

Fungos e bactérias de importância agrícola utilizados no controle biológico

Uma prospecção científica



Nairane da Silva Rosa-Leão
Jessica Costa Silva
Beatriz de Aquino Marques da Costa
Sabrina Roberta Santana da Silva
Vagne de Melo Oliveira
Ana Lúcia Figueiredo Porto

Fungos e bactérias de importância agrícola utilizados no controle biológico

Uma prospecção científica



Nairane da Silva Rosa-Leão
Jessica Costa Silva
Beatriz de Aquino Marques da Costa
Sabrina Roberta Santana da Silva
Vagne de Melo Oliveira
Ana Lúcia Figueiredo Porto

FUNGOS E BACTÉRIAS DE IMPORTÂNCIA AGRÍCOLA UTILIZADOS NO CONTROLE BIOLÓGICO: UMA PROSPECÇÃO CIENTÍFICA

Edição 1

Belém-PA



2021

© 2021 Edição brasileira
by RFB Editora
© 2021 Texto
by Autor(es)
Todos os direitos reservados

RFB Editora
Home Page: www.rfbeditora.com
Email: adm@rfbeditora.com
WhatsApp: 91 98885-7730
CNPJ: 39.242.488/0001-07
R. dos Mundurucus, 3100, 66040-033, Belém-PA

Diagramação

Danilo Wothon Pereira da Silva

Design da capa

Pryscila Rosy Borges de Souza

Imagens da capa

www.canva.com

Revisão de texto

Os autores

Bibliotecária

Janaina Karina Alves Trigo Ramos

Gerente editorial

Nazareno Da Luz

<https://doi.org/10.46898/rfb.9786558892168>

Catálogo na publicação
Elaborada por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

F981

Fungos e bactérias de importância agrícola utilizados no controle biológico: uma prospecção científica / Nairane da Silva Rosa-Leão, Jessica Costa Silva, Beatriz de Aquino Marques da Costa, et al. – Belém: RFB, 2021.

Outros autores

Sabrina Roberta Santana da Silva

Vagne de Melo Oliveira

Ana Lúcia Figueiredo Porto

Livro em PDF

46 p., il.

ISBN: 978-65-5889-216-8

DOI: 10.46898/rfb.9786558892168

1. Pragas agrícolas - Controle biológico. I. Rosa-Leão, Nairane da Silva. II. Silva, Jessica Costa. III. Costa, Beatriz de Aquino Marques da. IV. Título.

CDD 632.96

Índice para catálogo sistemático

I. Pragas agrícolas - Controle biológico



Todo o conteúdo apresentado neste livro, inclusive correção ortográfica e gramatical, é de responsabilidade do(s) autor(es).

Obra sob o selo *Creative Commons*-Atribuição 4.0 Internacional. Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuam o devido crédito pela criação original.

Conselho Editorial

Prof. Dr. Ednilson Sergio Ramalho de Souza - UFOPA (Editor-Chefe)

