância do controle dessas doenças (GOHEL *et al.*, 2006; SHRIVASTAVA; KUMAR; YANDIGERI, 2017). Entre os principais fungos causadores de doenças encontram-se: *Fusarium solani*, *Macrophomina phaseolina*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Colletotrichum truncatum*, *Pkakopsora pachyrhizi* e *Corynespora cassiicola* (CHAYAKULKEEREE; PERFECT, 2006; BENETTI *et al.*, 2010; YANG *et al.*, 2020; ITO, 2013).

Principais gêneros ou grupos de bactérias antagonistas

Os gêneros de bactérias antagonistas de maior prevalência são as *Pseudomonas* do grupo fluorescentes (*P. putida* e *P. fluorescens*), *Bacillus* spp., *Streptomyces* spp. e representantes do grupo *Enterobacteriaceae* (SILVA *et al.*, 2008). As bactérias do gênero *Pseudomonas* do grupo fluorescentes podem ser utilizadas na inoculação, com o propósito de bioproteção, controlando microrganismos patogênicos presentes na rizosfera (COELHO, 2006).

São caracterizadas pela sua versatilidade, pois são capazes de sintetizar uma grande quantidade de produtos de interesse industrial, como enzimas, piocianina, homoserina lactonas, compostos tensoativos (viscosina, ramnolipídios),

exopolissacarídeos e polímeros de estoque intracelular (polihidroxialcanoatos-PHAs) (COSTA, 2010).

O gênero *Bacillus* foi descrito pela primeira vez por Cohn (1872) e compreende um grupo de espécies filogenéticas e fenotipicamente heterogêneas. Estes microrganismos estão sendo amplamente estudados ao longo dos anos com finalidades industriais e agrícolas. Essas bactérias são extensamente distribuídas em diversos habitats, que compreendem ecossistemas aquáticos, solos e plantas (HERNÁNDEZ; BADÍA; PÉREZ, 2011).

São conhecidas por apresentarem potencial antagonista contra fitopatógenos, atuantes principalmente, na produção de produtos químicos inibitórios, competição por substrato e indução de resistência sistêmica (DORIGHELLO *et al.*, 2020). Vale resgatar que, o antagonismo considera como uma característica adequada, apresentar mais de um mecanismo de ação, aumentando assim, as chances de sucesso (ISAIAS *et al.*, 2014).

Além disso, as espécies de *Bacillus* possuem a capacidade de formar endósporos resistentes, o que facilita a sua produção e armazenamento por longos períodos (SANTOYO; SÁNCHEZ-YÁNEZ; VILLALOBOS, 2019), além de produzirem uma ampla diversidade de tipos fisiológicos, com capacidades de degradar substratos derivados de plantas e animais, incluindo amido, pectina, celulose, proteínas, hidrocarbonetos e entre outros (HERNÁNDEZ; BADÍA; PÉREZ, 2011).

O gênero *Streptomyces* caracteriza-se como um grupo de bactérias aeróbicas, gram-positivas, que apresenta crescimento semelhante ao de fungos filamentosos. São conhecidas mais de 500 espécies de *Streptomyces*, frequentemente encontradas no solo, porém, algumas espécies podem ser encontradas em ambientes aquáticos (TORTORA; FUNKE; CASE, 2012).

As bactérias do gênero *Streptomyces* são notáveis precursoras de produtos bioativos, descritas na literatura por apresentarem atividades antifúngicas, antiviral, antioxidante, antiparasitárias, anticancerígena e, a partir de seus metabólitos secundários são produzidos mais de 85% dos antibióticos não sintéticos (SAURAV; KANNABIRAN, 2012).

Considerações finais

Existem diversos fatores bióticos e abióticos que podem afetar negativamente as culturas agrícolas, como secas, inundações, solos degradados e fitopatógenos (ALBORES *et al.*, 2021). Para solucionar alguns destes problemas, tornou-se comum a aplicação de agroquímicos nos solos e nos cultivos, porém, essa prática pode ocasionar a degradação do solo a partir do acúmulo de elementos e compostos tóxicos indesejáveis (RAMALHO; AMARAL; VELLOSO, 2000).

Com a expansão agrícola e a utilização extensiva de sistemas de monoculturas ocorreu um aumento na incidência de pragas, pela redução de inimigos naturais e abundância de alimentos (BAUDET; PESKE, 2006). Agroquímicos podem ser extremamente persistentes no ambiente onde alguns, podem ser encontrados após anos de sua aplicação (IBAMA, 1990).

Dentre os problemas ocasionados pelo seu uso exorbitante, existe a poluição do ambiente terrestre, aquático e atmosférico, com efeitos sobre organismos não alvos e com a seleção de organismos alvos resistentes (ALMEIDA; PETERSEN; CORDEIRO, 2001). A poluição da água subterrânea e do solo resulta em deficiências nutricionais e improdutivas (YOON *et al.*, 2013).

Algumas moléculas dispostas nos ingredientes ativos dos produtos comerciais favorecem o surgimento de doenças iatrogênicas e a escassez de componentes biológicos de ordem benéfica no solo e no ecossistema geral (BETTIOL; GHINI, 2003).

Estima-se que nos países em desenvolvimento mais de 800 milhões de pessoas não possuem alimentos adequados para o consumo, devido ao aumento significativo de aplicação de fertilizantes aliado ao grande número de perdas ocasionadas por fitopatógenos (STRANGE; SCOTT, 2005; COSTA *et al.*, 2017).

Com o aumento gradativo na produtividade no Brasil, com vistas ao retorno econômico imediato, o controle de fungos fitopatogênicos é de extrema importância, visto que os fungos possuem estruturas de resistência que os tornam de difícil controle (GARCIA *et al.*, 2012).

O desenvolvimento de alternativas para reduzir os impactos ambientais e custos de produção tem se tornado uma necessidade, por isso, a utilização de microrganismos capazes de promover o crescimento, proteção e melhora na absorção tem ganhado grande espaço (RATZ *et al.*, 2017).

Em resposta a estas inúmeras dificuldades, a alternativa ecologicamente mais favorável é a utilização de biopesticidas, sendo comumente utilizados microrganismos (MILAGRE, 2017), pois causam menos danos ao meio ambiente e a população, além de afetarem apenas o alvo ou, algumas vezes, mais de um organismo alvo (AL-SAMARRAI; SINGH; SYARHABIL, 2012).

Neste cenário, o controle biológico possui um papel fundamental, trazendo manejos alternativos e mais sustentáveis ao meio ambiente, assim como a pesquisa de alternativas naturais na busca de organismos com ação antagonista capazes de se comportar como biofungicidas. Desta maneira, a bioprospecção de biomoléculas destaca-se como grande potencial biotecnológico entre os biofungicidas.

Outra alternativa promissora para a supressão de uma doença é a manipulação das características físicas, químicas e microbiológicas do solo por meio de práticas de manejo que

enriquecem a biodiversidade e a atividade microbiana do solo, criando um ambiente deletério ao fitopatógeno (BARROS *et al.*, 2014). Nesse contexto, os fertilizantes biológicos servem não apenas como complemento da nutrição mineral, mas também para restaurar a biodiversidade microbiana do solo (BHARDWAJ *et al.*, 2014).

Referências

ALBORES, L. C. C.; MOLINA, Z. L. X.; ALISTAC, A. N. A.; RUÍZ, V. V.; MARTÍNEZ, N. E. C.; COTA, F. I. P.; CANUL, Y. Y. B.; DÍAZ, I. F. C.; FRANCO, M. L. F.; VILLALOBOS, S. V. Potencial das ciências ômicas na bioprospecção de agentes de controle biológico microbiano: o caso da agro-biotecnologia mexicana. **Mexican Journal of Phytopathology**, v. 39, n. 1, p. 147-184, 2021.

ALMEIDA, A. C. **Bioprospecção de biomoléculas com ação inibitória sobre fungos fitopatogênicos**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia). Universidade Estadual do Norte do Paraná, Campus Luiz Meneghel, Bandeirantes, 2018, 46 p.

ALMEIDA, S. G.; PETERSEN, P.; CORDEIRO, Â. **Crise socioambiental e conversão ecológica da agricultura brasileira**: subsídios à formulação de diretrizes ambientais para o desenvolvimento agrícola. AS-PTA, 2001, 121 p.

AL-SAMARRAI, G.; SINGH, H.; SYARHABIL, M. Evaluating eco-friendly botanicals (natural plant extracts) as alternatives to synthetic fungicides. **Annals of Agricultural and Environmental Medicine**, v. 19, n. 4, p. 673-676, 2012.

ARAÚJO, I. C. D. S.; FERREIRA, R. L. P. S.; MACEDO, A. T.; SANTOS, J. C. B.; SANTOS, J. A. R. Resistência cruzada entre agrotóxicos e antifúngicos de uso clínico contra *Cryptococcus neoformans*. **Revista Ceuma Perspectivas**, v. 30, n. 2, p. 66-74, 2018.

ARAÚJO, W. L.; MARCON, J.; MACCHERONI, W.; VAN ELSAS, J. D.; VAN VUURDE, J. W. L.; AZEVEDO, J. L. Diversity of Endophytic Bacterial Populations and Their Interaction with *Xylella fastidiosa* in Citrus Plants. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 68, n. 10, p. 4906-4914, 2002.

AZEVEDO, P. F.; ALMEIDA, A. C.; MARQUES, R. D.; COSTA, C. L.; BENEDETTI, A. R.; LESCANO, L. E. A. M.; CARVALHO, M. C. C. G.; MATSUMOTO, L. S. In vitro inhibition of *Fusarium solani* by *Trichoderma harzianum* and biofertilizer. **Research, Society and Development**, v.10, n.3,p. e5210312994-e5210312994 2021.

BARROS, J. A.; MEDEIROS, E. V.; NOTARO, K. A.; MORAES, W. S.; SILVA, J. M.; NASCIMENTO, T. C. E. S.; MOREIRA, K. A. Different cover promote sandy soil suppressiveness to root rot disease of cassava caused by *Fusarium solani*. **African Journal of Microbiology Research**, v. 8, n. 10, p. 967-973, 2014.

BAUDET, L.; PESKE, F. Aumentando o desempenho das sementes. Ed. **Seed News**, Pelotas, v. 9, n. 5 p. 22-24, 2007.

BENETTI, S. C.; SANTOS, Á. F.; MEDEIROS, A. C. S.; JACCOUD FILHO, D. S. Levantamento de Fungos em Sementes de Cedro

e Avaliação da Patogenicidade de *Fusarium sp.* e *Pestalotia sp.*
Pesquisa Florestal Brasileira, n. 58, p. 81-85, 2010.

BENITEZ, L. B.; VELHO, R. V.; MOTTA, A. S.; SEGALIN, J.; BRANDELLI, A. Antimicrobial factor from *Bacillus amyloliquifaciens* inhibits *Paenibacillus larvae*, the causative agent of american foulbrood. **Archives of Microbiology**, v. 194, n. 3, p. 177-185, 2012.

BERNAL, S. P. F. **Avaliação do potencial Biotecnológico de bactérias e fungos isolados de uma estação de tratamento de Indústria Têxtil**. 135 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2020.

BERVANAKIS, G. **Detection and Expression of Biosynthetic Genes in Actinobacteria**. A thesis submitted for the degree of Masters of Science, Flinders University, 2008.

BETTIOL, W. **Controle biológico de doenças de plantas**. Jaguariúna. Embrapa- CNPDA. p. 406, 1991.

BETTIOL, W.; GHINI, R. Proteção de plantas em sistemas agrícolas alternativos. In: CAMPANHOLA, C.; BETTIOL, W (Eds.) **Métodos alternativos de controle fitossanitário**. Jaguariúna. Embrapa Meio Ambiente. p. 79-95, 2003.

BHARDWAJ, D.; ANSARI, M. W.; SAHOO, R. K.; TUTEJA, N. Biofertilizers function as key player in sustainable agriculture by improving soil fertility, plant tolerance and crop productivity. **Microbial cell factories**, v. 13, n. 1, p. 1-10, 2014.

BLUM, L. E. Conceitos sobre resistência de plantas às doenças. In: BLUM, L. E. B.; CARES, J. E.; UESUGI, C. H. **Fitopatologia: O estudo das doenças de plantas**. Brasília: Otimismo, 2 ed. p. 249-260, 2007.

BRAGA JUNIOR, G. M.; CHAGAS JUNIOR, A. F.; CHAGAS, L.F.B.; CARVALHO FILHO, M. R.; MILLER, L. O.; SANTOS, G. R. Controle biológico de fitopatógenos por *Bacillus subtilis* in vitro. **Biota Amazônia**, [S.I.], v. 7, n. 3, p. 45-51, set. 2017.

BROETTO, L. **Antagonismo a *Macrophomina phaseolina* e promoção do crescimento em feijoeiro mediados por *Trichoderma spp.*** Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, p. 1-61, 2013.

BRUM, R. B. C. S.; DE CASTRO, H. G.; CARDON, C. H.; PEREIRA, A. S.; CARDOSO, D. P.; DOS SANTOS, G. R. Atividade antifúngica de óleos essenciais sobre fungos fitopatogênicos. **Magistra**, v. 26, n. 3, p. 361-371, 2014.

CATTELAN, A. J. **Métodos qualitativos para determinação de características bioquímicas e fisiológicas associadas com bactérias promotoras de crescimento vegetal**. Londrina: Embrapa Soja, p. 36, 1999.

CECHINEL, L. **Isolamento de fungos a partir de solo com uso intenso de agroquímicos, visando a biorremediação**. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Gestão Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2019.

CHAYAKULKEEREE, M.; PERFECT J.R. Cryptococcosis. **Infectious Diseases Clinics of North America**, v. 20, n. 3, p. 507-544, 2006.

COELHO, L. F. **Interação de *Pseudomonas spp.* e de *Bacillus spp.* com diferentes rizosferas**. Instituto Agronômico – IAC, Campinas – SP, p. 71, 2006.

COHN, F. **Beitragre zur Biologie der Pflanzen**, 1. ed. Berlin: Duncker & Humblot. 1872. 224p.

COSKUN, O. Separation Tecniques: Chromatography. **Northern Clinics of Istanbul**, v. 3, n. 2, p. 156-160, 2016.

COSTA, N. C.; CHAGAS JUNIOR, A. F.; RAMOS, A. C. C.; SOARES, L. P.; SCHEIDT, G. N. Atividade antimicrobiana e análise fitoquímica preliminar do extrato vegetal de alho no controle de fungos fitopatogênicos. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 12, n. 1, p. 161-166, 2017.

COSTA, S. G. V. A. D. O. **Estudo da produção de metabólitos por *Pseudomonas aeruginosa*: Ramnolipídios e Polihidroxicanoatos (PHAs)**. Doutorado em Ciências Biológicas -Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro, p. 1-138, 2010.

COUTINHO, H. L. C. **Diversidade Microbiana e Agricultura Sustentável** [online]. CNPS/EMBRAPA.1996. Disponível em: <<http://www.bdt.org.br/~marinez/padct.bio/cap9/1/heitor.html>>. Acesso em: 11 jun. 2021.

CUNHA, A. L.; MOURA, K. S.; BARBOSA, J. C.; SANTOS, A. F. Os metabólitos secundários e sua importância para o organismo. **Diversitas Journal**, v. 1, n. 2, p. 175-181, 2016.

DE JESUS, V. S.; MANOEL, F. C. P.; PANTOJA, C. E. **Protocolo de interação entre SMA embarcados bio-inspirado na relação de predatismo**. Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET/RJ), Universidade Federal Fluminense (UFF), 2019. Disponível em: < https://gsigma.ufsc.br/wesaac2019/paper/WESAAC_2019_paper_24.pdf>. Acesso em: 11 jul. 2021.

DEVEAU, A.; BONITO, G.; UEHLING, J.; PAOLETTI, M.; BECKER, M.; BINDSCHEDLER, S.; HACQUARD, S.; HERVÉ, V.; LABBÉ, J.; LASTOVETSKY, O. A.; MIESZKIN, S.; MILLET, L. J.; BALÁZS, V.; JUNIER, P.; BONFANTE, P.; KROM, B. P.; OLSSON, S.; ELSAS, J. D.; WICK, L. Y. Bacterial–fungal interactions: ecology, mechanisms and challenges. **FEMS Microbiology Reviews**, v. 42, n. 3, p. 335-352, 2018.

DI STASI, L.C. **Plantas medicinais: arte e ciência**. Um guia de estudo interdisciplinar. Editora da Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 1996. 229p.

DORIGHELLO, D. V.; FORNER, C.; CAMPOS, R. M. V. B.; BETTIOL, W. Management of Asian soybean rust with *Bacillus subtilis* in sequential and alternating fungicide applications. **Australasian Plant Pathology**, v. 49, n.1, p. 79-86, 2020.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). **Brasil é o quarto maior produtor de grãos e o maior exportador de carne bovina do mundo, diz**

estudo. 2021. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/62619259/brasil-e-o-quarto-maior-produtor-de-graos-e-o-maior-exportador-de-carne-bovina-do-mundo-diz-estudo>>. Acesso em: 13 jun. 2021.

FALEIRO, F. G.; ANDRADE, S. R. M.; REIS JUNIOR, F. B. **Biotecnologia: estado da arte e aplicações na agropecuária.** Planaltina, DF, Embrapa Cerrados, 2011, 730 p.

FAO. The **Future of Food and Agriculture: Alternative Pathways to 2050.** Short Version. Roma. p. 64, 2018. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/CA1553ES/ca1553es.pdf>>. Acesso: 8 jun. 2021.

FREIRE, F. C. O.; VASCONCELOS, F. R.; DE LIMA COUTINHO, I. B. Fungos endofíticos: uma fonte de produtos bioativos de importância para a humanidade. **Essentia-Revista de Cultura, Ciência e Tecnologia da UVA**, v. 16, n. 1, p. 61- 102, 2014.

FREY-KLETT P.; BURLINSON, P.; DEVEAU, A.; BARRET, M.; TARKKA, M.; SARNLQUET, A. Bacterial-Fungal interactions: hyphens between agricultural, clinical, environmental, and food microbiologists. **Microbiol Mol Biol Rev**, v. 75, n. 4, p. 583-609, nov. 2011.

GANJHU, R. K.; MUDGAL, P. P.; MAITY, H.; DOWARHA, D.; DEVADIGA, S.; NAG, S.; ARUNKUMAR, G. Herbal plants and plant preparations as remedial approach for viral 83 diseases. **Virus Disease**, v. 26, n. 4, p. 225-236, 2015.

GAUTAM, M.; AZMI, W. Screening and Isolation of Collagenase Producing Microorganism from Proteins Waste Found in

Himalayan Region. **Journal of Applied Biotechnology Reports**, v. 4, n. 1, p. 558-565, 2017.

GARCIA, R. A.; JULIATTI, C. F.; BARBOSA, K. A. G.; CASSEMIRO, T. A. Atividade antifúngica de óleo e extratos vegetais sobre *Sclerotinia sclerotiorum*. **Bioscience journal (Online)**, v. 28, n.1, p.48-57, 2012.

GOHEL, V.; SINGH, A.; VIMAL, M.; ASHWINI, P.; CHHATPAR, H. S. Bioprospecção e potencial antifúngico de microrganismos quitinolíticos. **African Journal of Biotechnology**, v. 5, n. 2, p. 54-72, 2006.

GÓMEZ DE LA CRUZ, I.; PÉREZ-PORTILLA, E.; ESCAMILLA-PRADO, E.; MARTÍNEZ-BOLAÑOS, M.; LUZ L. CARRIÓN-VILLARNOVO, G. I.; HERNÁNDEZ-LEAL, T. Selección in vitro de micoparásitos con potencial de control biológico sobre Roya del café (*Hemileia vastatrix*). **Revista Mexicana de Fitopatología**, Cidade do México (Mex), v. 36, n. 1; p. 172-183, 2017.

GONÇALVES, J. B.; CESTARIZYCHAR, B. Utilização de agrotóxicos, consumo de alimentos com os agroquímicos e seus efeitos sobre o sistema endócrino. **InterfaceHS**, v. 14, n. 2, p. 86-95, 2019.

GRIGOLETTI JÚNIOR, A.; SANTOS, A. F.; AUER, C. G. Perspectivas do uso do controle biológico contra doenças florestais. **Revista Floresta**, v. 30, p. 155-165, 2000.

GUPTA, S.; DIKSHIT, A. K. Biopesticides: An ecofriendly approach for pest control. **Journal of Biopesticides**, v. 3, n. 1, p. 186-188, 2010.

GUSMÃO, D. E.; CHAVES, P.; MATIAS, R.; PEDRINHO, D. R.; PEREIRA, S. R.; CORRÊA, B. O. Avaliação do Efeito do Extrato Etanólico de *Piper umbellatum* L. no Controle Alternativo de *Rhizoctonia solani* e *Macrophomina phaseolina*. **Ensaios e Ciência Biológicas Agrárias e da Saúde**, v. 24, n. 5, p. 516-522, 2020.

HAWKINS, N. J.; BASS, C.; DIXON, A.; NEVE, P. The evolutionary origins of pesticide resistance. **Biological Reviews**, v. 94, n. 1, p. 135-155, 2018.

HERNÁNDEZ, B. T.; BADÍA, M. M. R.; PÉREZ, M. H. Potencialidades do gênero *Bacillus* na promoção do crescimento vegetal e no controle biológico de fungos fitopatogênicos. **Revista CENIC. Ciências Biológicas**, v. 42, n. 3, p. 131-138, 2011.

ISAIAS, C. O.; MARTINS, I.; SILVA, J. B. T. D.; SILVA, J. P. D.; MELLO, S. C. M. D. Ação antagônica e de metabólitos bioativos de *Trichoderma spp.* contra os patógenos *Sclerotium rolfsii* e *Verticillium dahliae*. **Summa Phytopathologica**, v. 40, n. 1, p. 34-41, 2014.

ITO, M. F. Principais doenças da cultura da soja e manejo integrado. **Nucleus**, v. 10, n. 3, p. 83-101, 2013.

KENNEDY, D. O. D.; WIGHTMAN, E. E. L. Herbal extracts and phytochemicals: plant secondary metabolites and the enhancement of human brain function. *Advances in Nutrition: An International Review Journal*, v. 2, n.1, p. 32-50, 2011.

KIM, S. H.; VUJANOVIC, V. Relationship between mycoparasites lifestyles and biocontrol behaviors against *Fusarium*

spp. and mycotoxins production. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 100, n. 12, p. 5257-5272, 2016.

KÖHL, J.; POSTMA, J.; NICOT, P.; RUOCCO, M.; BLUM, B. Stepwise screening of microorganisms for commercial use in biological control of plant pathogenic fungi and bacteria. **Biological Control**, v. 57, n. 1, p. 1-12, 2011.

LAGE, G. A. **Isolamento, identificação química e bio-prospecção de metabólitos secundários nas folhas de *Annona crassiflora* Mart.** 108 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, p.108, 2011.

LEITE, G. L. D.; PICANÇO, M.; SILVA, D. D.; MATA, A. D.; JHAM, G. N. Distribuição de oviposição de Scrobipalpuloidea absoluta no dossel de *Lycopersicon esculentum*, *L. hirsutum* e *L. peruvianum*. **Horticultura Brasileira**, v. 13, n. 1, p. 47-51, 1995.

MARON, P-A.; MOUGEL, C.; RANJARD, L. Soil microbial diversity: methodological strategy, spatial overview and functional interest. **Comptes rendus biologies**, v. 334, n. 5-6, p. 403-411, 2011.

MARQUES, E. L. S.; CORREIA, D. C.; OLIVEIRA, R. B. F.; SILVA, K. B.; DIAS, J. C. T.; PIROVANI, C. P.; REZENDE, R. P. Potencial biotecnológico de microrganismos isolados de cavernas de Paripiranga, Bahia. In: RASTEIRO, M. A.; SALLUN FILHO, W. (orgs.) Congresso Brasileiro de Espeleologia, 33, 2015. Eldorado. **Anais...** Campinas: SBE, p. 161-168, 2015. Disponível em: <http://www.cavernas.org.br/anais33cbe/33cbe_161-168.pdf>. Acesso em: 11 jul. 2021.

MARQUES, R. D.; AZEVEDO, P. F.; SAUER, A. V.; MATSUMOTO, L. S. Comunidades epifíticas em citros associadas ao huanglongbing em áreas com e sem aplicação de biofertilizante. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 3, p.1-6, 2021.

MARROCOS, S. T. P.; JUNIOR, J. N.; GRANGEIRO, L. C.; AMBROSIO, M. M. Q.; CUNHA, A. P. A. Composição química e microbiológica de biofertilizantes em diferentes tempos de decomposição. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n. 4, p. 34-43, 2012.

MILAGRE, L. P. **Caracterização de metabólitos secundários produzidos por isolados do gênero *Streptomyces* com atividade contra fungos fitopatogênicos**. 67 f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola e do Ambiente) – Instituto de Ciências Básicas da Saúde, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2017.

MILGROOM, M.G.; HILLMAN, B.I. The ecology and evolution of fungal viruses. In: HURST, D. J. (ed.). **Studies in viral ecology: microbial and botanical host systems**, v. 1. New Jersey: Wiley-Blackwell, p. 658, 2011.

MORANDI, M. A. B.; PAULA JUNIOR, T. J.; BETTIOL, W.; TEIXEIRA, H. **Controle biológico de fungos fitopatogênicos**. Embrapa Meio Ambiente – Artigo em periódico indexado, 2009.

NANDAKUMAR, R.; BABU, S.; VISWANATHAN, R.; RAGUCHANDER, T.; SAMIYAPPAN, R. Induction of systemic resistance in rice against sheath blight disease by

Pseudomonas fluorescens. **Soil Biology and Biochemical**
v. 33, n. 5 p. 603-612, 2001.

NUNES, A.; NUNES, K.; MARASCHIN, M.; Agroecologia versus Agronegócio: a resistência do cultivo sustentável no país que mais utiliza agrotóxicos. **Cadernos de Agroecologia**, v. 15, n. 4, 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). **Manual de testes para avaliação da ecotoxicidade de agentes químicos**. 2.ed. Brasília, 1990. 181p.

O' BRIEN, J.; WRIGHT, G. D. An ecological perspective of microbial secondary metabolism. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 22, n.4, p. 552-558, 2011.

OLIVEIRA, J. A. Efeito do tratamento fungicida em sementes e no controle de tombamento de plântulas de pepino (*Cucumis sativus L.*) e pimentão (*Capsicum annum L.*). **Dissertação de Mestrado**, Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1991.

OLIVEIRA, V. M.; SETTE, L. D.; FANTINATTI-GARBOGGINI, F. Preservação e prospecção de recursos microbianos. **Multiciência: Revista Interdisciplinar dos Centros e Núcleos da Unicamp**, n. 7, p. 1-19, 2006.

PALMIERI, D.; VITULLO, D.; DE CURTIS, F.; LIMA, G. A microbial consortium in the rhizosphere as a new biocontrol approach against *fusarium* decline of chickpea. **Plant and soil**, v. 412, n. 1-2, p. 425-439, 2017.

PUPO, M. T.; GUIMARAES, D. O.; FURTADO, N. A. J. C.; BORGES, W. S. Microbial natural products: a promising source of bioactive compounds. In: TAFT, C. A. **Modern Biotechnology in Medicinal Chemistry and Industry**, p. 51-78, 2006.

RAMALHO, J. F. G. P.; AMARAL, S. N. M. B.; VELLOSO, A. C. X. Contaminação da microbacia de Caetés com metais pesados pelo uso de agroquímicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 7, p. 1289-1303, 2000.

RAMAMOORTHY, V.; VISWANATHAN, R.; RGGUCHANDER, T.; PRACKASAM, V.; SAMIYAPPAN, R. Induction of systemic resistance by plant growth promoting rhizobacteria in crop plants against pests and diseases. **Crop Protection**, v. 20, n. 1, p. 1-11, 2001.

RATZ, R. J.; PALÁCIO, S. M.; ESPINOZA-QUIÑONES, F. R.; VICENTINO, R. C.; MICHELIM, H. J.; RICHTER, L. M. Potencial biotecnológico de rizobactérias promotoras de crescimento de plantas no cultivo de milho e soja. **ENGEVISTA**, v. 9, n. 4, p. 890-905, 2017.

RUIZ R., F.; BENAVIDES, J.; AGUILAR, O.; RITO-PALOMARES, M. Aqueous two-phase affinity partitioning systems: current applications and trends. **Journal of Chromatography A**, v. 1244, p. 1-13, 2012.

SACCARO, J. R. N. L. A regulamentação de acesso a recursos genéticos e repartição de benefícios: disputas dentro e fora do Brasil. **Ambiente & Sociedade**, v. 14, n. 1, p. 229-244, 2011.

SANTOYO, G.; SÁNCHEZ-YÁÑEZ, J. M.; VILLALOBOS, S. S. Métodos para detectar biocontrole e características de promoção de crescimento de plantas em Rhizobacteria. *In*: REINHARDT, D.; SHARMA, A. K. **Methods in rhizosphere biology research**. Springer, Singapura, 2019. 149 p.

SAURAV, K.; KANNABIRAN, K. Citotoxicidade e atividade antioxidante de 5- (2,4-dimetilbenzil) pirrolidin-2-ona extraída de *Streptomyces* marinhos VITSVK5 spp. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 19, n. 1, p. 81-86, 2012.

SCHLINDWEIN, G.; VARGAS, L. K.; LISBOA, B. B.; AZAMBUJA, A. C.; GRANADA, C. E.; GABIATTI, N. C.; PRATES, F.; STUMPF, R. Influência da inoculação de rizóbios sobre a germinação e o vigor de plântulas de alface. **Ciência Rural**, v. 38, n. 3, p. 658-664, 2008.

SHRIVASTAVA, P.; KUMAR, R.; YANDIGERI, M. S. In vitro biocontrol activity of halotolerant *Streptomyces aureofaciens* K20: A potent antagonist against *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. **Saudi journal of biological sciences**, v. 24, n. 1, p. 192-199, 2017.

SILVA, J. C. R.; SOUZA, R. M.; ZACARONE, A. B.; SILVA, L. H. C. P.; CASTRO, A. M. S. Bactérias endofíticas no controle e inibição in vitro de *Pseudomonas syringae* pv. tomato, agente da pinta bacteriana do tomateiro. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 4, p. 1062-1072, 2008.

SILVA, A. N. **Efeito de produtos químicos de *Trichoderma spp.* no controle de *Fusarium solani* do maracujazeiro**. Dissertação Mestrado, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2011.

SILVERIO, A. M.; PINHEIRO, P. B. A Biociência dos agrotóxicos e seu impacto na saúde. **Revista Ouricuri**, v. 9, n. 2, p. 16-33, 2019.

SOUZA, D. K.; LIMA, R. A.; DOMINGUES, C. A.; PEDROSO, L. A.; FACUNDO, V. A.; GAMA, F. C.; ALVES, M. R. Potencial fungicida do extrato etanólico obtido das sementes de *Pachira aquática* Aubl. sobre *Fusarium sp.* **Ciência e Natura**, v. 36, n. 2, p. 114-119, 2014.

STRANGE, R. N.; SCOTT, P. R. Plant disease: a threat to global food security. **Annual Review of Phytopathology**, v. 43, n. 1, p. 83-116, 2005.

STROBEL, G., DAISY, B. Bioprospecting for microbial endophytes and their natural products. **Microbiology and molecular Biology reviews**, v. 67, p. 491-502, 2003.

TIMMUSK, S.; WEST, P. V.; GOW, N. A. R.; HUFFSTUTLER, R. F. *Paenibacillus polymyxa* antagonizes oomycetes plant pathogens *Phytophthora palmivora* and *Pythium aphanidermatum*. **Journal Applied Ecology**, v. 106, n. 5, p. 1473-1481, 2009.

TOMADA, S.; SONEGO P.; MORETTO M.; ENGELEN, K.; PERTOT, I.; PERAZZOLI, M.; PUOPOLO, G. Dual RNA-Seq of *Lysobacter capsici* AZ78 – *Phytophthora infestans* interaction shows the implementation of attack strategies by the bacterium and unsuccessful oomycete defense responses. **Environ Microbiol**, v. 19, p. 4113-25, 2017.

TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. **Microbiologia**. 2 ed. Artmed. p. 934, 2012.

TURINA, M.; ROSTAGNO, L. Virus-induced hypovirulence in *Cryphonectria parasitica*: still an unresolved conundrum. **Journal of Plant Pathology**, v. 89, n. 2, p. 165-178, 2007.

WU, H.; YANG, X.; FAN, J.; MIAO, W.; LING, N.; XU, Y.; HUANG, Q.; SHEN, Q. Suppression of *Fusarium* wilt watermelon by a bio-organic fertilizer containing combinations of antagonistic microorganisms. **Biological Control**, v. 54, n. 2, p. 287-300, 2009.

YANG, X.; ZHANG, L.; XIANG, Y.; DU, L.; HUANG, X.; LIU, Y. A análise comparativa do transcriptoma de *Sclerotinia sclerotiorum* revelou seus mecanismos de resposta ao agente de controle biológico, *Bacillus amyloliquefaciens*. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 1-12, 2020.

YOON, M. Y.; CHA, B.; KIM, J. C. Recent trends in studies on botanical fungicides in agriculture. **Plant Pathology Journal**, v. 29, n. 1, p.1-9, 2013.

BIOFUNGICIDAS

Biofungicidas

Nixau Wauter Macedo

Talita Rafaela Lima

Mayra Costa da Cruz Gallo de Carvalho

Considerações iniciais

Alimentos obtidos a partir de plantas perfazem 80% da alimentação humana (FAO, 2020). Hoje, 20 a 40% da produção é perdida com pragas e doenças, sendo 14% atribuído às doenças das quais 83% são causadas por fungos (FISHER *et al.*, 2012). Como exemplos podemos mencionar o poder destrutivo dos fungos: *Phytophthora*, das ferrugens e *Botrytis*, sobre centenas de espécies cultivadas. Nesse contexto, o desenvolvimento de estratégias para manejar as doenças no campo foi fundamental para sustentar a primeira onda da revolução verde e naturalmente ainda o é, já que a população humana permanece em crescimento.

Nas décadas de 70 e 80 o manejo de doenças foi quase que exclusivamente realizado pelo emprego de pesticidas químicos. O emprego dos fungicidas químicos em especial, resultou em ótimo controle das doenças fúngicas. Mas, com o passar dos anos, observou-se que os fungicidas químicos são muito hábeis em proporcionar evolução de resistência entre os patógenos, reduzindo ano a ano a sua eficiência. Com isso, reduziram os ganhos do produtor ao passo que novos investimentos no desenvolvimento de outras moléculas se fizeram necessários, impondo novos custos a produção e ao consumo. Além disso, é de conhecimento uma série de dados relevantes que mostram os prejuízos do uso massivo desses químicos ao equilíbrio dos ecossistemas e, conseqüentemente, da própria saúde humana.

Alternativamente, a partir da década de 90 houve crescimento da agricultura orgânica, e então, a necessidade de desenvolvimento de formas mais sustentáveis para o controle de doenças. A área destinada à agricultura orgânica é muito variável entre os países, mas, de forma geral, vem crescendo nos últimos 20 anos. Atualmente, estima-se serem 72.285.658 hectares no mundo e 1.283.054 no Brasil (FIBL-IFOAM-SOEL, 2021).

A agricultura orgânica é um conceito complexo de agricultura que prevê o estabelecimento de relações ecológicamente adequadas e práticas sustentáveis, mas uma das principais condições para o seu estabelecimento é o uso do biocontrole de pragas e doenças em substituição ao controle químico. É importante que se entenda, entretanto, que essa substituição se faz primordial não apenas em função da toxicidade dos químicos sintéticos, mas também, em função do prejuízo à sustentabilidade econômica do processo que os químicos sintéticos trazem. Assim, é racional compreender porque a agricultura orgânica não é composta por organismos geneticamente modificados (OGMs). Ainda, o mais ecologicamente “amigável” OGM impõe ao produtor dependência econômica.

Os agentes de biocontrole (ABCs) são classificados pela Associação Internacional de Produtores de Biocontrole *International Biocontrol Manufacturers Association* (IBMA) como microbiológicos, microbiológicos ou semioquímicos. No Brasil, o Ministério da Agricultura subdivide os ABCs formados por substâncias naturais em duas classes: semioquímicos (compostos que induzem respostas no organismo alvo como feromônios e aleloquímicos) e bioquímicos (compostos que controlam doenças como enzimas). Assim, os ABCs destinados ao controle de doenças fúngicas ou biofungicidas podem ser do tipo semioquímico, bioquímico ou microbiológico.

A maior parte dos biofungicidas disponíveis atualmente no mundo são microbiológicos desenvolvidos a partir de representantes dos gêneros *Trichoderma*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Coniothryium*, *Streptomyces*, *Ulocladium* e *Gliocladium*. No Brasil, os produtos hoje registrados com ação biofungicida são derivados de *Bacillus*, *Trichoderma*, *Beauveria* e *Clonostachys* (MAPA, 2021). No cenário mundial, 44% do mercado de biológicos são voltados para a soja e não por acaso, o Brasil é um dos líderes na adoção de produtos biológicos com mais de 23 milhões de hectares tratados com biocontrole (CROPLIFE, 2021).

Quando comparamos a evolução do mercado de fungicidas químicos aos biofungicidas observamos que o segundo vem crescendo muito mais e estimativas recentes indicam que devem continuar a crescer até 2050. No Brasil essa tendência pode ser percebida em função do aumento significativo no número de produtos biológicos registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) em 2020, ano recorde de registro desse tipo de produto. Entretanto, embora o mercado para os biológicos seja altamente promissor, há ainda muitos desafios a serem vencidos no desenvolvimento desse tipo de produto e que se relacionam principalmente, à formulação e produção em larga escala. Por fim, é importante destacar que mesmo embora o mercado para os biológicos seja preferencialmente o da agricultura orgânica, há na literatura uma série de relatos que indicam que o seu uso em combinação aos fungicidas químicos possa não apenas ser viável e efetivo, como também, ser importante para a redução do uso de químicos na agricultura moderna.

Proteção de plantas – breve histórico

Os primeiros registros do homem atuando diretamente no manejo de pestes são provenientes de escrituras gregas e

romanas e envolviam catação manual de gafanhotos. Algumas destas escrituras, datadas por volta de 1000 a.C. já mostravam as mesmas civilizações utilizando arsênico para o controle de pestes nas lavouras. Aproximadamente há 2000 anos, os chineses extraíam piretrina das flores de crisântemo para utilização como inseticida. Já em 1807, Bénédict Prevost observou *Tilletia caries* (fungo da cárie do trigo) tendo seu desenvolvimento inibido por cobre embebido em água. No final do mesmo século, na região de Bordeaux, França, o Micologista Alexis Millardet relatou que um agricultor, numa tentativa de repelir pessoas que roubavam suas uvas, aplicou uma mistura de sulfato de cobre e cal nas videiras e observou que as plantas submetidas à aplicação da mistura não apresentaram queda foliar causada por Míldio (LARGE, 1943; KLITTICH, 2008).