Prof.^a Dr.^a. Roberta Modesto Braga-UFPA

Prof. Dr. Laecio Nobre de Macedo-UFMA

Prof. Dr. Rodolfo Maduro Almeida-UFOPA

Prof.^a Dr.^a. Ana Angelica Mathias Macedo-IFMA

Prof. Me. Francisco Robson Alves da Silva-IFPA

Prof.^a Dr.^a. Elizabeth Gomes Souza-UFPA

Prof.^a Dr.^a. Neuma Teixeira dos Santos-UFRA

Prof.^a Ma. Antônia Edna Silva dos Santos-UEPA

Prof. Dr. Carlos Erick Brito de Sousa-UFMA

Prof. Dr. Orlando José de Almeida Filho-UFSJ

Prof.^a Dr.^a. Isabella Macário Ferro Cavalcanti-UFPE

Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares-UFPI

Prof.^a Dr.^a. Welma Emidio da Silva-FIS

Comissão Científica

Prof. Dr. Laecio Nobre de Macedo-UFMA

Prof. Me. Darlan Tavares dos Santos-UFRJ

Prof. Dr. Rodolfo Maduro Almeida-UFOPA

Prof. Me. Francisco Pessoa de Paiva Júnior-IFMA

Prof.^a Dr.^a. Ana Angelica Mathias Macedo-IFMA

Prof. Me. Antonio Santana Sobrinho-IFCE

Prof.^a Dr.^a. Elizabeth Gomes Souza-UFPA

Prof. Me. Raphael Almeida Silva Soares-UNIVERSO-SG

Prof.^a Dr.^a. Andréa Krystina Vinente Guimarães-UFOPA

Prof.^a Ma. Luisa Helena Silva de Sousa-IFPA

Prof. Dr. Aldrin Vianna de Santana-UNIFAP

Prof. Me. Francisco Robson Alves da Silva-IFPA

Prof. Dr. Marcos Rogério Martins Costa-UnB

Prof. Me. Márcio Silveira Nascimento-IFAM

Prof.^a Dr.^a. Roberta Modesto Braga-UFPA

Prof. Me. Fernando Vieira da Cruz-Unicamp

Prof.^a Dr.^a. Neuma Teixeira dos Santos-UFRA

Prof. Me. Angel Pena Galvão-IFPA

Prof.^a Dr.^a. Dayse Marinho Martins-IEMA

Prof.^a Ma. Antônia Edna Silva dos Santos-UEPA

Prof.^a Dr.^a. Viviane Dal-Souto Frescura-UFSM

Prof. Dr. José Moraes Souto Filho-FIS

Prof.^a Ma. Luzia Almeida Couto-IFMT

Prof. Dr. Carlos Erick Brito de Sousa-UFMA

Prof.^a Ma. Ana Isabela Mafra-Univali

Prof. Me. Otávio Augusto de Moraes-UEMA

Prof. Dr. Antonio dos Santos Silva-UFPA
Prof^a. Dr. Renata Cristina Lopes Andrade-FURG
Prof. Dr. Daniel Tarciso Martins Pereira-UFAM
Prof^a. Dr^a. Tiffany Prokopp Hautrive-Unopar
Prof^a. Ma. Rayssa Feitoza Felix dos Santos-UFPE
Prof. Dr. Alfredo Cesar Antunes-UEPG
Prof. Dr. Vagne de Melo Oliveira-UFPE
Prof^a. Dr^a. Ilka Kassandra Pereira Belfort-Faculdade Laboro
Prof. Dr. Manoel dos Santos Costa-IEMA
Prof^a. Dr^a. Érima Maria de Amorim-UFPE
Prof. Me. Bruno Abilio da Silva Machado-FET
Prof^a. Dr^a. Laise de Holanda Cavalcanti Andrade-UFPE
Prof. Me. Saimon Lima de Britto-UFT
Prof. Dr. Orlando José de Almeida Filho-UFSJ
Prof^a. Ma. Patrícia Pato dos Santos-UEMS
Prof.^a Dr^a. Isabella Macário Ferro Cavalcanti-UFPE
Prof. Me. Alisson Junior dos Santos-UEMG
Prof. Dr. Fábio Lustosa Souza-IFMA
Prof. Me. Pedro Augusto Paula do Carmo-UNIP
Prof^a. Dr^a. Dayana Aparecida Marques de Oliveira Cruz-IFSP
Prof. Me. Alison Batista Vieira Silva Gouveia-UFG
Prof^a. Dr^a. Silvana Gonçalves Brito de Arruda-UFPE
Prof^a. Dr^a. Nairane da Silva Rosa-Leão-UFRPE
Prof^a. Ma. Adriana Barni Truccolo-UERGS
Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares-UFPI
Prof. Me. Fernando Francisco Pereira-UEM
Prof^a. Dr^a. Cátia Rezende-UNIFEV
Prof^a. Dr^a. Katiane Pereira da Silva-UFRA
Prof. Dr. Antonio Thiago Madeira Beirão-UFRA
Prof^a. Ma. Dayse Centurion da Silva-UEMS
Prof.^a Dr^a. Welma Emidio da Silva-FIS
Prof^a. Ma. Elisângela Garcia Santos Rodrigues-UFPB
Prof^a. Dr^a. Thalita Thyrza de Almeida Santa Rosa-Unimontes
Prof^a. Dr^a. Luci Mendes de Melo Bonini-FATEC Mogi das Cruzes
Prof^a. Ma. Francisca Elidivânia de Farias Camboim-UNIFIP
Prof. Dr. Clézio dos Santos-UFRRJ
Prof^a. Ma. Catiane Raquel Sousa Fernandes-UFPI
Prof^a. Dr^a. Raquel Silvano Almeida-Unespar
Prof^a. Ma. Marta Sofia Inácio Catarino-IPBeja
Prof. Me. Ciro Carlos Antunes-Unimontes