No início do século XX, fitopatologistas foram estimulados a pesquisar sobre possíveis compostos que pudessem atuar na defesa contra fitopatógenos. Ao observarem a tentativa de indústrias farmacêuticas na descoberta sobre efeitos medicinais de compostos metálicos, os pesquisadores criaram o primeiro fungicida desenvolvido em laboratório, o Cloro (2-hidroxifenil) mercúrio (organomercurial), usado para tratamento de sementes. A partir dos anos 40 o manejo das pestes (pragas, doenças e plantas daninhas) no campo passou a ser facilitado pelos defensivos químicos, tendo início com o diclorodifeniltricloetano (DDT), que *a priori* foi desenvolvido para proteger os soldados da segunda guerra contra mosquitos transmissores de doenças, mas em segundo momento, mostrou sua eficácia no combate aos insetos-praga no campo. Com o sucesso dos defensivos e o aumento de sua demanda pelos agricultores, logo vieram maiores investimentos para desenvolvimento de novas moléculas, e como resultado no final dos anos 60 e início dos anos 70, foram lançados fungicidas de efeito sistêmico, tanto para tratamento de sementes

quanto para aplicação foliar, cujos ingredientes ativos eram Carboxina e Benzimidazol, respectivamente (BETTIOL; GHINI, 2003; KLITTICH, 2008; BARROS, 2010).

Junto com a indústria agroquímica vieram outras inovações tecnológicas em insumos agrícolas químicos (fertilizantes), mecânicos (tratores e implementos) e biológicos (OGMs) caracterizando esta época como a Revolução Verde, um marco na agricultura, que proporcionou aumento às produtividades das lavouras, simplificando seu manejo (ALBERGONI; PELAEZ, 2007; BARROS, 2010). Porém, junto aos ganhos em produtividade vieram a contaminação de solo e água, seleção de patógenos, pragas e plantas daninhas resistentes aos ingredientes ativos, eliminação de inimigos naturais e de microrganismos benéficos e, ainda, contaminação de trabalhadores rurais e pessoas que ingerem alimentos ou água contaminada (BETTIOL; GHINI, 2003; BRENT; HOLLOMON, 2007; BRAUER *et al.*, 2019).

Com as denúncias do impacto ambiental que os defensivos causam, feitas pela cientista Rachel Carson no livro *Silent Spring* publicado em 1962, iniciaram-se cobranças sociais por uma agricultura mais segura com a consequente edição de novas regulamentações para o desenvolvimento de novos produtos. A partir desse momento, o manejo integrado passou a ser levado em conta, integrando estratégias de prevenção às adversidades, manutenção das melhores condições e não apenas remediação dos problemas apresentados no campo (ALBERGONI; PELAEZ, 2007; BARROS, 2010).

Outro fator que contribuiu muito para aumento dos investimentos em biotecnologia no setor, foi a dificuldade em descobertas de novos ingredientes ativos. O uso intensivo dos defensivos leva à seleção dos genótipos resistentes, que por sua vez, exigem novos ingredientes ativos ou métodos de controle. Os patógenos apresentam variabilidade genética e um

curto ciclo de vida e, desta forma, originam nova população resistente ao ingrediente ativo utilizado em uma velocidade muito difícil de acompanhar. Tal fator é ainda mais grave no caso de patógenos policíclicos, como a ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi*). A depreciação da eficiência dos produtos já existentes no mercado, junto com a queda de aproveitamento na descoberta de novos ingredientes ativos durante os anos e, ainda, a pressão pela sustentabilidade na agricultura, levaram as empresas a investir em biotecnologia, como estratégia de se manter no mercado (ALBERGONI; PELAEZ, 2007).

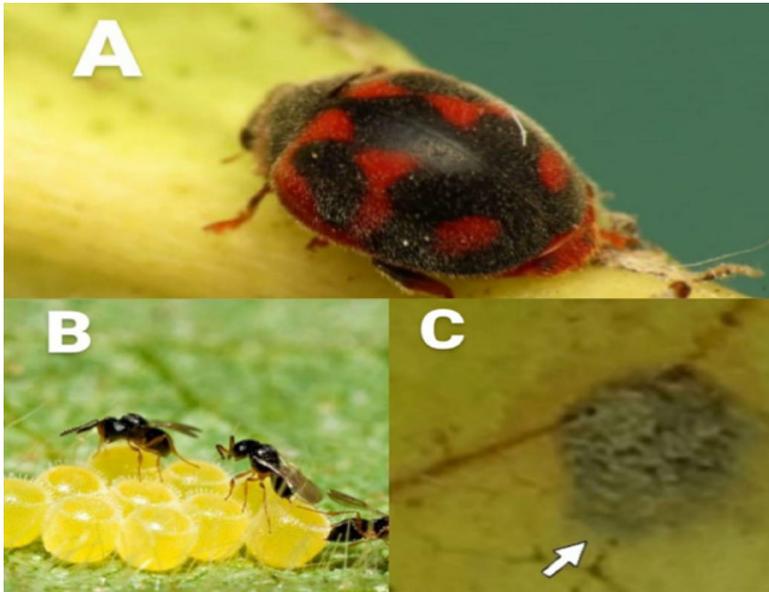
A contribuição mais relevante da biotecnologia ao setor aconteceu na década de 90 com o desenvolvimento das plantas geneticamente modificadas (GM). As novas tecnologias de engenharia genética permitiram a introdução de genes de interesse nas espécies cultivadas com o intuito de eliminar o uso de alguns defensivos como é o caso da tecnologia *Bt*, ou potencializar o uso de outros, como as plantas resistentes aos herbicidas (ALBERGONI; PELAEZ, 2007; MATOS, 2011). Atualmente, a agricultura ainda dispõe de estratégias biotecnológicas não transgênicas para obtenção de melhoramento genético de precisão nas lavouras, como é o caso das tecnologias de RNAi e CRISPR.

Paralelamente, o uso de controle biológico de pragas e doenças no campo foi desde a sua introdução, tornando-se cada vez mais representativo no setor nas formas de armadilhas com feromônios sintéticos para os insetos pragas, produção massal de inimigos naturais para soltura à campo, desenvolvimento de produtos biológicos como, por exemplo, os produzidos a base de microrganismos benéficos ou de extratos de plantas (BETTIOL; GHINI, 2003; KOVALESKI *et al.*, 2003; DINIZ; RODRIGUES; ROSSI, 2008; ALTINTAS *et al.*, 2013; INAMASU; BERNARDI, 2014; SHUPING; ELOFF, 2017).

Controle biológico – histórico e conceitos

Controle biológico compreende a ação inibitória de inimigos naturais ou substâncias naturais sobre a população de um determinado hospedeiro. Há dezenas de espécies e substâncias naturais já identificadas como agentes de controle biológico. Entre aqueles identificados como inimigos naturais há os que se comportam ecologicamente como predadores, parasitóides ou como patógenos. Predadores são sempre inimigos naturais de vida livre que se alimentam de sua presa exercendo, dessa forma, a ação de biocontrole. Já os parasitóides, são aqueles que completam seu ciclo de vida no hospedeiro e, por esse motivo, acabam atuando no controle de sua população. Predadores e parasitóides são insetos que se alimentam de outros insetos e, assim, são denominados de entomófagos, no caso dos parasitóides, são as formas larvais do inseto que ao se desenvolver no hospedeiro acaba por controlá-lo (BUENO *et al.*, 2014). Por fim, os patógenos são microrganismos que vivem ou se alimentam no seu hospedeiro e podem ser representados por vírus, bactérias, fungos ou protozoários (Figura 1).

Figura 1 - Organismos utilizados no controle biológico. A- Joaninha (*Rodolia cardinalis*), exemplo clássico de predadores eficientes no controle biológico de pragas. B- Vespas (*Telenomus sp.*) parasitando ovos que dariam origem a lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*). C- Lesão da ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi*) parasitada pelo fungo (*Penicillium sp.*)



Fonte: os autores (2022)

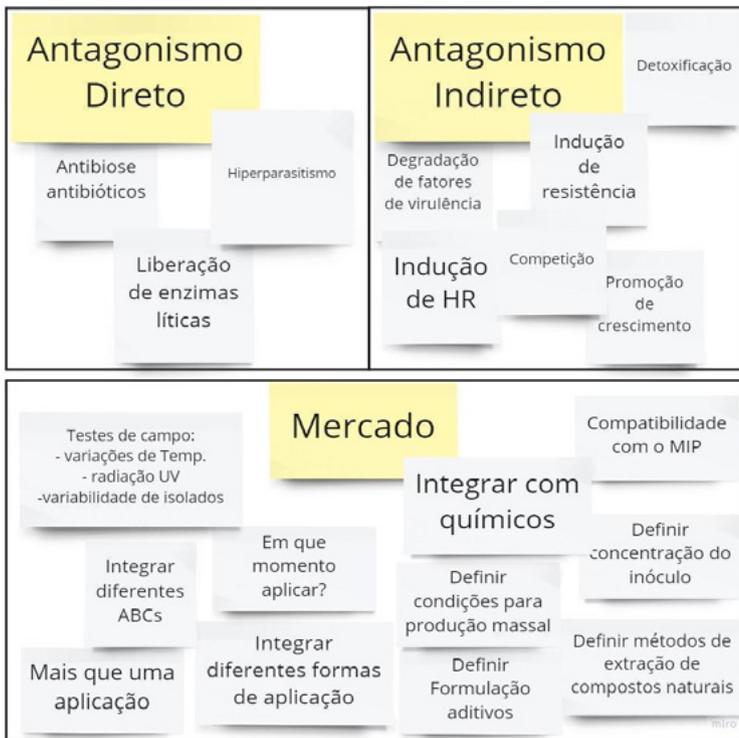
O inseto *Cotesia flavipes* é um dos mais importantes exemplos de parasitóide usado no controle da broca-da-cana (*Diatraea saccharalis*). Como exemplo de predação, a joaninha *Cryptolaemus Montrouzieri* é predadora de diversas espécies de cochonilhas e pulgões. Os principais microrganismos usados no controle biológico são fungos e bactérias, em especial, os gêneros *Trichoderma* e *Bacillus*, respectivamente, mas também são usados protozoários e vírus.

Além dos organismos vivos que são de fato a principal forma de uso comercial do biocontrole, o controle biológico pode também ser exercido por substâncias naturais

produzidas por inimigos naturais ou ainda, por plantas tais como extratos e óleos essenciais. Os produtos bioquímicos são substâncias químicas naturais não tóxicas usadas no controle biológico como promotores de processos químicos ou biológicos, abrangendo os hormônios, reguladores de crescimento e as enzimas (SOUZA-JUNIOR *et al.*, 2017).

No geral, os agentes de controle biológico comportam-se como antagonistas da praga ou agente causador da doença que se deseja controlar. Essa relação ecológica de antagonismo, por sua vez, pode se dar por mecanismos diretos como é o caso da predação e do parasitismo, da antibiose e da produção de enzimas líticas; mas pode também se dar de forma indireta, como é o caso da indução de resistência, da indução de resistência sistêmica adquirida, da detoxificação ou degradação de fatores de virulência, competição e promoção de crescimento na planta (Figura 2). Antibiose ocorre quando uma substância inibitória é produzida pelo antagonista inibindo o crescimento do alvo. Na indução de resistência, o agente biológico é capaz de induzir na planta hospedeira respostas que elevam seu nível de resistência ao patógeno de forma local ou sistêmica. Há também agentes de controle que agem de forma a estimular o crescimento da planta e são, portanto, considerados promotores de crescimento. Por fim, há ainda um tipo especial de antagonismo exercido por microrganismos que invadem micélios, esporos e outros denominados de hiperparasitismo. Quando esse hiperparasitismo ocorre por fungos que se nutrem a partir de outros fungos, o processo é denominado de micoparasitismo. Os mecanismos de ação podem ser observados individualmente, mas também, dependendo do microrganismo e da interação, diferentes tipos de mecanismos antagonistas podem ocorrer de forma combinada (KÖHL; KOLNAAR; RAVENSBERG, 2019).

Figura 2 - Tipos de mecanismos de antagonismo e etapas para alcançar o mercado de bioprodutos



Fonte: os autores (2022)

O uso de agentes de controle biológico na agricultura não é recente e, há relatos que no século III os chineses utilizam predadores como agentes de controle biológico (BERTI FILHO; MACEDO, 2011). Em 1602 já havia sido observado casulos de um parasitóide nos ovos de uma lagarta-praga evidenciando, portanto, a possibilidade de uso de parasitoides no controle biológico (PARRA *et al.*, 2002).

A primeira tentativa de utilização do controle biológico clássico, aquele no qual o agente de controle é importado para uso em outro país, foi no ano de 1873; quando uma espécie de ácaro (predador) dos Estados Unidos foi importada para

a França com o objetivo de controlar o pulgão *Phylloxera* (GONÇALVES, 1996). Mas o grande sucesso do controle biológico clássico, só ocorreu no ano de 1888, quando o coleóptero *Rodolia cardinalis* foi introduzido na Califórnia para controlar a cochonilha *Icerya purchasi* (GONÇALVES, 1996; PARRA *et al.*, 2002; BERTI FILHO; MACEDO, 2011). Após o sucesso da introdução de *Rodolia cardinalis*, alguns locais da Europa, introduziram predadores para combater insetos-praga (GONÇALVES, 1996). A utilização de entomófagos, ou seja, insetos que parasitam outros insetos, bem como de patógenos, cresceu gradualmente no controle biológico à medida que os pesquisadores foram compreendendo a biologia, genética e ecologia das interações entre praga-patógenos e desenvolveram técnicas mais sofisticadas para a produção e formulação de agentes de controle biológico (FONTES; VALADARES-INGLIS, 2020).

O controle biológico foi introduzido no Brasil no ano de 1921 com a importação da *Prospaltella berleseii* dos Estados Unidos para combater a cochonilha-branca-do-pessegueiro, *Pseudaulacaspis pentagona* (PARRA *et al.*, 2002; BERTI FILHO; MACEDO, 2011) e após, outras introduções foram ocorrendo. Por outro lado, o uso de microrganismos como agentes de controle biológico iniciou por volta de 1830, quando se identificou que fungos, bactérias e protozoários causavam doenças em insetos. No ano de 1874, William Roberts usou o termo antagonismo após observar esse efeito em microrganismos, dando início ao desenvolvimento de estratégias de biocontrole para as doenças de plantas. Em 1884, Elie Metchnikoff produziu uma estrutura massal de esporos do fungo *M. anisopliae* para realização de testes de biocontrole a campo contra as larvas do *Cleonus punctiventris*, uma praga da beterraba (GONÇALVES, 1996; FONTES; VALADARES-INGLIS, 2020). Já em 1932, Weindling reportou a atividade

antagonista de *Trichoderma lignorum* contra *Rhizoctonia solani*. Atualmente, os fungos *Trichoderma* foram identificados como antagonistas de muitos outros patógenos e são frequentemente utilizados no controle biológico de doenças.

Os produtos que usam microrganismos no controle de pragas e doenças são denominados de biopesticidas e podem ser biofungicidas, usados para controlar fungos patogênicos ou bioinseticidas usados para combater insetos-praga. Há ainda, os bioherbicidas usados no controle de plantas-pragas. No ano de 2001 haviam 195 agentes biopesticidas registrados e 780 produtos dos quais a maior parte é composta por biopesticidas de microrganismos vivos, principalmente de *Trichoderma*, *Pseudomonas* e *Bacillus*.

O uso de microrganismos não patogênicos como antagonistas de microrganismos fitopatogênicos foi definido por Cook (1993) como um método alternativo ecologicamente mais adequado e seguro para o controle de doenças. Tais agentes de controle conforme Junaid; Bhatta; Bhatma (2013) podem exercer biocontrole por meio de interferências em qualquer um dos componentes envolvidos no estabelecimento da doença: na planta, no patógeno ou no ambiente. Espécies de *Trichoderma* são as principais representantes entre os biofungicidas. Na revisão publicada por Bhattacharjee e Dey (2014), 92 espécies de microrganismos são listadas como agentes de biocontrole para doenças de plantas, dentre as quais, a maior parte é formada por representantes do gênero *Trichoderma*.

Espécies do gênero *Trichoderma*, são isoladas do solo e produzem toxinas e enzimas que controlam um grande número de patógenos foliares e de solo tais como *Fusarium*, *oxysporum*, *Sclerotium rolfsii* e *Rizoctonia solani*. Tais espécies podem apresentar uma grande variedade de mecanismos de biocontrole os quais incluem: competição (PAPA-VIZAS, 1985), hiperparasitismo de outros fungos, produção

de enzimas com atividade lítica, antibiose com produção de diferentes antibióticos anti-fúngicos, produção de metabólitos secundários que induzem resposta de resistência sistêmica adquirida, resistência sistêmica e hipersensibilidade nas plantas. Assim, em função da boa amplitude de mecanismos apresentados, o uso de espécies de *Trichoderma* é favorecido, o que pode ser observado em função do fato de que mais do que 60% dos produtos registrados no mundo como biofungicidas são produzidos a partir dessas espécies (WOO *et al.*, 2014).

Outros microrganismos importantes presentes nos biofungicidas são as bactérias *Pseudomonas*, naturais da rizosfera das plantas. Tais bactérias atuam no controle dos fungos patogênicos por meio da promoção de crescimento das plantas (LUCY *et al.*, 2004), pela produção de um potente antibiótico anti-fúngico, a phyochelina. Também, de outras moléculas que funcionam como antibióticos anti-fúngicos, por competição com outros microrganismos, pela produção de enzimas anti-fúngicas ou ainda, pela degradação de substâncias fúngicas necessárias ao estabelecimento da patogenicidade (MORRISSEY *et al.*, 2004). Além das *Pseudomonas*, bactérias *Bacillus*, tradicionalmente importantes no controle dos insetos-pragas, também são importantes no controle de fungos atuando como produtoras de antibióticos e, possivelmente, a partir de substâncias voláteis (KIM *et al.*, 2003).

Desafios para alcançar o mercado – da prospecção a prateleira

O primeiro passo para a produção de um produto de origem biológica como um biofungicida, é a busca e identificação de um microrganismo com ação antagonista ao patógeno. Esse processo de identificação ou prospecção de antagonistas pode ser feito de forma ativa ou passiva. Na prospecção ativa é possível testar microrganismos com atividade antagonista já

conhecida sobre algum patógeno em novos tipos de interação. É possível também buscar os microrganismos ativamente, realizando coletas em locais de alta biodiversidade. De outra forma, a prospecção pode ser passiva ou aleatória quando isolamos o microrganismo a partir de uma observação de ação antagonista natural. Para todas as situações, os microrganismos isolados deverão ser estabelecidos em culturas puras e identificados de forma adequada antes de prosseguir com os ensaios de biocontrole para teste de sua eficiência como agente de controle biológico.

Como exemplo de identificação passiva é possível citar o caso ocorrido no laboratório de biotecnologia da UENP. A equipe do laboratório trabalhava na multiplicação do fungo causador da ferrugem da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, em folhas destacadas de soja cultivadas em placas de petri. O objetivo era produzir lesões de ferrugem suficientes para coleta de esporos e posteriores análises moleculares. No entanto, um problema de contaminação parecia estar impedindo a esporulação do fungo e, conseqüentemente, que novas lesões se formassem, inviabilizando o trabalho. Verificou-se que essa contaminação era na verdade causada por um outro fungo que crescia voluntariamente sobre as lesões de *Phakopsora pachyrhizi* impedindo seu progresso. Esse contaminante foi isolado, mantido em um cultivo monospórico e identificado como uma cepa de *Penicillium* sp. Posteriormente, muitos ensaios *in vitro*, na casa de vegetação e à campo foram conduzidos no sentido de avaliar a eficiência da cepa no biocontrole da ferrugem, todos com resultados muito promissores, inclusive os ensaios de campo nos quais obteve-se eficiência de controle com o biológico estatisticamente igual à obtida com o controle químico (ZENY, 2020). O conjunto de achados sobre o potencial de uso da cepa identificada de *Penicillium* sobre o biocontrole da ferrugem asiática da soja foi recentemente

publicado por meio da publicização do protocolo de patente no INPI (DE CARVALHO; ZENY; CARRETTTS, 2021).