Nossa missão é a difusão do conhecimento gerado no âmbito acadêmico por meio da organização e da publicação de livros científicos de fácil acesso, de baixo custo financeiro e de alta qualidade!

Nossa inspiração é acreditar que a ampla divulgação do conhecimento científico pode mudar para melhor o mundo em que vivemos!

Equipe RFB Editora





SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	9
1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Pragas na agricultura e métodos de controle químicos.....	12
1.2 Biocontrole	13
1.3 Fungos e bactérias no controle de pragas.....	13
2 METODOLOGIA.....	17
2.1 Buscas de artigos	18
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
3.1 Análise de artigos de fungos e bactérias entomopatogênicas no controle agrícola	20
3.2 Pragas de culturas agrícolas	21
3.3 Fungos no controle biológico	22
3.4 Bactérias no controle biológico	23
3.5 Manejo Integrado de Pragas/MIP	25
4 CONCLUSÃO.....	29
ÍNDICE REMISSIVO.....	40
SOBRE OS AUTORES	41



AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) e ao Programa de Doutorado em Biotecnologia – Rede Nordeste de Biotecnologia (RENORBIO) por todo suporte acadêmico.

Ao Laboratório de Tecnologia de Bioativos (LABTECBIO) e a todos os colegas que fazem parte do grupo de pesquisa Ana Porto.

A Prof^a. Dr^a. Ana Lúcia Figueiredo Porto e ao Prof. Dr. Vagne de Melo Oliveira pela paciência, generosidade e dedicação.

Nairane da Silva Rosa-Leão

RENORBIO/UFRPE.



APRESENTAÇÃO

O e-book *Fungos e bactérias de importância agrícola utilizados no controle biológico: Uma prospecção científica* traz de modo conciso e objetivo uma prospecção em banco de periódicos internacionais a respeito dos principais tipos de fungos e cepas de bactérias utilizadas no controle biológico.

O impacto das pragas no meio agrícola e os principais químicos utilizados são abordados já na introdução para dar respaldo à necessidade de substitutos biológicos menos agressivos ao ambiente. Nessa dinâmica, a abundante possibilidade de utilização de microrganismos no controle biológico emerge como uma alternativa viável e sustentável.

Todos os passos metodológicos e plataformas são descritos no capítulo 2. O capítulo 3 os autores esperam que esta obra possa servir de suporte em novas pesquisas acadêmicas, compilando dados e fornecendo perspectivas de criação de novas tecnológicas que possam utilizar fungos e bactérias como agentes no controle biológico.

Prof. Dr. Vagne de Melo Oliveira

PNPD CAPES/FACEPE.



CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 PRAGAS NA AGRICULTURA E MÉTODOS DE CONTROLE QUÍMICOS

As culturas agrícolas sofrem com os danos causados por diversas pragas em inúmeros países ao redor do mundo (ALVES et al., 2020), sendo de extrema importância tomar medidas de controle, pois podem acarretar a diminuição da qualidade agrícola, bem como, a perda econômica considerável e redução da estabilidade alimentar em vários níveis, desde das fronteiras domiciliares a nível global (SAVARY et al., 2019; LE GAL e al., 2020)