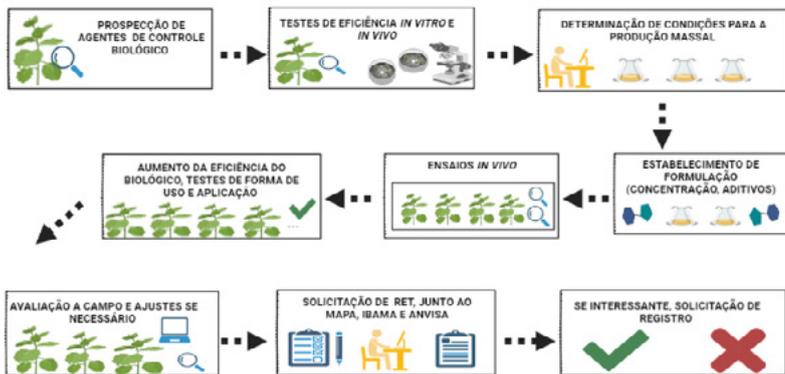
Atualmente o mestrando Nixau Wauters Macedo e as acadêmicas do grupo Programa de Educação Tutorial (PET), Talita Rafaela Lima e Sofia Haddad Maluf, têm dado continuidade à investigação da interação *Penicillium sp* vs. *Phakopsora pachyrhizi* por meio de ensaios adicionais que visam elucidar os mecanismos envolvidos na interação antagônica através de identificação de metabólitos e do acompanhamento da interação por microscopia eletrônica de varredura (MEV). Ensaios de observação dos mecanismos envolvidos na interação, embora fundamentais cientificamente, podem a princípio, serem dispensáveis do ponto de vista do estabelecimento de um produto. Porém, vale mencionar que o seu conhecimento pode impulsionar o desenvolvimento de um produto mais eficaz e ainda contribuir para adoção de estratégias que otimizem a sua eficácia, como, por exemplo, pela combinação de mecanismos de ação distintos no controle da doença.

Uma série de ensaios são realizados para verificação de eficiência do agente normalmente em sistemas *in vitro* ou pequena escala. Após os testes em laboratório, podem ainda serem feitas análises para identificar os metabólitos presentes no ativo biológico que promovem a proteção da planta (MARRONE, 2019). O experimentador ainda pode realizar experimentos em casa de vegetação e à campo para análises iniciais de viabilidade de uso do agente no biocontrole da doença. Após as pesquisas e comprovação da eficiência do ativo biológico, inicia-se então, o processo de produção massal e formulação do produto biológico.

No entanto, por mais que se colecionem evidências da ação antagonista de um agente de biocontrole sobre um patógeno de interesse econômico, muitos são os passos que separam a etapa da prospecção da comercialização (Figuras 2 e

3). Os desafios mais iniciais e fundamentalmente importantes são aqueles relacionados à produção massal e a formulação do produto. Posteriormente, há os desafios relacionados à viabilidade de uso do produto em diferentes situações ambientais. Todos esses fatores são determinantes para que o biológico reproduza seus efeitos de laboratório no campo e de fato alcance o mercado (HANDELSMAN, 2002; USTA, 2013).

Figura 3 - Etapas do desenvolvimento de um produto biológico



Created in BioRender.com bio

Fonte: os autores (2022)

A produção em massa do microrganismo talvez seja o principal desafio no desenvolvimento do produto uma vez que nessa etapa todas as condições ótimas em termos nutricionais e ambientais devem ser determinadas. Há duas formas de produção em massa, a produção sólida ou a fermentação líquida, sendo a última frequentemente utilizada quando o agente de biocontrole é um fungo. O desenvolvedor deverá se preocupar com o estabelecimento de um meio de cultivo

que não onere a produção e que seja prontamente disponível. São meios frequentes os baseados em melaço, farelo de trigo e dextrose batata (PRASAD *et al.*, 2002). A fermentação em estado sólido também possui suas vantagens, especialmente para produção de biofungicidas, uma vez que o meio sólido provê condições para alta produção de conídios. Entre os substratos de baixo custo estão o painço, ragi e sorgo (LEWIS, 1991; JEYARAJAM, 2006).

O próximo passo é o desenvolvimento de uma formulação que deve garantir uma concentração estável do inóculo, estabilizar o microrganismo no campo, promovendo condições para sua máxima eficiência e, ainda, apresentar as características de ausência de toxicidade, fácil manipulação, vida longa de prateleira, compatibilidade com outros insumos, baixo custo e, preferencialmente, estabilidade em uma boa faixa de variação de temperatura (KUMAR; THAKUR; RANI, 2014). Na literatura a concentração de conídios dos biofúngicos normalmente aparece como 10^6 ml^{-1} e 10^5 a 10^9 CFU ml^{-1} no caso dos bacterianos (HJELJORD *et al.*, 2011; CALVO *et al.*, 2017).

Os produtos biológicos podem ser formulados como concentrado emulsionável, pó molhável, paletes, gel emulsionável, suspensão concentrada, grânulos solúveis e encapsulamento do agente. A formulação irá aprimorar características de desempenho do produto, como eficácia, valor, prazo de validade, adequação aos requisitos da agricultura orgânica, solubilidade em água, persistência à chuva, compatibilidade com outros pesticidas e capacidade de pulverização (MARRONE, 2019).

Outro aspecto importante no estabelecimento do biofungicida é o uso de aditivos que mantenham sua eficiência no campo. Vários estudos relatam que a perda de eficiência de bioprodutos é muito frequente no campo, especialmente em função de baixas na umidade (CLOUGH, 2000; BEN-SHALOM

et al., 2003; ITURRIAGA *et al.*, 2012). Umidade relativa inferiores a 85–90% causam impactos importantes sobre a eficiência dos bioprodutos e, por esse motivo, o uso de aditivos como surfactantes é fundamental. Detergentes, por exemplo, são muito eficientes para aumentar a eficiência dos biológicos a campo, uma vez que proporcionam maior aderência dos esporos e inibem o crescimento dos patógenos.

Por fim, é importante ainda determinar a forma de uso do biofungicida. É possível tratar sementes no caso de doenças de semente e patógenos do solo; realizar o tratamento do solo no momento do plantio ou antes para patógenos do solo; efetuar o tratamento de raízes com incubação em solução de esporos; usar o *spray* foliar para patógenos foliares; ou ainda, optar por uma estratégia combinada de formas de uso. O emprego de estratégias combinadas de uso frequentemente resulta em ganhos significativos na eficiência do biocontrole como, por exemplo, o alcançado com a combinação de tratamento de sementes e aplicação foliar de *T. viride* para controlar a incidência da *Alternaria cucumerina* (BABBAL; KHASA, 2017).

Ao se pensar no uso de produtos que têm como base seres vivos, é importante considerar acima de tudo, que seu uso certamente não apresentará eficiência constante em ambientes muito distintos. Isso é esperado já que os organismos se adaptam aos seus ambientes. Inclusive, agentes de biocontrole apresentam considerável variabilidade quanto a sua eficiência entre diferentes cepas do mesmo agente e, por esse motivo, podem ser prospectados em diferentes regiões ou ambientes. Da mesma forma, os patógenos que controlam poderão apresentar isolados mais sensíveis e menos sensíveis a determinadas cepas do agente de biocontrole. Além disso, todo biofungicida é um produto destinado à prevenção. Assim, seu potencial preventivo irá certamente depender do tempo entre a aplicação e a chegada do patógeno, o que é difícil de

especificar à campo, mas, no laboratório, já foi evidenciado aumento na eficiência em mais de 20% devido a variações no momento da aplicação (BEN-SHALOM *et al.*, 2003).

Por outro lado, o uso de bioprodutos não vivos, ou seja, aqueles à base de compostos naturais, parece ser um desafio ainda maior para o desenvolvimento comercial de produtos. Isso acontece porque esses compostos são produzidos por vezes, em condições muito específicas e em concentrações baixas que dificultam sua extração em uma escala comercial (ITURRIAGA; OLABARRIETA; MARANÓN, 2012). Uma das formas de se lidar com a limitação da extração de produtos naturais é o desenvolvimento de fórmulas semi-sintéticas nas quais novos produtos sintéticos são sintetizados pelas empresas, tendo como base a ação do composto natural, como, por exemplo, o fluidioxonil, um fungicida usado para controle de *B. cinera* que tem como base um antibiótico natural produzido por *Pseudomonas* e outros agentes (CLOUGH, 2000).

Uma vez vencidas as etapas de determinação da produção massal e da formulação, o produto deve retornar aos testes de campo para determinação de sua eficiência ou ainda, para avaliação de uso de estratégias distintas de aplicação (Figura 3).

As últimas etapas do desenvolvimento do produto biológico são realizadas junto aos órgãos competentes: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) (CROPLIFE, 2021).

No início da sua implantação no Brasil, os produtos biológicos obedeciam às mesmas regulamentações destinadas aos agrotóxicos. No entanto, à medida que as organizações mundiais foram entendendo que as regulamentações destinadas aos agrotóxicos não eram aplicáveis aos biológicos, houve mudança desse cenário no Brasil (decreto de agrotóxicos

4.074-02). Um histórico dessa mudança e um passo a passo detalhado das etapas que vão do Registro Especial Temporário (RET) ao registro definitivo, são apresentados na publicação da Embrapa recursos genéticos e biotecnologia (OLIVEIRA-FILHO; FARIA; CASTRO, 2004). O produto demora em torno de cinco anos para ser finalizado e comercializado, sendo o investimento total estimado em 2019 de cerca de U\$7 milhões (MARRONE, 2019).

O Brasil hoje possui 52 biofungicidas registrados para uso comercial e desenvolvidos a partir dos agentes biológicos: *Bacillus velezensis*, *Bacillus pumilus*, *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus subtilis*, *Trichoderma asperellum*, *Trichoderma harzianum*, *Clonostachys rósea* e *Trichodermax EC* (MAPA, 2021) e entre as empresas do setor estão desde grandes multinacionais até pequenas empresas regionais.

Considerações finais

O setor dos produtos biológicos está crescendo cada vez mais, e as perspectivas são maiores ainda. Só os produtos microbiológicos, onde inserem-se os biofungicidas, devem vivenciar um ganho de mercado estimado em 70% até o ano de 2050.

O sucesso para os produtos em desenvolvimento deverá vir do refinamento nas etapas de produção e formulação, bem como, do estabelecimento de estratégias integrativas de aplicação que proporcionem a combinação de diferentes agentes de biocontrole compatíveis e ou da combinação de mecanismos de antagonismo, combinação de diferentes métodos de aplicação e ainda, uma possível integração a químicos já estabelecidos. Embora o objetivo inicial de desenvolvimento de um bioproduto não seja seu uso combinado a químicos sintéticos, esse tipo de estratégia pode aumentar os efeitos benéficos do biológico e reduzir o uso de químicos sintéticos, o que já é um ganho.

A estratégia de uso do biofungicida certamente será determinante na evolução da resistência do patógeno alvo. Assim, quanto mais diversificada a estratégia, menor a velocidade de evolução dessa resistência. De forma análoga, quanto mais pontual, como, por exemplo, no caso de uso de compostos naturais, mais rápido se dá esse processo.

No futuro próximo haverá ainda, produtos biológicos produzidos a partir de engenharia genética, quando então, genes que aumentam a eficiência do biocontrole serão isolados e inseridos nos genomas dos agentes biológicos, como já relatado por alguns autores (DJONOVIC *et al.*, 2007; MCDOUGAL; STEWART; BRADSHAW, 2012). Tal estratégia, entretanto, deverá pesar os benefícios dos ganhos com a tecnologia em relação aos prejuízos que certamente virão da associação de uma tecnologia “amiga do ambiente” ao desenvolvimento de um organismo geneticamente modificado (OGM).

Por fim, vale destacar que além de todos os benefícios que os biológicos podem trazer à saúde humana e ambiental, o uso de bioprodutos ainda pode ser considerado uma estratégia mais sustentável em termos de redução dos custos da produção, certamente, pela somatória desses fatores a adoção de biodefensivos movimentou mais de U\$5 bilhões em 2020 com crescimento de 14,4% ao ano, o que foi evidenciado em países da União Europeia, nos Estados Unidos e no Brasil (CROPLIFE, 2021).

Referências

ALBERGONI, L.; PELAEZ, V. Da revolução verde à agrobiotecnologia: ruptura ou continuidade de paradigmas? **Revista de Economia**, v. 33, n. 1, 2007.

ALTINTAS, A.; TABANCA, N.; TYIHÁK, E.; OTT, P. G.; MÓRICZ, A. M.; MINCSOVICS, E.; WEDGE, D. E.

Characterization of volatile constituents from *Origanum onites* and their antifungal and antibacterial activity. **Journal of AOAC International**, v. 96, n. 6, p. 1200-1208, 2013.

BABBAL, A.; KHASA, Y. P. Microbes as Biocontrol Agents. *In*: Kumar V., Kumar M., Sharma S., Prasad R. (eds,) **Probiotics and Plant Health**, Springer, Singapore, 2017.

BARROS, B. Há 40 anos, DDT precipitou restrições. **Valor Econômico**, São Paulo, v. 22, p. B12, 40. 2010.

BEN-SHALOM, N.; ARDI, R.; PINTO, R.; AKI, C.; FALLIK, E. Controlling gray mould caused by *Botrytis cinerea* in cucumber plants by means of chitosan. **Crop Protection**, v. 22, n. 2, p. 285-290, 2003.

BERTI FILHO, E.; MACEDO, L. P. M. **Fundamentos de controle biológico de insetos-praga**, Natal: Editora IFRN, 2011.

BETTIOL, W., GHINI, R. Proteção de plantas em sistemas agrícolas alternativos. **Embrapa Meio Ambiente** - Capítulo em livro científico (ALICE), 2003.

BHATTACHARJEE, R.; DEY, U. An overview of fungal and bacterial biopesticides to control plant pathogens diseases. **African Journal of Microbiology Research**, v. 8, n. 17, p.1749-1762, 2014.

BRAUER, V. S.; REZENDE, C. P.; PESSONI, A. M.; DE PAULA R. G.; RANGAPPA, K. S.; NAYAKA, S. C.; GUPTA, V. K.; ALMEIDA, F. Antifungal agents in agriculture: Friends and foes of public health. **Biomolecules**, v. 9, n. 10, p. 521, 2019.

BRENT, K. J.; HOLLOMON, D.W. Fungicide resistance in crop pathogens: how can it be managed? Bristol: **University of Bristol**, 2007.

BUENO, R.C.; YAMAMOTO, P.; MOUZINHO, M.; BUENO, N. Occurrence of *Helicoverpa armigera* (hübner, 1808) on citrus in the state of Sao Paulo, Brazil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, 2014.

CALVO, H.; MARCO, P.; BLANCO, D.; ORIA, R.; VENTURINI, M.E. Potential of a new strain of *Bacillus amyloliquefaciens* BUZ-14 as a biocontrol agent of postharvest fruit diseases. **Food Microbiology**, v. 63, p. 101-110, 2017.

CLOUGH, J. M. The strobilurin fungicides-from mushroom to molecule to market. **Special Publication – Royal Society of Chemistry**, 257, 277–282, 2000.

COOK, R.J. Making greater use of introduced microorganisms for biological control of plant pathogens. **Annu Rev Phytopathol**, v. 31, p. 53–80, 1993.

CROPLIFE. 2021. Disponível em: <https://croplifebrasil.org/>. Acesso em: 06 de jul. de 2021

DE CARVALHO, M. C. C. G.; ZENY, E. P.; CARRETTTS, L. A. **Protocolo de patente de invenção junto ao INPI. Instituto Nacional de Propriedade Industrial.** BR 1020200153234A2. depósito: 28 de julho de 2021, Depositante: Universidade Estadual do Norte do Paraná - UENP - Concessão: abril de 2022.

DINIZ, F. R.; RODRIGUES, K. F.; ROSSI, M. M. Produção do parasitoide *Cotesia flavipes* (Hymenoptera: Braconidae) para controle biológico da broca da cana-de-açúcar (*Diatraea saccharalis*) (Lepidoptera: Crambidae). **Nucleus**, n. 1, p. 1-10, 2008.

DJONOVIC, S.; VARGAS, W. A.; KOLOMIETS, M. V.; HORNDESKI, M.; WIEST, A.; KENERLEY, C. M.; A protei-naceous elicitor Sm1 from the beneficial fungus *Trichoderma virens* is required for induced systemic resistance in maize. **Plant Physiol**, v. 145, p. 875–889, 2007.

FIBL-IFOAM-SOEL. 2021. Disponível em <https://statistics.fibl.org/>. Acesso em: 06 de jun. de 2021.

FISHER M. C.; HENK D. A.; BRIGGS C. J.; BROWNSTEIN J. S.; MADOFF L. C.; MCCRAW S. L., *et al.* (2012). Emerging fungal threats to animal, plant and ecosystem health. **Nature**, v. 484, p. 186–194, 2012.

FONTES, E.M.G.; VALADARES-INGLIS, M.C. Controle biológico de pragas da agricultura. Brasília, DF, **Embrapa**, p. 510, 2020.

FAO. **Global trade in food and agricultural products more than doubles in last two decades**. 2020 [23 September 2020]. Disponível em: <http://www.fao.org/news/story/en/item/1309369/icode/>. Acesso em: 10 de jul. de 2021.

GONÇALVES, L. Fatos históricos do controle biológico. **Floresta e Ambiente**, v. 3, p. 96-101, 1996.

HANDELSMAN, J. Future trends in biocontrol. **Biological control of crop diseases**. New York, NY: Marcel Dekker, p. 443–448, 2002.

HJELJORD, L.; GUNN, B.; STRØMENG, M.; BULLET, A.; TRONSMO, A.; BULLET, A.; SØNSTEBY, A.; STENSVAND, A. Attempts to Reduce Strawberry Grey Mould (*Botrytis cinerea*) in Norway Using Fungal Antagonists, **The European Journal of Plant Science and Biotechnology**, v. 5, n.1, p. 78-85, 2011.

INAMASU, R. Y.; BERNARDI, A. C. C. **Agricultura de precisão**. Embrapa Instrumentação-Capítulo em livro científico (ALICE), 2014.

ITURRIAGA, L.; OLABARRIETA, I.; MARAÑÓN, I. M. 2012. Antimicrobial assays of natural extracts and their inhibitory effect against *Listeria innocua* and fish spoilage bacteria, after incorporation into biopolymer edible films. **International Journal of Food Microbiology**, v. 158, n. 1, p.58-64, 2012.

JEYARAJAN, R. Prospects of indigenous mass production and formulation of *Trichoderma*. In: **Current status of biological control of plant diseases using antagonistic organisms in India**, 2006.

JUNAID, J. M.; BHATTA, D. N.; BHATMA, B. Commercial biocontrol agents and their mechanism of action in the management of plant pathogens. **Int J Mod Plant Anim Sci**, v. 1, p. 39–57, 2013.

KIM, H. S.; PARK, J. Y.; CHOI, S. W.; CHOI, K. H.; LEE, G. P.; BAN, S. J.; LEE, C. H.; KIM, C. S. Isolation and Characterization of Bacillus Strains for Biological control. **Journal of Microbiology**, v. 41, n.3, p. 196-201, 2003.

KLITTICH, C. J. Milestones in fungicide discovery: chemistry that changed agriculture. **Plant Health Progress**, v. 9, n. 1, p. 31, 2008.

KÖHL, J.; KOLNAAR, R.; RAVENSBERG, W. J. Mode of Action of Microbial Biological Control Agents Against Plant Diseases: Relevance Beyond Efficacy. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 845, 2019.

KOVALESKI, A.; BOTTON, M.; NAKANO, O.; VILELA, E. F.; EIRAS, A. E. Concentração e tempo de liberação do feromônio sexual sintético de *Bonagota cranaodes* (Meyrick) (Lepidoptera: Tortricidae) na cultura da macieira. **Neotropical Entomology**, v. 32, p. 45-48, 2003.

KUMAR, S.; THAKUR, M.; RANI, A. *Trichoderma*: mass production, formulation, quality control, delivery and its scope in commercialization in India for the management of plant diseases. **Afr J Agric Res**, v. 9, p. 3838–3852, 2014.

LARGE, E. C. Control of potato blight (*Phytophthora infestans*) by spraying with suspensions of metallic copper. **Nature**, v. 151, n. 3820, p. 80-81, 1943.

LEWIS, J.A. Formulation and delivery system of bio-control agents with emphasis on fungi. In: **The rhizosphere and plant growth**, Springer, Dordrecht, pp 279–287, 1991.

MAPA.2021. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br>. Acesso em: 06 de julho de 2021.

MARRONE, P. G. **Pesticidal natural products** – status and future potential. *Pest Management Science*, v. 75, n. 9, p. 2325-2340, 2019.

MATOS, A. K. V. Revolução verde, biotecnologia e tecnologias alternativas. **Cadernos da FUCAMP**, v. 10, n. 12, p. 1-17, 2011.

MCDUGAL R.; STEWART A.; BRADSHAW R. Transformation of *Cyclaneusma minus* with green fluorescent protein (GFP) to enable screening of fungi for biocontrol activity. **Forests**, v. 3, n. 1, p. 83–94, 2012.

MORRISSEY, J. P.; DOW, J. M.; MARK, G. L.; O’GARA, F. Are microbes at the root of a solution to world food production? Rational exploitation of interactions between microbes and plants can help to transform agriculture. **EMBO Rep**, v. 5, n. 10, p. 922-926, 2004.

OLIVEIRA-FILHO, E. C.; FARIA, M. R.; CASTRO, M. L. M. P. Regulamentação de produtos biológicos para controle de pragas agrícolas. Brasília: **Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia**, p. 34, 2004.

PAPAVIZAS, G. C. Trichoderma and Gliocladium: biology, ecology, and potential for biocontrol. **Annual review of phytopathology**, v. 23, n. 1, p. 23-54, 1985.

PARRA, J. R. P. *et al.* **Controle biológico**: terminologia. Controle Biológico no Brasil: parasitóides e predadores. São Paulo. Manole editora, p. 1-16, 2002.

PRASAD RD, RANGESHWARAN R, ANUROOP CP, PHANIKUMAR PR. Bioefficacy and shelf life of conidial and chlamydo-spore formulation of *Trichoderma harzianum*. **J Biol Control**, v. 16, p. 145–148, 2002.

SHUPING, D. S. S.; ELOFF, J. N. The use of plants to protect plants and food against fungal pathogens: A review. **African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines**, v. 14, n. 4, p. 120-127, 2017.

SOUZA, J. I. T.; SCHAFFER, J. T.; CORRÊA, B. O.; FUNCK, G. D.; MOURA, A. B. Expansion of the biocontrol spectrum of foliar diseases in rice with combinations of rhizobacteria. **RCA Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 3, 2017.

USTA, C. Microorganisms in Biological Pest Control – A Review (Bacterial Toxin Application and Effect of Environmental Factors), **Current Progress in Biological Research**, Marina Silva-Opps, IntechOpen, 2013.

WOO, S. L.; RUOCCO, M.; VINALE, F.; NIGRO, M.; MARRA, R.; LOMBARDI, N.; PASCALE, A.; LANZUISE, S.; MANGANIELLO, G.; LORITO, M. *Trichoderma*-based products and their widespread use in agriculture. **Open Mycol J**, v. 8, p. 71–126, 2014.

ZENY, E. P. **Potencial de uso de controle biológico para a ferrugem-asiática da soja**. Dissertação apresentada ao programa de mestrado em agronomia – UENP, Bandeirantes, 2020.

FUNGICIDAS DE RNA

ARN fungicide

Mayra Costa da Cruz Gallo de Carvalho

Valéria Lopes-Caitar

Roberta de Paula Saturnino Costa

Considerações iniciais

As doenças e pragas de plantas respondem por 20-40% das perdas na agricultura (GAO *et al.*, 2020). Entre as doenças, aquelas provocadas por fungos levam a perdas anuais de um terço de todas as safras de alimentos, uma quantidade de alimentos que seria suficiente para 8,5% da população mundial atual (FISHER *et al.*, 2012). Para algumas culturas, como é o caso da soja, o principal desafio fitossanitário é justamente o manejo de uma doença causada por fungo, a ferrugem asiática da soja, cujo agente etiológico é o fungo biotrófico *Phakopsora pachyrhizi*.

Um dos principais atores no manejo dos fungos fitopatogênicos é o controle químico efetuado por fungicidas. No entanto, o emprego de fungicidas químicos no campo apresenta dois problemas fundamentais à sociedade moderna: proporcionam evolução de resistência entre os patógenos tornando necessário o desenvolvimento de outros produtos ou alterações no número de aplicações e dosagem; ambos com impactos sobre a sustentabilidade do sistema e seu uso extensivo, não seletivo, e incorreto causam sérios prejuízos à saúde de animais e dos seres humanos (BRAUER *et al.*, 2019; STANLEY; PREETHA, 2016). Em mamíferos já foram descritos efeitos de fungicidas na indução de adenomas na tireoide; citotoxicidade, alterações patológicas nos tecidos hepáticos e biliares, alterações no metabolismo de ácido graxo, alterações no sistema endócrino com reflexos na reprodução e indução

de genes de estresse oxidativo (ELSKUS, 2012; MORINAGA *et al.*, 2004; SANTOS *et al.*, 2019; WERDER *et al.*, 2020; XU *et al.*, 2020).

Nesse sentido, a sociedade moderna almeja reduzir os impactos de sua existência sobre o ambiente e, para isso, entende necessárias medidas diretas de preservação, tal como a preservação das áreas de florestas; e medidas indiretas de preservação, como a redução dos impactos da agricultura. Essa nova fase de desenvolvimento da agricultura já tem sido percebida pela introdução mais significativa do controle biológico nos plantios (CROPLIFE, 2021).

Além disso, muito rapidamente, surgirão novas estratégias oriundas do emprego dos conhecimentos mais atuais da genética, sendo aplicadas à proteção de plantas, como é o caso da tecnologia de interferência do RNA (RNAi). No ano de 2016 foi aprovada a primeira cultivar geneticamente modificada (GM) resistente a um patógeno desenvolvida pela aplicação dessa tecnologia. No entanto, nesse e em outros casos, o emprego do RNAi se fez por meio da tecnologia do DNA recombinante, produzindo plantas consideradas OGMs. A novidade agora, será o emprego direto dessa tecnologia, sem desenvolvimento de OGMs, mas como moléculas de RNA ativas no silenciamento de alvos gênicos específicos e supressão da doença.

As moléculas de RNA desenvolvidas com essa finalidade irão atuar como fungicidas, mas, com a fundamental diferença de terem um alvo específico tanto no que tange o gene alvo de silenciamento quanto a espécie alvo. É justamente por essas características que a tecnologia de RNAi ambiental é tão atrativa como estratégia de proteção de plantas para a agricultura moderna. Permitirá o desenho racional de moléculas com ação em processos biológicos bem conhecidos, possibilitando avanços em produção sem os aspectos de segurança

relacionados aos OGMs, usando uma tecnologia que, diferentemente dos fungicidas químicos e outros pesticidas, deverá propiciar segurança alimentar aos seres humanos.

No Brasil, a Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio) será a primeira instância de regulamentação do uso da tecnologia de RNAi ambiental uma vez que, trata-se de biotecnologia de origem genética e, como tal, escapa às regulamentações aplicadas para pesticidas. No entanto, como ainda estamos em uma etapa de desenvolvimento da tecnologia, as regulamentações a ela associadas estão da mesma forma em fase de desenvolvimento. Há uma certa clareza de que o RNAi ambiental requererá regulamentação própria com definição de critérios de segurança da sua aplicação no ambiente, principalmente, considerando as modificações que deverão ser acopladas aos RNAs silenciadores para maior absorção e estabilidade no campo.

Nessa perspectiva, é preciso considerar que os principais desafios para que os fungicidas de RNA alcancem o mercado estão no aprimoramento das etapas de produção, aplicação e legislação. Levando-se em conta o crescente envolvimento de companhias dedicadas ao estabelecimento de processos de produção e formulação eficiente de produtos de RNA; há um consenso geral de que em breve existirá o RNAi ambiental na forma de produtos disponíveis para a agricultura (CAGLIARI *et al.*, 2019; DUBROVINA; KISELEV, 2019).

RNAi - Aspectos gerais e sua ocorrência no reino fungi

O mecanismo de interferência de RNAi é um mecanismo de silenciamento gênico pós-transcricional natural, conservado em eucariotos. Acredita-se que a maquinaria celular dos eucariotos provavelmente tenha desenvolvido um mecanismo baseado na degradação de RNA dupla fita (dsRNA) para se

proteger do ataque dos vírus de RNA, levando ao surgimento do RNAi (ELBASHIR *et al.*, 2001). Evidências da ocorrência do processo de RNAi foram relatadas em fungos e em plantas transgênicas, porém, somente em 1998 a partir da publicação de Fire *et al.* (1998) que estudaram o efeito da aplicação de dsRNA (*double stranded RNA*) em *C. elegans*, que tais evidências foram associadas ao RNAi. O conhecimento sobre a maquinaria de RNAi e sua diversidade ainda está em desenvolvimento. Atualmente, esse mecanismo não está apenas relacionado a proteção a ataques virais, mas também, a ação de elementos de transposição e a regulação da expressão de genes endógenos. Além disso, sabemos que há muitos tipos diferentes de pequenos RNAs interferentes, entre eles os siRNA (*small interfering RNAs*) e micro RNAs.

De forma geral, a maquinaria é ativada pela presença de moléculas de dsRNA que podem ter diferentes origens. Essas dsRNAs são reconhecidas pela enzima Dicer e clivadas em fragmentos com 21 a 25 nucleotídeos denominados siRNAs ou miRNAs (micro RNAs). Esse capítulo enfoca o uso exógeno e alvo-específico do RNAi, assim não serão abordados os microRNAs cuja origem é apenas endógena.

Os siRNAs gerados pela endonucease Dicer se associam a um complexo de proteínas chamado complexo de silenciamento induzido por RNA ou RISC (*RNA induced silencing complex*). Todo complexo RISC, por sua vez, é composto por uma proteína da família Argonauta que tem função de desenrolar e separar a molécula de siRNA, gerando duas moléculas de fita simples ssRNA (*single stranded RNAs*) denominadas “guia” e “passageira”. A fita passageira é degradada enquanto a fita guia permanece incorporada ao complexo e tem como função se ligar por complementariedade de bases a uma região complementar do mRNA-alvo. Esse reconhecimento da fita guia ao alvo, deve ocorrer ao longo de toda a sua sequência

e, nesse aspecto, os siRNAs também se diferenciam dos micro RNAs. O pareamento do siRNA ao mRNA alvo é mais específico, já os miRNAs pareiam-se apenas em uma pequena região da fita guia, denominada de *seed* e, por esse motivo, são capazes de agir sobre diferentes alvos (MATRANGA; ZAMORE, 2007; PREALL; SONTHEIMER, 2005).

Os siRNAs geralmente causam silenciamento quando perfeitamente complementares ao seu alvo ou quase perfeitamente complementares, no entanto, em animais parecem haver diferentes aspectos que influenciam nesse processo de complementariedade. Quando a complementaridade é total ocorre degradação do mRNA alvo e, quando é parcial, ocorre repressão da tradução e posterior degradação do mRNA (BARTEL *et al.*, 2009).

Em alguns organismos como plantas, alguns insetos e nematóides, o sinal de silenciamento é amplificado e transmitido a outras células. A amplificação do sinal de silenciamento depende da ação da enzima RNA polimerase dependente de RNA ou RdRP (*RNA-dependent RNA polymerase*). As RdRPs polimerizam novas fitas de dsRNA que serão novamente clivadas pela Dicer gerando novos siRNAs, ou seja, amplificando o sinal de silenciamento na célula (PARKER; ECKERT; BASS, 2006). Quando o organismo não é capaz de transmitir o sinal de silenciamento de uma célula a outra, o mecanismo é denominado como RNAi célula-autônomo e, quando o sinal é transmitido a outras células, o processo é denominado RNAi não autônomo. Drosófilas e mamíferos não são capazes de transmitir o sinal de silenciamento de uma célula a outra. Em outros animais, como o *C. elegans* a transmissão do sinal de silenciamento a outras células ocorre e ainda, é transmitida as gerações seguintes como demonstrado por Fire *et al.* (1998). Nas plantas, o sinal pode tornar-se sistêmico via floema e plasmodesmas (MOLNÁR; VIRÁG; ÖRDÖG, 2011).

Por fim, o processo não autônomo de RNAi pode ser denominado de RNAi ambiental (*environmental RNAi*) ou RNAi sistêmico (*RNAi systemic*). Essa divisão é necessária porque é sabido que alguns organismos são capazes de absorver o sinal de silenciamento direto do ambiente e transmiti-lo de célula a célula (*environmental RNAi*) já outros organismos são capazes de transmitir o sinal de célula a célula, porém não são capazes de absorvê-lo diretamente do ambiente (*RNAi systemic*). As plantas e alguns fungos são capazes de absorver o dsRNA diretamente do ambiente por endocitose ou via transportadores de membrana (WINSTON *et al.*, 2007). No entanto, é importante destacar que as estruturas das paredes celulares e da cutícula de fungos e plantas, respectivamente, podem funcionar como barreiras a absorção do dsRNA ambiental (DALAKOURAS *et al.*, 2016).

A maquinaria de RNAi nos fungos já foi identificada em diversas espécies e apresenta os seguintes três componentes utilizados pelos eucariotos: Dicer, Argonauta e RdRP. Eles têm frequentemente, mais de um gene para cada uma dessas enzimas e com diferentes funções (CHOI *et al.*, 2014). O RNAi em fungos foi inicialmente descrito e caracterizado em *Neurospora crassa*. Com base nesses estudos, três principais mecanismos de silenciamento gênico foram descritos: *quelling*, mutação pontual induzida por repetição (*repeat-induced point mutation - RIP*) e silenciamento meiótico de DNA não pareado (*meiotic silencing by unpaired DNA - MSUD*). O fenômeno *quelling* se assemelha muito ao processo em plantas e representa a via explorada pelos fungicidas de RNA ou plantas transgênicas que expressam o dsRNA, motivo pelo qual aqui não serão abordados os demais processos. No *quelling*, duas enzimas do tipo Dicer foram identificadas (DCL-1 e DCL-2) apresentando funções redundantes e sendo responsáveis por clivar dsRNA em moléculas com 25

nucleotídeos (CATALANOTTO *et al.*, 2004). As outras duas enzimas reconhecidas nesse processo foram denominadas de QDE-1 e QDE-2 que codificam as enzimas RdRP e Argonauta, respectivamente (DANG *et al.*, 2011).

O RNAi ambiental é explorado para silenciamento gênico em fungos fitopatogênicos via pulverização de moléculas de RNA que podem tanto ser diretamente absorvidas pelo próprio fungo, como relatado na seção anterior, como podem ser absorvidas pela planta e transferidas para o fungo ou, ainda, pode ocorrer uma combinação das duas vias de entrada. A seguir, nessa seção serão apresentados exemplos da literatura que relatam resultados eficientes da aplicação exógena de dsRNA no controle de fungos patogênicos (Tabela 1).

O fungo causador da doença do mofo cinzento, *Botrytis cinerae*, atinge mais de 230 espécies e foi considerado o segundo patógeno mais importante entre as plantas (DEAN *et al.*, 2012). Com base nas características de virulência de *B. cinerae*, que envolve a transferência de moléculas silenciadoras de siRNA para a planta hospedeira tendo como alvo seus genes de defesa, Wang *et al.* (2016) pulverizaram flores, frutos e vegetais de diferentes espécies com siRNAs ou dsRNAs similares aos genes Dicer de *Botrytis* e, obtiveram como resultado, redução significativa nos sintomas da doença. Outros estudos também usaram a estratégia de silenciamento da própria maquinaria de silenciamento em *Fusarium* e de forma similar alcançaram resultados significativos no controle da doença. As enzimas Dicer e Argonauta foram silenciadas via aplicação exógena de dsRNA em folhas de cevada e obteve-se resposta de redução na severidade da doença, demonstrando que a inativação de componentes da maquinaria de silenciamento nos patógenos pode ser muito efetiva na proteção de plantas (WERNER *et al.*, 2020).

O RNAi ambiental foi também utilizado com sucesso no silenciamento simultâneo de três genes responsáveis pela síntese da citocromo P450 lanosterol C-14 α -desmetilases (CYP51A, CYP51B e CYP51C), os quais participam da rota da síntese do ergosterol no fungo *Fusarium graminearum* (KOCH *et al.*, 2016). O ergosterol é um esterol componente específico das membranas celulares de fungos, ausente nas plantas e que, por esse motivo, é frequentemente usado como alvo da tecnologia de RNAi. Nesse estudo, foram produzidos e aplicados simultaneamente dsRNA complementares ao mRNA dos três genes. Os autores relataram que a pulverização de dsRNA de forma direta sobre folhas de cevada promoveu a absorção da molécula pelas folhas, sua transferência, via sistema vascular, para locais de infecção fúngica no caule e raízes e, absorção pelo fungo com redução de até 50% da expressão do gene CYP3 e desenvolvimento de lesões muito menores na planta.

Em um outro estudo, esporos de *Fusarium* foram diretamente inoculados com dsRNA mostrando que o fungo é capaz de absorver diretamente o dsRNA. Esporos de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* e *Mycosphaerella fijiensis*, agentes causais da murcha-de-Fusarium e o mal-de-Sigatoka em bananeiras, respectivamente, foram incubados com dsRNA direcionados aos genes da adenilato cilacse, subunidade α da DNA polimerase e subunidade δ da DNA polimerase e, em todos os casos, foi possível observar redução significativa na germinação dos esporos de ambos os fungos (MUMBANZA *et al.*, 2013).

Há ainda, estudos que relatam a possibilidade de uso de moléculas de dsRNA de amplo espectro, ou seja, capazes de induzir silenciamento em mais que um patógeno. Em um ensaio desenvolvido com *Sclerotinia sclerotiorum* os alvos silenciados foram eficientes no controle do próprio fungo e

da mesma forma no controle de *Botrytis cinerea* (MCLOUGHLIN *et al.*, 2018). O controle de amplo espectro também foi observado por Gu *et al.* (2019) quando plantas de trigo pulverizadas com dsRNA para o alvo β 2-tubulina de *Fusarium asiaticum*, mostraram redução dos sintomas associados a *Fusarium spp.*, mas também, a *Botrytis cinerea*, *Magnaporthe oryzae* e *Colletotrichum truncatum*.

Em um importante estudo desenvolvido por Qiao *et al.* (2021) foi observado que variações na habilidade de absorção do dsRNA estão diretamente relacionadas com a eficiência de silenciamento. Nesse estudo foi evidenciado que a absorção de RNA fita dupla (dsRNA) ocorre de forma eficiente nos patógenos *Botrytis cinerea*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Rhizoctonia solani*, *Aspergillus niger* e *Verticillium dahliae*; ocorre de forma bastante incipiente em *Trichoderma virens* e que não há qualquer sinal de absorção por *Colletotrichum gloeosporioides*. Quando realizada a aplicação tópica de dsRNA para diferentes alvos nesses fungos, foi observado que nos fungos capazes de absorver facilmente as moléculas de dsRNA os sintomas da doença eram significativamente reduzidos. Já a aplicação de dsRNA em patógenos com baixa eficiência de captação de RNA, não suprimiu a infecção ou fez reduzir os níveis de expressão dos genes alvo.

A pulverização foliar de dsRNA pode também ter como alvo um gene na própria planta hospedeira visando a supressão da doença. Esse é o caso, por exemplo, de genes relacionados a suscetibilidade das plantas a seus patógenos. Em videiras, um gene de suscetibilidade da planta ao patógeno *Plasmopara viticola*, agente causal do míldio, foi silenciado por dsRNA resultando em redução do crescimento do patógeno e de sua taxa de esporulação (MARCIANÒ *et al.*, 2021).

Por fim, destacamos o potencial de uso do RNAi ambiental no controle da principal doença que afeta a

sojicultura, a ferrugem asiática da soja, causada por *Phakopsora pachyrhizi*. A acadêmica do programa de mestrado em agronomia da UENP, Roberta Saturnino Costa, iniciou seu projeto procurando avaliar se seria possível utilizar a pulverização de dsRNA sobre folhas de soja para silenciamento de genes alvo no fungo. Naquela época, ainda não estava disponível o sequenciamento do genoma de *P. pachyrhizi* e havia apenas evidências da expressão de alguns componentes da maquinaria pelo fungo. Nesse estudo, apresentado em 2018 ao programa, ficou evidenciado que o fungo absorvia o sinal de silenciamento tanto a partir das células de soja parasitadas quanto diretamente. Além disso, foi observada redução significativa nos níveis de expressão dos alvos, bem como, na severidade dos sintomas da ferrugem. Posteriormente, Hu *et al.* (2020) também evidenciaram o potencial de uso de RNAi para *P. pachyrhizi* usando como alvos genes expressos nos momentos iniciais da infecção.

Considerando as informações disponíveis até o momento, é possível afirmar que plantas e fungos que possuem a via básica de RNAi, podem absorver RNA ambiental (dsRNA ou sRNA), amplificar e transmitir o sinal célula a célula (RNAi não-autônomo). Porém, há também na literatura relatos sobre variações nessas etapas do processo discutidas na seção seguinte. Assim, o uso eficiente da tecnologia de RNAi ambiental, via fungicidas de RNA dependerá num primeiro momento, do conhecimento dos mecanismos ativos nos organismos que compõem cada patossistema e da elaboração de estratégias desenhadas para atingir de forma eficiente o alvo.

RNA design

Um dos aspectos mais relevantes na aplicação da tecnologia do RNAi para a proteção de plantas está no fato de que com o avanço das técnicas de sequenciamento e da própria

bioinformática, dispõe-se hoje de uma vasta quantidade de bancos de dados públicos para variadas espécies. Portanto, diversos conjuntos de genes expressos por plantas e seus patógenos, nas mais variadas situações estão disponíveis. Tais conjuntos informam, por exemplo, genes expressos em situação de cultivo *in vitro*, em interações compatíveis e incompatíveis e ao longo de diferentes momentos do ciclo da doença. Assim, o uso de ferramentas de bioinformática possibilita a partir desse conjunto de dados, desenvolver estratégias para busca dos melhores alvos para fungicidas silenciadores gênicos. Além disso, a bioinformática pode ser usada como uma ferramenta poderosa na mitigação de possíveis efeitos negativos da tecnologia.

Diversos fatores influenciam no sucesso do RNAi para o controle de fungos, incluindo: (1) especificidade (estabelecer uma sequência que garanta o silenciamento do gene na espécie-alvo); (2) absorção e amplificação do sinal na planta e no patógeno; (3) meia-vida do dsRNA; (4) disponibilidade (captação eficiente) e (5) eficiência de silenciamento (BENNETT *et al.*, 2020; MAJUMDAR; RAJASEKARAN; CARY, 2017). De todos esses fatores é possível inferir que boas estratégias de bioinformática irão influenciar profundamente os fatores (1) especificidade e (5) eficiência, ambos muito relevantes para a segurança do produto e para a sua comercialização.

A especificidade do alvo certamente é o ponto mais crítico de desenvolvimento da tecnologia. Qualquer gene silenciado que não seja o alvo, na planta hospedeira ou em qualquer outro organismo é referido como um efeito “fora do alvo” (*off-target*). Para evitar esse efeito, depende-se da prospecção de genes alvo específicos, que não compartilhem alta identidade de DNA com outros loci genéticos da mesma espécie e de espécies *off-target*; o que é um grande desafio já que todos os seres vivos compartilham de um mesmo ancestral

comum. Porém, atualmente são muitos os métodos de triagem de sequências *in silico* para identificar bons candidatos, e uma vez alcançado esse objetivo, os riscos de efeitos adversos caem significativamente.

Quando falamos na eficiência de uso da tecnologia, dois aspectos distintos devem ser ponderados, a serem: a eficiência do silenciamento do gene e a eficiência em reduzir os sintomas da doença. A eficiência da tecnologia na redução dos sintomas da doença irá depender da função do alvo sobre o desenvolvimento do patógeno ou no seu potencial de estabelecer a doença. Para alcançar eficiência nesse aspecto algumas estratégias de seleção de genes alvo são possíveis como: (1) vias ou processos essenciais no patógeno, (2) virulência, (3) vias específicas do patógeno, (4) ortólogos e parálogos conservados, (5) genes com expressão ao longo da infecção, (6) genes de suscetibilidade na planta, (7) maquinaria de silenciamento do patógeno e (8) genes hubs.

Uma abordagem que funciona como uma ferramenta de triagem *in vivo* de genes em larga escala é o uso da transformação genética de protoplastos de fungos com vetores de silenciamento. Candidatos selecionados *in silico* podem ser triados usando-se essa ferramenta. Esse sistema é vastamente usado para identificar bons alvos em fungos como *Fusarium* ssp., *Magnaporthe* ssp. e *Phytophthora* ssp (MCDONALD *et al.*, 2005; NGUYEN *et al.*, 2008; WALKER *et al.*, 2008). O silenciamento do gene alvo nesses casos é avaliado quanto a sua influência na germinação ou no estabelecimento da doença. No entanto, há muitos fungos para os quais não há protocolos de transformação genética estabelecidos, inviabilizando a aplicação dessa estratégia.

As vias metabólicas essenciais ou específicas do patógeno estão na verdade, dentre as vias mais frequentemente usadas para a identificação de genes alvo. No caso dos fungos,

já se conhece algumas vias específicas para o reino como a biossíntese de quitina, componente da parede celular dos fungos, e genes relacionados a síntese do ergosterol.

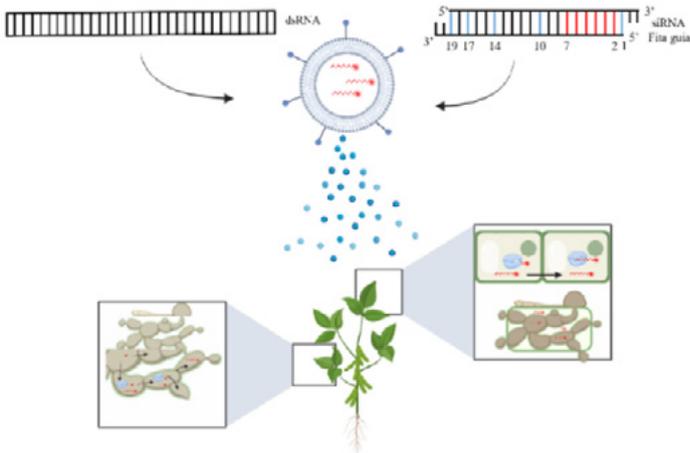
Porém, é interessante destacar também o potencial das outras estratégias de prospecção. Buscas por genes ortólogos e parálogos podem verificar a presença do gene alvo em outros organismos, destacando a história evolutiva do gene e fornecendo informações sobre sua conservação, o que pode nos ajudar a entender a importância de sua função dentro do reino ou grupo de patógenos e, ainda, possibilitar o uso para mais de um patógeno. A ferramenta *Basic Local Sequence Alignment* (BLAST) é amplamente utilizada para busca de genes ortólogos e parálogos a partir dos bancos de dados de sequências gênicas como GenBank - *National Center for Biotechnology Information*, *European Bioinformatics Institute* (EMBL) e DNA (*Data Bank of Japan*; *National Institute of Genetics*).

Outra estratégia para identificar genes potenciais alvos para o uso de dsRNA no controle de patógenos é o monitoramento da expressão gênica ao longo do desenvolvimento da doença. O *Filamentous Fungal Gene Expression Database* (FGED) é um dos bancos de dados de expressão de fungos que pode ser empregado nessas análises (ZHANG ZHAN; TOWNSEND, 2010). Alguns genes chave para o sucesso da infecção são expressos nas primeiras etapas de interação entre o patógeno e o hospedeiro e, quando usados como alvo, tem mostrado bons efeitos na supressão da doença (SHEN *et al.*, 2017). Tais dados de expressão podem também ser utilizados em análises de rede de co-expressão para identificação, genes que funcionam como “centro de controle”, conhecidos como *hubs*, ou seja, responsáveis pela interligação de diferentes processos relacionados ao estabelecimento do patógeno. O *fungi.guru* é uma plataforma dedicada para a visualização e análise de redes de coexpressão e co-função em fungos (LIM

et al., 2020). Quando desligados, genes *hubs* certamente possuem potencial alto de limitação ao desenvolvimento do patógeno. Como exemplo, é possível citar o *knockout* do fator de transcrição VpFSTF1 no fungo causador da doença cancro de valsa, *Valsa pyri*, que afetou a expressão de diversos genes envolvidos no metabolismo com redução significativa da virulência (KANGE *et al.*, 2020).

Após a identificação do(s) gene(s) alvo(s), a molécula de dsRNA deve ser cuidadosamente projetada para uma perfeita combinação de complementaridade e especificidade ao seu mRNA-alvo e espécie-alvo. A eficiência do silenciamento gênico, por sua vez, é totalmente dependente da seleção adequada de várias características as quais são resumidas na Figura 1.

Figura 1 - RNAi design e aplicação exógena. A aplicação exógena pode ser feita usando dsRNA ou siRNA. Os nucleotídeos coloridos de vermelho ou azul na molécula de siRNA correspondem a regiões que devem apresentar características específicas para maximizar a eficiência do silenciamento e evitar o efeito *off-target*. Em vermelho, a região que vai do nt 2 ao 7 a partir do 5' da fita guia do siRNA corresponde a região *seed* (não deve haver similaridade para essa região de 6nt com nenhuma região 3'UTR de RNAm não-alvos). Em azul estão marcadas outras posições importantes segundo as regras de eficiência estabelecidas por Ui-Tei, Reynolds e Amarzguiuirules. Na posição 1 deve haver A/U/C e não pode haver G, entre as posições de 1 a 5-7 o conteúdo deve ser A/U \geq 3, na posição 7 não deve haver uma G, na posição 10 uma U, na posição 14 uma A/U, na posição 17 deve haver uma A, na posição 19 G/C e não pode haver U; o duplex de 19 pb deve obedecer a regra de GC \geq 10 ou ter entre 30-52% de GC e não devem haver repetições internas



Fonte: os autores (2022)

Um dos aspectos principais a considerar entre essas características é o estudo da ocorrência de sequencias similares para as regiões do dsRNA denominadas de *seed* (nt 2–7) com mRNAs não-alvos já que a ocorrência de similaridade para essa região pode afetar significativamente o silenciamento do alvo e causar os efeitos *off-target* (KAMOLA *et al.*,

2015). Além disso, deve-se evitar usar sequências de dsRNA complementares às regiões do alvo dentro de 50–100 bp do códon de início e do códon de terminação; regiões intrônicas, extensões de quatro ou mais bases repetidas; regiões com um conteúdo de GC inferior a 30% ou superior a 60% e regiões para as quais se conheça polimorfismos de nucleotídeos únicos (SNPs) (JAIN; WADHWA, 2018).

Por esses motivos, muitos guias para desenho de dsRNA já foram propostos por diferentes grupos, como a regra Ui-Tei (UI-TEI, 2004), a regra de Reynolds (REYNOLDS *et al.*, 2004), a regra de Tuschl (ELBASHIR, 2002) e a combinação deles é frequentemente usada (Figura 1) em ferramentas computacionais disponíveis *online*, como, por exemplo: a *Si-MAXTM Develop tool da Eurofins MWG Operon*, a *Ambion siRNA Target Finder*, a *BLOCK-iTTM RNAi Designer da Invitrogen*, a *SVM RNAi 3.6*, o *siDESIGN Center da Dharmacon* (ELBASHIR, 2002) e *si-Fi Software* (LÜCK *et al.*, 2019). *OfftargetFinder*, por exemplo, é capaz de indicar quais espécies não-alvo têm 21 nt de correspondências usando um banco de dados de artrópodes, e permite ao operador examinar diferentes partes de um gene alvo para minimizar os *off-targets* (GOOD *et al.*, 2016). Este aplicativo foi usado para avaliar os prováveis efeitos não-alvo de moléculas de dsRNA desenvolvidas para genes alvo de *Diabrotica virgifera* nas espécies joaninha (*Coleomegilla macula*) e do besouro vermelho da farinha (*Tribolium castaneum*) (ALLEN, 2017).

Algumas das ferramentas acima citadas são capazes de prever todas as combinações de siRNA que podem ser obtidas a partir de um dsRNA, favorecendo a identificação de possíveis transcritos não-alvo similares. No entanto, é importante destacar que o grau de similaridade necessário para induzir o silenciamento não-alvo é ainda um assunto de pesquisa. Sem dúvidas, o método mais adotado para uma abordagem

off-target no design de dsRNA é o algoritmo BLAST, porém, esse algoritmo é limitado por sua incapacidade de prever alinhamentos de sequências curtas com precisão. Por esse motivo, outros algoritmos como siDirect, WU-BLAST e Bowtie, são mais indicados para esse fim.

De forma geral é possível assumir que os riscos associados aos efeitos *off-target* são a maior preocupação para o uso dos dsRNA no controle de patógenos. Até o momento, algumas pesquisas têm demonstrado que o silenciamento é um mecanismo altamente seletivo enquanto outros estudos contradizem esses dados e demonstram o silenciamento não-alvo por complementaridade de sequência parcial (JACKSON, 2006; PERSENGIEV; ZHU; GREEN, 2004).

Embora essas pesquisas de bioinformática baseadas na web possam ajudar na identificação de potenciais *off-targets*, sua eficácia é limitada, pois com exceção dos *off-targets* mais óbvios (sitios-alvo idênticos ou quase idênticos de espécies que se conhece a possível proximidade), pouco se pode prever dentro das inúmeras possibilidades (ZOTTI *et al.*, 2018). Soma-se a isso o fato de que ainda há um grande número de genomas não-alvos desconhecidos para que se possa realizar previsões seguras sobre a liberação do dsRNA no ambiente. Por outro lado, também é possível considerar que apenas o uso de ferramentas *in silico* possa superestimar um possível efeito *off-target* já que análises de similaridade de sequências não informam sobre a capacidade de absorção do dsRNA em outras espécies. Assim, apesar de não ser garantia, é óbvio que uma abordagem abrangente para prevenção e mitigação de risco inclui *design* baseado em bioinformática, mas também depende fortemente de dados biológicos.

O fungicida de RNA

A exploração da maquinaria de RNAi no desenvolvimento de “pesticidas de RNA” será responsável pela próxima geração de produtos dedicados ao controle tópico de pragas e doenças no campo. Atualmente, entretanto, ainda não há nenhum produto agrícola desenvolvido e comercializado que pretenda o uso tópico dessa tecnologia. Assim, é certo que ainda estamos numa fase de desenvolvimento da tecnologia de forma a permitir sua aplicação em larga escala.

Além das questões discutidas no tópico anterior quanto aos cuidados no desenho de uma molécula alvo-específica que tenha uma boa eficiência na redução dos sintomas da doença, outros fatores importantes a serem considerados para a exploração comercial são a determinação da concentração a ser usada, aumento da estabilidade do fungicida de RNA no campo, aumento da eficiência de absorção e a viabilidade da produção em larga escala.

A estabilidade da molécula de RNA nua no campo é muito afetada pelas condições ambientais como temperatura, molhamento, radiação UV, ação de nucleases e interações com microrganismos que podem interferir na fixação e ou absorção e degradação das moléculas na superfície das plantas (LI *et al.*, 2015). O encapsulamento das moléculas de dsRNA é, portanto, uma estratégia crucial para seu bom desempenho no ambiente e pode ser alcançado com o uso de nanopartículas, peptídeos de penetração celular, lipossomos, tecnologia *Apse RNA Containers* (ARCs)TM entre outras vias de encapsulamento que vêm sendo estudadas.

A quitosana é um dos polímeros mais usados para gerar nanopartículas de encapsulamento para dsRNA e siRNA. Ela é um polímero natural, de baixo custo, proveniente da quitina de crustáceos, biodegradável, não tóxico e capaz de ser metabolizada pelo corpo humano (DASS; CHOONG, 2010). A baixo

pH o grupo amino da quitosana, com sua carga positiva, torna-a solúvel em soluções orgânicas ácidas e as cargas iônicas dos grupos fosfato do dsRNA forçam uma ligação eletrostática condensando o dsRNA e a quitosana nas nanopartículas que, por sua vez, conferem ao RNA resistência à ação de nucleases do ambiente (CHRISTIAENS *et al.*, 2018).

Nanopartículas de argila ou Hidróxido Duplo Lamelar (HDL) conhecido como BioClay, também são capazes de proteger o dsRNA no ambiente. Sua ligação a dupla fita de RNA ocorre por força eletrostática, semelhante a quitosana. Mitter *et al.* (2017) demonstraram que nanopartículas de argila quando expostas ao ambiente reagem com a umidade e o dióxido de carbono e liberam de forma lenta o dsRNAs na superfície foliar. Nesse estudo foi relatado que o seu uso aumentou a proteção contra viroses por até 20 dias após uma única pulverização.

Além das nanopartículas uma opção muito interessante é o uso dos peptídeos de penetração celular *Cell Penetrating Peptides* (CPPs). Os CPPs são moléculas catiônicas com habilidade de atravessar a membrana transportando moléculas de RNA (MILLETTI, 2012). Seu uso está principalmente relacionado a proteção contra insetos-praga, mas já foi demonstrado que podem também carregar RNA aintifúngico (VEDADGHAVAMI; ZHANG; BAJPAYEE, 2020).

Os lipossomos são compostos de lipídios naturais, facilmente biodegradáveis e não tóxicos que por serem catiônicos permitem encapsular o dsRNA (SIMÕES *et al.*, 2005). O uso de lipossomos como estratégia de encapsulamento resultou tanto no aumento da estabilidade de moléculas de dsRNA quanto na sua absorção em insetos (LIN *et al.*, 2017) e podem ser uma alternativa viável para uso também contra os fungos.

Uma última abordagem seria o uso da tecnologia ARCs™ a qual consiste na utilização de bactérias para produção de

dsRNA já encapsulado. Plasmídeos que codificam proteínas de encapsulamento são co-transformadas com o que transcreve o dsRNA de interesse. As bactérias GM produzem subunidades de proteínas que se ligam em torno do dsRNA. Após a purificação e remoção das bactérias, o resultado é um dsRNA estável, encapsulado e pronto para pulverização, ou seja, a tecnologia ARC reúne a produção em larga escala por meio de bactérias GM a produção de moléculas já encapsuladas e prontas para uso. Nessa última abordagem, ocorre a produção de um fungicida de RNA caracterizado como um derivado de OGM, o que pode não ser interessante em alguns casos.

Há dois sistemas para produção do dsRNA, o sistema de produção *in vitro* no qual o dsRNA pode ser sintetizado por transcrição enzimática ou por síntese química, e o sistema de produção *in vivo*, onde se usa um OGM para produção das moléculas de dsRNA. O sistema de transcrição reversa por envolver enzimas é o de maior custo e, portanto, não aplicável a escala comercial. A síntese química representa a opção com segundo maior custo, mas ao mesmo tempo, possui vantagens muito atrativas como o potencial de inserção de modificações químicas no dsRNA que favoreçam sua estabilidade, absorção e pureza do produto. A opção de menor custo e maior rendimento ainda é o uso de *Escherichia coli* ou *Pseudomonas syringae* para expressão do dsRNA.

Na síntese *in vivo* é possível purificar o dsRNA do meio ou ainda, utilizar o próprio extrato bacteriano na pulverização como demonstrado por Tenllado *et al.* (2003). O uso desse sistema, no entanto, traz algumas desvantagens importantes ao processo, tais como: (1) o uso de *E. coli* pode trazer consequências a saúde humana e animal por se tratar de um patógeno animal; (2) o uso do produto purificado a partir de cultivo *in vivo* pode trazer contaminantes de origem bacteriana como bactérias e toxinas. Uma forma de driblar esses problemas é

pela escolha de um OGM não patogênico como é o caso da levedura *Y. lipolytica* (ÁLVAREZ-SÁNCHEZ *et al.*, 2018).

Ainda há muito o que avançar na exploração da tecnologia de RNAi ambiental para o controle de fitopatógenos, mas, o interesse no desenvolvimento da tecnologia por empresas e companhias tem aumentado significativamente. Para pulverizar um hectare são necessários de 2-10 gramas de dsRNA (ZOTTI *et al.*, 2018). O custo de produção de moléculas de RNA dupla fita já foi muito elevado, 1 g de dsRNA produzido por síntese química custava \$12.500 nos EUA em 2008, em 2018 passou a custar \$60. Assim, é possível observar que reduções significativas de custo já vêm acontecendo e que, portanto, o custo tende a cair ainda mais nos próximos anos.

Aspectos regulatórios

A exploração tecnológica do RNAi é área da biotecnologia, uma vez que envolve o uso inovador de processos biológicos no desenvolvimento de tecnologias. Ao se falar de biotecnologia, logo se lembra da engenharia genética e dos OGMs. No entanto, até a década de 70, o termo biotecnologia esteve associado a processos que não envolviam manipulação genética dos seres vivos. Somente a partir do desenvolvimento da tecnologia do DNA recombinante, que teve início a criação de uma nova engenharia, a engenharia genética. A tecnologia do DNA recombinante proporcionou uma revolução na genética com impactos na bioética que passou a contemplar as questões éticas decorrentes da manipulação genética, e com impactos no desenvolvimento de uma nova área da ciência, a biossegurança; termo empregado na década de 1970 na Conferência de Asilomar, na Califórnia, para tratar dos riscos inerentes a atividade humana e estratégias de contenção dos mesmos.

Na década de 90 e nos anos subsequentes, na iminência dos impactos que a manipulação genética poderia causar

sobre a vida no planeta, a sociedade e comunidade científica dedicaram-se a refletir sobre o tema e documentos universais foram publicados com o objetivo de impulsionar as discussões sobre o avanço da genética e seus impactos. Esses documentos (Convenção sobre diversidade biológica, Princípio da Equivalência Substancial, protocolo de Cartagena e outros), forneceram um norte para a elaboração de políticas públicas que visassem criar nos países uma estrutura organizacional e legislativa apta a possibilitar os avanços tecnológicos ao mesmo tempo que resguardasse os preceitos éticos e de direito da sociedade quanto a manutenção da privacidade e da biodiversidade.

Ainda nesta mesma década no Brasil, os sojicultores vivenciavam um dilema - tinham sacas e mais sacas de uma soja geneticamente modificada (OGM), resistente ao herbicida glifosato, e um impasse jurídico no país para comercializar a produção GM. Após muita discussão política e científica, no ano de 2005 foi aprovada a Lei de Biossegurança nº 11.105, dedicada a regulamentar todos os aspectos do uso de OGM, estabelecer a figura política do Conselho Nacional de Biossegurança (CNBS) e reestruturar a Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio).

A CTNBio, por sua vez, teve com a nova lei reafirmado e dimensionado o seu papel na regulamentação e fiscalização de todas as atividades que envolvessem OGMs e seus derivados. Assim, a CTNBio passou a estabelecer uma série de resoluções e instruções normativas para tratar do tema, todas construídas a partir dos princípios da precaução (Declaração do Rio sobre meio ambiente e desenvolvimento), da equivalência substancial (OECD) e da análise de risco caso a caso e rastreabilidade de OGMs e seus derivados (Protocolo de Cartagena, 2003).

Com o avanço da biotecnologia moderna, representado na atualidade pelas técnicas de edição genética (CRISPR) e

RNAi livre de transgenia, passou-se a modificar o ambiente de uma forma não considerada na Lei de 2005 (BRASIL, 2005) e nas regulamentações da própria CTNBio até o ano de 2018 (BRASIL, 2018). Porém, é importante destacar que ainda na ausência de produção de OGM, é a CTNBio a comissão nacional responsável pelo avanço legislativo na área nos termos da Lei de Biossegurança que diz: “A CTNBio deverá acompanhar o desenvolvimento e o progresso técnico e científico nas áreas de biossegurança, biotecnologia, bioética e afins...” (Lei de Biossegurança, 2005)

Diante desses novos desafios, a CTNBio editou a resolução normativa 16 que estabelece requisitos para encaminhamento de consultas à CTNBio quanto a atividades que envolvam as Técnicas Inovadoras de Melhoramento de Precisão (TIMPs). A resolução define as TIMPs como técnicas que podem originar um produto não considerado como um OGM ou derivado e, muito importante, faz referência a tecnologia de RNAi mas não se limita a ela. Segundo o disposto na resolução RN16, pesquisadores e empresas devem submeter consulta caso a caso a CTNBio que irá avaliar pontualmente se a TIMP pretendida será ou não considerada como um OGM ou derivado (Resolução Normativa Nº 16, 2018).

Porém, ainda que por vezes, produtos de RNAi usados como fungicidas para pulverização possam não ser considerados derivados de OGMs, permanece inalterada a amplitude de aplicação do princípio da precaução. Em 2020 a OECD (2020) publicou um importante documento sobre o uso de pesticidas de RNAi (*Considerations for the Environmental Risk Assessment of the Application of Sprayed or Externally Applied ds-RNA-Based Pesticides*) que novamente teve como objetivo informar a sociedade e promover nas nações discussões sobre possíveis uso, riscos e vias de contenção dos riscos associados aos pesticidas de RNAi.

No documento, a OECD (2020) preocupa-se principalmente com as questões relativas a aplicação direta da tecnologia (não GM), uma vez que as nações já possuem legislações próprias para a tecnologia que envolve os OGMs. A figura abaixo resume os aspectos de biossegurança associados a aplicação exógena de RNAi como pesticida segundo a OECD (2020). Uma análise geral permite observar ser possível dimensionar os riscos da tecnologia em função das estratégias usadas na definição do produto.

Figura 2 - Aspectos relativos a segurança do RNAi ambiental. Os efeitos ambientais estão relacionados as estratégias de produção do dsRNA e possíveis efeitos *off-target*. Os possíveis efeitos negativos à saúde humana relacionam-se as estratégias de produção do dsRNA e, portanto, podem também ter influência sobre seus efeitos negativos no ambiente



Fonte: os autores (2022)

Ainda não há no Brasil ou no mundo produtos de RNAi livre de OGM com uso na agricultura, mas já há um fármaco registrado nos EUA em 2018 e no Brasil em 2020, um medicamento composto por siRNAs que é direcionado ao fígado para

silenciar o gene mutante causador da amiloidose hereditária de transtirretina. Como os avanços na área humana são mais rápidos, espera-se que muitos dos aspectos relacionados ao risco de aplicação da tecnologia de RNAi venham de estudos clínicos em humanos. Tais estudos já apontam que há risco de silenciamento *off-target* e mostram potencial da tecnologia em gerar respostas inflamatórias de forma dose-dependente em humanos. Assim, será também fundamental avaliar os riscos associados ao uso do dsRNA, considerando aspectos relativos a respostas de alergenicidade ou toxicidade.

Considerações finais

A tecnologia de RNAi no controle de doenças na agricultura está ainda restrita ao desenvolvimento de cultivares GM para expressar RNAs interferentes. Entretanto, as plantas GM demandam um alto investimento de tempo e de recursos, podendo levar até 20 anos ou mais para atingir o mercado e requerer investimentos da ordem de bilhões de reais. Um dos aspectos de segurança fundamentais relacionado aos OGMs é que as plantas GMs oferecem o risco da disseminação do transgene pelo pólen ou semente de forma permanente no ambiente. Nesse sentido, vemos o RNAi ambiental ou exógeno como uma alternativa mais promissora, uma vez que não possuirá potencial de disseminação no ambiente, já que não se trata de um organismo vivo.

Além disso, é importante destacar que os novos fungicidas de RNA apresentarão potencial de evolução de resistência entre os fungos muito menor que o observado tanto para as plantas GM expressando siRNAs quanto para os fungicidas sintéticos. Isso é esperado porque os patógenos terão uma exposição muito mais limitada ao produto reduzindo, portanto, o potencial seletivo da tecnologia. Outro aspecto muito importante a considerar é o uso pós-colheita de fungicidas de

RNA em substituição aos químicos sintéticos, trazendo assim, mais segurança a saúde humana.

As características da tecnologia de aplicação exógena de RNA exploram muitos fatores que influenciam positivamente o seu devolvimento: evita transgenia; é ambientalmente mais adequada já que o alvo é específico e o produto tem permanência temporária no ambiente; pode ser usada no pós-colheita; e por último representam potencial de durabilidade maior no mercado já que mais dificilmente os fungos desenvolverão resistência aos fungicidas de RNA.

No Brasil, as questões relacionadas ao risco do RNAi serão avaliadas pela CTNBio em uma perspectiva caso a caso, ou seja, os processos serão avaliados individualmente para definir se o produto em questão deve ou não ser considerado como um OGM ou derivado. É claro que regulamentações futuras virão, muito provavelmente impulsionadas pelo próprio avanço da tecnologia e de seu uso no Brasil e no mundo.

Já há divulgação de que a empresa Syngenta® está desenvolvendo produtos a base de RNAi para controle de insetos em batata no Brasil, e que a Tropical Melhoramento & Genética (TMG) está estudando o desenvolvimento de um produto de RNA que tem como alvo o percevejo-da-soja. Certamente, ainda há importantes desafios a serem vencidos na transposição da genética da interferência em fungicidas com estabilidade, eficiência e escalonamento de produção aptos ao mercado. Porém, uma vez disponibilizados, esses e outros produtos a base de RNA representarão um marco para o controle de pragas e doenças na agricultura e muito provavelmente, reforçarão o potencial da genética para o desenvolvimento mais sustentável da sociedade moderna.

Referências

ALLEN, M. Comparison of RNAi Sequences in Insect-Resistant Plants to Expressed Sequences of a Beneficial Lady Beetle: A Closer Look at Off-Target Considerations. **Insects**, v. 8, n. 1, p. 27, 2017.

ÁLVAREZ-SÁNCHEZ, A. R.; ROMO-QUINONES, C.; ROSAS-QUIJANO, R. *et al.* Production of specific dsRNA against white spot syndrome virus in the yeast *Yarrowia lipolytica*. **Aquaculture Research**, v. 49, p. 480–491, 2018.

BARTEL D. P.; MicroRNAs: target recognition and regulatory functions. **Cell**. V. 136(2), p. 15-33, 2009.

BENNETT, M.; DEIKMAN, J.; HENDRIX, B.; IANDOLINO, A. Barriers to Efficient Foliar Uptake of dsRNA and Molecular Barriers to dsRNA Activity in Plant Cells. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p. 1–7, 2020.

BRASIL. **LEI Nº 11.105, DE 24 DE MARÇO DE 2005**. Regulamenta os incisos II, IV e V do § 1º do art. 225 da Constituição Federal, estabelece normas de segurança e mecanismos de fiscalização de atividades que envolvam organismos geneticamente modificados – OGM e seus derivados, 2005.

BRASIL. **Resolução Normativa Nº 16, de 15 de janeiro de 2018**. Estabelece os requisitos técnicos para apresentação de consulta à CTNBio sobre as Técnicas Inovadoras de Melhoramento de Precisão, 2018.

BRAUER, V. S.; REZENDE, C. P.; PESSONI, A. M., De PAULA, R. G.; RANGAPPA, K. S.; NAYAKA, S. C.; GUPTA, V.

K.; ALMEIDA, F. Antifungal Agents in Agriculture: Friends and Foes of Public Health. **Biomolecules**, v. 9, p. 521, 2019.

CATALANOTTO, C.; PALLOTTA, M.; REFALO, P.; SACHS, M. S.; VAYSSIE, L.; MACINO, G.; COGONI, C. Redundancy of the two dicer genes in transgene-induced posttranscriptional gene silencing in *Neurospora crassa*. **Molecular and Cellular Biology**, v. 24, p. 2536–2545, 2004.

CAGLIARI, D.; DOS SANTOS, E. A.; DIAS, N.; SMAGGHE, G.; ZOTTI, M. Nontransformative strategies for RNAi in crop protection. *In*: Singh A, Khan MH (eds). **Modulating gene expression—abridging the RNAi and CRISPR-Cas9 technologies**. IntechOpen, London, p. 1–18, 2019.

CHOI, J.; KIM, K.T.; JEON, J.; WU, J.; SONG, H.; ASIENBU, F.O.; LEE, Y.H. funRNA: a fungi-centered genomics platform for genes encoding key components of RNAi. **BMC Genomics**, v. 15, 2014.

CHRISTIAENS, O.; DZHAMBAZOVA, T.; KOSTOV, K.; ARPAIA, S.; JOGA, M.R.; URRU, I.; SWEET, J.; SMAGGHE, G. Literature review of baseline information on RNAi to support the environmental risk assessment of RNAi-based GM plants. **EFSA Supporting publication**, v. 15, 2018.

CROPLIFE. 2021. Disponível em: <https://croplifebrasil.org/>. Acesso em: 13 de jul. de 2021.

DALAKOURAS, A.; WASSENEGGER, M.; McMILLAN, J. N.; CARDOZA, V.; MAEGELE, I.; DADAMI, E.; RUNNE, M.; KRCZAL, G.; WASSENEGGER, M. Induction of Silencing

in Plants by High-Pressure Spraying of In vitro-Synthesized Small RNAs. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, p. 1327, 2016.

DANG, Y.; YANG, Q.; XUE, Z.; LIU, Y. RNA Interference in Fungi: Pathways, Functions, and Applications. **Eukaryotic Cell**, p. 1148-1155, 2011.

DEAN, R.; VAN KAN, J. A.; PRETORIUS, Z. A.; HAMMOND-KOSACK, K. E.; DI PIETRO, A.; SPANU, P. D.; FOSTER, G. D. The Top 10 fungal pathogens in molecular plant pathology. **Molecular Plant Pathology**, 13(4), 414-430, 2012.

DASS, C.R.; CHOONG, P.F.M. Gene therapy for osteosarcoma: Steps towards clinical studies. **Journal of Pharmacy and Pharmacology**, v. 60, p. 405-413, 2008.

DUBROVINA, A. S.; KISELEV, K. V. Exogenous RNAs for Gene Regulation and Plant Resistance. **Int J Mol Sci**, v. 20, n.9, p. 2282, 2019.

ELBASHIR, S. M.; HARBORTH, J.; LENDECKEL, W.; YALCIN, A.; WEBER, K.; TUSCHL, T. Duplexes of 21-nucleotide RNAs mediate RNA interference in cultured mammalian cells. **Nature**, v. 411, p. 494-498, 2001.

ELBASHIR, S. Analysis of gene function in somatic mammalian cells using small interfering RNAs. **Methods**, v. 26, n. 2, p. 199-213, 2002.

ELSKUS, A. A. **Toxicity, sublethal effects, and potential modes of action of select fungicides on freshwater fish and invertebrates**: U.S. Geological Survey Open-File Report 2012-1213, p. 42, 2012.

FIRE, A.; XU, S.; MONTGOMERY, M. K.; KOSTAS, S. A.; DRIVER, S. E.; MELLO, C. C. Potent and specific genetic interference by double-stranded RNA in *Caenorhabditis elegans*. **Nature**, v. 391, n. 6669, p. 806-801, 1998.

FISHER, M. C.; HENK, D. A.; BRIGGS, C. J.; BROWNSTEIN, J. S.; MADOFF, L. C.; MCCRAW, S. L.; GURR, S. J. Emerging fungal threats to animal, plant and ecosystem health. **Nature**, v. 484, p. 186–194, 2012.

GAO, D.; SUN, Q.; HU, B.; ZHANG, S. A Framework for Agricultural Pest and Disease Monitoring Based on Internet-of-Things and Unmanned Aerial Vehicles. **Sensors**, v. 20, p. 1487, 2020.

GOOD, R. T.; VARGHESE, T.; GOLZ, J. F.; RUSSELL, D. A.; PAPANICOLAOU, A.; EDWARDS, O.; ROBIN, C. OfftargetFinder: a web tool for species-specific RNAi design. **Bioinformatics**, v. 32, n. 8, p. 1232–1234, 2016.

GU, K. X.; SONG, X. S.; XIAO, X. M.; DUAN, X. X.; WANG, J. X.; DUAN, Y. B.; HOU, Y. P.; ZHOU, M. G. A $\beta 2$ -tubulin dsRNA derived from *Fusarium asiaticum* confers plant resistance to multiple phytopathogens and reduces fungicide resistance. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v 153, p. 36–46, 2019.

HU, D.; CHEN, Z. Y.; ZHANG, C.; GANIGER, M. Reduction of *Phakopsora pachyrhizi* infection on soybean through host-and spray-induced gene silencing. **Molecular plant pathology**, v. 21, p. 794–807, 2020.

JAIN, C. K.; WADHWA, G. Computational Tools: RNA Interference in Fungal Therapeutics. *In: **Current trends in Bioinformatics: An Insight***, Springer, Singapore, pp. 207–225, 2018.

JACKSON, A. L. Widespread siRNA “off-target” transcript silencing mediated by seed region sequence complementarity. **RNA**, v. 12, n. 7, p. 1179–1187, 2006.

KAMOLA, P. J.; NAKANO, Y.; TAKAHASHI, T.; WILSON, P. A.; UI-TEI, K. The siRNA Non-seed Region and Its Target Sequences Are Auxiliary Determinants of Off-Target Effects. **PLoS Computational Biology**, v. 11, n. 12, p. 1–17, 2015.

KANGE, A. M.; XIA, A.; SI, J.; LI, B.; ZHANG, X.; AI, G.; HE, F.; DOU, D. The Fungal-Specific Transcription Factor VpFSTF1 Is Required for Virulence in *Valsa pyri*. **Front Microbiol**, v. 10, p. 1–14, 2020.

KOCH, A.; BIEDENKOPF, D.; FURCH, A.; WEBER, L.; ROSSBACH, O.; ABDELLATEF, E.; LINICUS, L.; JOHANNSMIEIER, J.; JELONEK, L.; GOESMANN, A.; CARDOZA, V.; MCMILLAN, J.; MENTZEL, T.; KOGEL, K. H. An RNAi-Based Control of *Fusarium graminearum* Infections Through Spraying of Long dsRNAs Involves a Plant Passage and Is Controlled by the Fungal Silencing Machinery. **PLOS Pathogens**, v. 12, n. 10, 2016.

LI, H.; GUAN, R.; GUO, H.; MIAO, X. New insights into an RNAi approach for plant defence against piercing-sucking and stem-borer insect pests. **Plant, Cell & Environment**, v. 38, p. 2277–2285, 2015.

LIM, J. J. J.; KOH, J.; MOO, J. R.; VILLANUEVA, E. M. F.; PUTRI, D. A.; LIM, Y. S.; SEETOH, W. S.; MULUPURI, S.; NG, J. W. Z.; NGUYEN, N. L. U. Fungi.guru: Comparative genomic and transcriptomic resource for the fungi kingdom. *Comput Struct Biotechnol J*, v. 18, p. 3788–3795, 2020.

LIN, Y. H.; HUANG, J. H.; LIU, Y.; BELLES, X.; AND LEE, H. J. Oral delivery of dsRNA lipoplexes to German cockroach protects dsRNA from degradation and induces RNAi response. *Pest Management Science*, v. 73, p. 960–966, 2017.

LÜCK, S.; KRESZIES, T.; STRICKERT, M.; SCHWEIZER, P.; KUHLMANN, M.; DOUCHKOV, D. siRNA-Finder (si-Fi) Software for RNAi-Target Design and Off-Target Prediction. *Frontiers in Plant Science*, v. 10, p. 1–12, 2019.

MAJUMDAR, R.; RAJASEKARAN, K.; CARY, J. W. RNA Interference (RNAi) as a Potential Tool for Control of Mycotoxin Contamination in Crop Plants: Concepts and Considerations. *Front Plant Sci*, v.8, p. 200, 2017.

MARCIANÒ, D.; RICCIARDI, V.; MARONE, F. E.; PASSERA, A.; BIANCO, P. A.; FAILLA, O.; CASATI, P.; MADDALENA, G.; DE LORENZIS, G.; TOFFOLATTI, S. L. RNAi of a Putative Grapevine Susceptibility Gene as a Possible Downy Mildew Control Strategy. *Front Plant Sci*, v. 12, 2021.

MATRANGA, C.; ZAMORE, P. D. Small silencing RNAs. *Curr Biol*, v. 17, n. 18, p. 89-93, 2007.

McDONALD, T.; BROWN, D.; KELLER, N. P.; HAMMOND, T. M. RNA Silencing of Mycotoxin Production in *Aspergillus* and

Fusarium Species. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, v. 18, n. 6, p. 539–545, 2005.

MCLOUGHLIN, A. G.; WYTINCK, N.; WALKER, P. L.; GIRARD, I. J.; RASHID, K. Y.; MOLNÁR, A.; MELNYK, C.; BAULCOMBE, D. Silencing signals in plants: A long journey for small RNAs. *Genome biology*, v. 12, p. 215, 2011.

MILLETTI, F. Cell-penetrating peptides: Classes, origin, and current landscape. *Drug Discovery Today*, v. 17, p. 850–860, 2012.

MITTER, N.; WORRALL, E. A.; ROBINSON, K. E.; LI, P.; JAIN, R. G.; TAOCHY, C.; XU, Z. P. Clay nanosheets for topical delivery of RNAi for sustained protection against plant viruses. *Nature Plants*, v. 3(2), 2017.

MORINAGA, H.; YANASE, T.; NOMURA, M.; OKABE, T.; GOTO, K.; HARADA, N.; NAWATA, H. A benzimidazole fungicide, benomyl, and its metabolite, carbendazim, induce aromatase activity in a human ovarian granulose-like tumor cell line (KGN). *Endocrinology*, v. 145, p. 1860–1869, 2004.

MUMBANZA, F. M.; KIGGUNDU, A.; TUSIIME, G.; TUSHEMEREIRWE, W. K.; NIBLETT, C.; BAILEY, A. In vitro antifungal activity of synthetic dsRNA molecules against two pathogens of banana, *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* and *Mycosphaerella fijiensis*. *Pest Management Science*, v. 69, n. 10, p. 1155–1162, 2013.

NGUYEN, Q. B.; KADOTANI, N.; KASAHARA, S.; TOSA, Y.; MAYAMA, S.; NAKAYASHIKI, H. Systematic functional analysis of calcium-signalling proteins in the genome of the

rice-blast fungus, *Magnaporthe oryzae*, using a high-throughput RNA-silencing system. **Molecular Microbiology**, v.68, n. 6, p. 1348–1365, 2008.

OECD. Considerations for the Environmental Risk Assessment of the Application of Sprayed or Externally Applied ds-RNA-Based Pesticides. **Series on Pesticides**, n. 104, pp. 174, 2020.

PARKER, G.; ECKERT, D.; BASS, B. RDE-4 preferentially binds long dsRNA and its dimerization is necessary for cleavage of dsRNA to siRNA. **RNA**, v. 12, p. 807–818, 2006.

PERSENGIEV, S. P.; ZHU, X.; GREEN, M. R. Nonspecific, concentration-dependent stimulation and repression of mammalian gene expression by small interfering RNAs (siRNAs). **RNA**, v. 10, n. 1, p. 12–18, 2004.

PREALL, J. B.; SONTHEIMER, E. J. **RNAi**: RISC gets loaded. *Cell*, v. 123, n. 4, p. 543-5, 2005.

QIAO, L.; LAN, C.; CAPRIOTTI, L.; AH-FONG, A.; SANCHEZ, J. N.; HAMBY, R.; HELLER, J.; ZHAO, H.; GLASS, N. L.; JUDELSON, H. S.; *et al.* Spray-induced gene silencing for disease control is dependent on the efficiency of pathogen RNA uptake. **Plant Biotechnology Journal**, 2021.

REYNOLDS, A.; LEAKE, D.; BOESE, Q.; SCARINGE, S.; MARSHALL, W. S.; KHVOROVA, A. Rational siRNA design for RNA interference. **Nature Biotechnology**, v. 22, n. 3, p. 326–330, 2004.

SANTOS, R.; PICCOLI, C.; CREMONESE, C.; FREIRE, C. Thyroid and reproductive hormones in relation to pesticide

use in an agricultural population in Southern Brazil. **Environ Res**, v. 173, p. 221–231, 2019.

SHEN, Y.; LIU, N.; LI, C.; WANG, X.; XU, X.; CHEN, W.; XING, G.; ZHENG, W. The early response during the interaction of fungal phytopathogen and host plant. **Open Biology**, v. 7, n. 5, 2017.

SIMÕES, S.; FILIPE, A.; FANCA, H.; MANO, M.; PENACHO, N.; DUZGUNES, N.; DE LIMA, M. P. Cationic liposomes for gene delivery. **Expert Opinion on Drug Delivery**, v. 2, p. 237–254, 2005.

STANLEY, J.; PREETHA, G. Pesticide Toxicity to Microorganisms: Exposure, Toxicity and Risk Assessment Methodologies. **Pestic. Toxic. to Non-target**, Org. Springer Netherlands, Dordrecht, pp 351–410, 2016.

TENLLADO, F.; MARTINEZ-GARCIA, B.; VARGAS, M.; DÍAZ-RUÍZ, J. Crude extracts of bacterially expressed dsRNA can be used to protect plants against virus infections. **BMC Biotechnology**, v. 3, n. 3, 2003.

UI-TEI, K. Guidelines for the selection of highly effective siRNA sequences for mammalian and chick RNA interference. **Nucleic Acids Research**, v. 32, n. 3, p. 936–948, 2004.

VEDADGHAVAMI, A.; ZHANG, C.; BAJPAYEE, A.G. Overcoming negatively charged tissue barriers: Drug delivery using cationic peptides and proteins. **Nano Today**, v. 34, 2020.

XU, J.; XIONG, H.; ZHANG, X.; MUHAYIMANA, S.; LIU, X.; XUE, Y.; HUANG, Q. Comparative cytotoxic effects of five commonly used triazole alcohol fungicides on human cells of different tissue types. **J Environ Sci Heal Part B**, v. 55, p. 438–446, 2020.

WALKER, C. A.; KÖPPE, M.; GRENVILLE-BRIGGS, L. J.; AVROVA, A. O.; HORNER, N. R.; McKINNON, A. D.; WHISSON, S. C.; BIRCH, P. R. J.; WEST, P. V. A putative DEAD-box RNA-helicase is required for normal zoospore development in the late blight pathogen *Phytophthora infestans*. **Fungal Genetics and Biology**, v. 45, n. 6, 954–962, 2008.

WANG, M.; WEIBERG, A.; LIN, F. M.; THOMMA, B. P. H. J.; HUANG, H. D.; JIN, H. Bidirectional cross-kingdom RNAi and fungal uptake of external RNAs confer plant protection. **Nature Plants**, v. 2, n. 10, p. 16151, 2016.

WERDER, E.J.; ENGEL, L. S.; SATAGOPAN, J.; BLAIR, A.; KOUTROS, S.; LERRO, C. C.; ALAVANJA, M. C.; SANDLER, D. P.; BEANE FREEMAN, L. E. Herbicide, fumigant, and fungicide use and breast cancer risk among farmers' wives. **Environ Epidemiol**, Philadelphia, PA, v. 4: e097, 2020.

WERNER, B.T.; GAFFAR, F.Y.; SCHUEMANN, J.; BIEDENKOPF, D.; KOCH, A.M. RNA-spray-mediated silencing of *Fusarium graminearum* AGO and DCL genes improve Barley disease resistance. **Frontiers in Plant Science**. v. 11, 2020.

WINSTON, W. M.; SUTHERLIN, M.; WRIGHT, A. J.; FEINBERG, E. H.; HUNTER, C. P. *Caenorhabditis elegans* SID-2 is required for environmental RNA interference.

Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 104, n. 25, p. 10565-10570, 2007.

ZHANG, Z.; TOWNSEND, J.P. The filamentous fungal gene expression database (FFGED). **Fungal Genet Biol**, v. 47, p. 199–204, 2010.

ZOTTI, M.; SANTOS, E.A.; CAGLIARI, D.; CHRISTIAENS, O.; TANING, C. N. T.; SMAGGHE, G. RNA interference technology in crop protection against arthropod pests, pathogens and nematodes. **Pest Management Science**, p. 1239–1250, 2018.

SOBRE OS AUTORES

Alexandre Paludetto, Mestrado em agronomia pela Universidade Estadual do Norte do Paraná (UENP), Campos Luiz Meneghel, Professor da Universidade do Norte do Paraná (UNOPAR).

Contato: a_paludetto@hotmail.com

Bruna Aparecida Guide, doutorado e pós-doutorado em Agronomia pela Universidade Estadual de Londrina (UEL), é Professora Da Faculdade Pitágoras Londrina e Assistente de Desenvolvimento Técnico da Nutricrop - Ponto Rural.

Contato: bruna.guide@kroton.com.br

Erika Cosendey Toledo de Mello Peixoto, Médica Veterinária com doutorado pela (UNESP), e pós-doutorado pela (UNESP), é Professora Associada da Universidade Estadual do Norte do Paraná (UENP/*Campus* CLM), pesquisadora do Grupo de Pesquisa e Extensão em Medicina Veterinária Sustentável.

Contato: emellopeixoto@uenp.edu.br

Flávio Guilherme dos Santos, Graduado em Ciências Biológicas pelo Centro Universitário de Ourinhos (Unifio), Mestre em Agronomia pela Universidade Estadual do Norte do Paraná (UENP). Atualmente está na função de Analista de Sustentabilidade na Votorantim Energia.

Contato: flavio.santos@venergia.com.br.

Gabriel Simili de Oliveira, Médico Veterinário Mestrando em (UNIOESTE), pesquisador dos NUPEL - Núcleo de Pesquisa e Estudo da Cadeia Produtiva do Leite (UEM) e Estudos em Qualidade do Leite, Alimentação e digestibilidade em Ruminantes – QUALHADA (UNIOESTE).

Contato: gabriel.simili@hotmail.com

Gabriela Souza Doneze, Mestrado em agronomia pela Universidade Estadual do Norte do Paraná (UENP), é doutoranda do Programa de Agronomia da Universidade Estadual de Londrina (UEL).

Contato: gabriela.doneze@uel.br

Giovanna Letícia Poltronieri da Silva, Bacharel em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual do Norte do Paraná.

Contato: gpoltronieri21@gmail.com

Guilherme Henrique Teixeira Alves, mestrado em Agronomia pela Universidade Estadual do Norte do Paraná (UENP/CLM).

Contato: ghtalves@gmail.com

Jael Simões Santos Rando, doutorado em Agronomia pela Universidade Estadual Paulista (UNESP/FCA), é Professora Associada da Universidade Estadual do Norte do Paraná (UENP/CLM), pesquisadora e membro do Grupo de Pesquisa Produção e Fitossanidade de Plantas Hortícolas.

Contato: jael@uenp.edu.br

Leopoldo Sussumu Matsumoto, doutorado em Agronomia pela Universidade Estadual de Londrina e pós-doutorado em Biotecnologia do Solo pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA SOJA, é Professor Associada da Universidade Estadual do Norte do Paraná (UENP), pesquisador e líder do Grupo de Pesquisa Microbiologia.

Contato: leopoldo@uenp.edu.br

Marco Antonio Gandolfo, mestrado pela Universidad Nacional de La Plata e doutorado pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (Unesp), é Professor Associado da Universidade Estadual do Norte do Paraná (UENP), pesquisador do Núcleo de Investigação em Tecnologia de Aplicação e Máquinas Agrícolas (NITEC).

Contato: gandolfo@uenp.edu.br

Marcos Augusto Alves da Silva, Doutorado em Zootecnia pela Universidade Estadual de Maringá (UEM), Professor Associado da Universidade Estadual do Norte do Paraná (UENP), pesquisador e líder do Grupo de Pesquisa Produção e Nutrição de Monogástricos.

Contato: marcosilva@uenp.edu.br

Mayra Costa da Cruz Gallo de Carvalho, pós-doutorado na área de biologia molecular pela Embrapa Soja, doutorado em Agronomia (ESALQ-USP), é Professora Associada da Universidade Estadual do Norte do Paraná (UENP), e professora (PPAGRO), pesquisadora e líder do Grupo de Pesquisa em Fitopatologia molecular (FITOMOL).

Contato: mayra@uenp.edu.br

Michaela Fernandes Sena, Bacharel em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual do Norte do Paraná.

Contato: michaelafsena@gmail.com

Nixau Wauters Macedo, mestre em Agronomia pela UENP (2022), graduado em agronomia pela UENP (2020).

Oriel Tiago Kölln – Engenheiro Agrônomo, com mestrado e Doutorado pelo Centro de Energia Nuclear na Agricultura – CENA/USP, professor Adjunto da Universidade Estadual do Norte do Paraná – UENP, líder do grupo de pesquisa em Adução e Fertilidade do solo – GPAFS.

Contato: oriel.kolln@uenp.edu.br

Paula Fernanda de Azevedo Ribeiro, Mestre em Agronomia pela Universidade Estadual do Norte do Paraná. Doutoranda em Agronomia pela Universidade Estadual de Londrina.

Contato: paula.fer.azevedo@hotmail.com

Petrônio Pinheiro Porto, Doutorado em Zootecnia pela Universidade Estadual de Maringá (2005), professor associado da Universidade Estadual do Norte do Paraná, Campus Luiz Meneghel (UENP/CLM), membro do grupo de pesquisa Produção Agropecuária Sustentável.

Contato: petronio@uenp.edu.br

Rafael Alvim Gonzaga de Oliveira, mestrado em Agronomia pela Universidade Estadual do Norte do Paraná (UENP/CLM).

Contato: rafael.ago@gmail.com

Rafael Antonio Sbardella, Médico Veterinário e Mestre em Agronomia pela Universidade Estadual do Norte do Paraná (UENP/Campus CLM), pesquisador do Grupo de Pesquisa Produção Agropecuária Sustentável.

Contato: rafaelsbardella@hotmail.com

Roberta Saturnino Costa, doutoranda em genética e biologia molecular pela UEL, mestre em Agronomia pela UENP (2019) e graduada em Agronomia pela UENP (2015).

Rodrigo de Souza Poletto, Biólogo pela UNESP, Doutor em Ciências Biológicas pela UNESP. Atualmente é professor na Universidade Estadual do Norte do Paraná (UENP) atuando também nos programas (PPED) e (PPAGRO). É chefe do Laboratório Interdisciplinar de Pesquisa, Extensão e Ensino de Botânica e Educação Ambiental (LIPEEBEA).

Contato: rodrigopoletto@uenp.edu.br

Rone Batista de Oliveira, doutorado pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), Professor Adjunto da Universidade Estadual do Norte do Paraná (UENP), pesquisador e extensionista do Núcleo de Investigação em Tecnologia de Aplicação e Máquinas Agrícolas (NITEC).

Contato: rone@uenp.edu.br

Sérgio Ricardo Silva, Engenheiro Agrônomo com mestrado em Fitotecnia e doutorado em Solos e Nutrição de Plantas pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), é Pesquisador Científico da Embrapa Florestas em Sistemas de Produção Sustentáveis.

Contato: sergio.ricardo@embrapa.br

Silvestre Bellettini, mestrado em Fitotecnia pela ESALQ/USP, doutorado em Agricultura pela UNESP/FCA, é Professor Associado C e pesquisador da Universidade Estadual do Norte do Paraná (UENP/CLM).

Contato: bellettini@uenp.edu.br

Talita Rafaela Lima, graduada em Ciências Biológicas pela UENP (2022).

Contato: talitarafaelalima1234@gmail.com

Valéria Stefania Lopes Caitar, doutora em genética e biologia molecular pela UEL (2018), especialista em bioinformática pela UTFPR (2014) e graduada em Ciências Biológicas pela UNIFIL (2010). Atualmente atua como pós-doutora associada na Universidade do Tennessee nos Estados Unidos da América.

Victor Ângelo Primo Bernardes, Graduado em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual do Norte do Paraná - UENP. Atualmente é mestrando no Programa de Mestrado em Agronomia – PPAGRO.

Contato: victorangelop.vp@gmail.com

Viviane Sandra Alves, doutorado pela Universidade Federal de Lavras (UFLA), pós-doutorado pela Universidade estadual de Londrina (UEL), é Professora Associada da Universidade Estadual do Norte do Paraná (UENP), pesquisadora e líder do Grupo de Pesquisa em Entomologia e Controle Microbiano.

Contato: vivialves@uenp.edu.br

Situado na cidade de Bandeirantes, região do norte pioneiro do estado do Paraná, o Programa de Mestrado em Agronomia (PPAGRO) da Universidade Estadual do Norte do Paraná (UENP) foi criado com a missão de formar profissionais qualificados para gerar e difundir conhecimentos e tecnologias e, assim, promover o desenvolvimento da produção agropecuária, considerando que as atividades dos setores agrícola e pecuário são importantes pilares do crescimento econômico e desenvolvimento social, conduzindo a sociedade à prosperidade e à segurança alimentar, com sanidade e sustentabilidade ambiental.

Neste contexto, o PPAGRO da UENP possui a área de concentração em 'Sistemas para Produção Agropecuária Sustentável' e duas linhas de pesquisa, 'Produção agropecuária sustentável' e 'Sanidade vegetal', que se interagem e se encontram inseridas nesse novo conceito do setor agropecuário, focando no desenvolvimento de projetos que explorem o potencial produtivo com um viés na sustentabilidade.

Esta obra, que apresentamos à comunidade acadêmica e ao público rural, foi concebida com o objetivo de proporcionar aos leitores uma apresentação das áreas de pesquisas dos professores integrantes do PPAGRO, bem como compartilhar alguns resultados de pesquisa e inovação para a agropecuária, desenvolvidas no norte pioneiro do Paraná