Os métodos de controle de insetos-praga ainda disponíveis e usados mundialmente na atualidade, em destaque encontramos o uso massivo de inseticidas químicos (POVEDA, 2021), e ao longo das últimas décadas, houve uma nova e ampla visão em relação aos danos que acarretam ao ambiente e a saúde o uso irregular destes produtos, trazendo consequências irreversíveis, pois os elementos tendem de penetrar o solo e acumular-se nos tecidos animais (CARVALHO et al., 2017; COFFMAN et al., 2018; MOSMANN et al., 2019; SOUSA et al., 2020), onde a busca de alternativas para o combate de pragas agrícolas, levou ao uso indiscriminado de organofosforados, causando grandes prejuízos ambientais (DAR et al., 2020), incluindo os químicos organoclorados e carbamatos que atuam no controle biológico, o que torna preocupante o uso desses contaminantes nos ecossistemas (GERBA et al., 2019). Conforme visualizado na (tabela 1) os químicos utilizados no controle de pragas agrícolas.

Tabela 1 - Relação de químicos utilizados como inseticidas no controle biológico

Químicos	Referências
Organofosforados	Usman et al. (2017), Mineau (2017), Chawla et al. (2018), Tsygankov (2019), Olisah; Okoh; Okoh (2019), Dar et al. (2020), Pantelaki; Voutsas, (2020), Kaushal; Khatri (2021), Silva; Baltrusaitis (2021), Tsai; Lein (2021), Hou et al. (2021).
Piretróides	Li et al. (2017), Tang, et al. (2018), Lu, et al. (2019), Ye; Liu (2019), Zhu (2020), Yang; Song (2020), Wang (2020), Bhatt et al. (2021), Pitzer; Williams; Vorhees (2021).
Carbamatos	Mineau (2017), Georgiadis et al. (2018), Koutros et al. (2019), Ongono, et al. (2020), Oliveira et al. (2020), Mishra et al. (2021).
Organoclorados	Docea et al. (2017), Tsygankov (2019), Hansen et al. (2019), Martyniuk; Olisah; Okoh; Okoh (2019), Helou et al. (2019) Mehinto; Denslow (2020), Potapowicz et al. (2020), El-sheikh et al. (2020), Maia et al. (2020) Zaynab et AL. (2021).

Há inúmeras pragas agrícolas que devem ser combatidas para não acarretar prejuízos na agricultura entre elas a cigarrinhas nos canaviais e moscas-brancas (MASCARIN et al., 2019) *Spodoptera frugiperda* conhecida popularmente lagarta mi-

litar que ataca as plantações de milho no mundo inteiro, assim como culturas de sorgo algodão e soja (OLIVEIRA et al., 2018; EARLY et al., 2018; HERNANDEZ-TREJO et al., 2019; LIRA et al., 2020) entre outras culturas que afetam a produção agrícola.

1.2 BIOCONTROLE

Diante da busca para suprir as necessidades do presente sem afetar as gerações futuras, as práticas de conservação do meio ambiente e no controle de pragas tornaram-se alvo no mercado mundial (SINGH et al., 2020), sendo encontrado no controle biológico, que traz no seu conceito a utilização organismos vivos no combate de agentes patógenos e pragas, uma nova possibilidade viável e eficiente, além de minimizar os riscos de contaminação ambiental por inseticidas (STENBERG et al., 2021).

Sendo assim, o uso de micro-organismos no combate às pragas, como bactérias e fungos entomopatogênicos e seu manejo integrado, tornou-se uma alternativa bem-sucedida (WILSON et al., 2018; LE GAL e al., 2020), realizando ações no contexto ecológico e interagindo com organismos vegetais, apresentando-se como uma alternativa com potencial de ação no controle minimizando as perdas no setor primário (SARROCCO; VANNACCI 2018; BONFANTE et al., 2020; BERNARDO-CRAVO et al., 2020), tornando-se uma das práticas desejáveis por ser natural e possibilitando a redução dos danos ambientais, em substituição aos modelos de controle químico (LUNDSTRÖM et al., 2017; SHARMA; SHARMA, 2021).

1.3 Fungos e bactérias no controle de pragas

Considerando a área ocupada pela litosfera, há uma grande diversidade de microrganismos, quando comparados aos outros elementos que compõe a biosfera terrestre como a atmosfera e a hidrosfera do planeta (ENGEL, 2019), tornando possível e imprescindível a exploração e o desenvolvimento de novas alternativas com a utilização dessa diversidade de organismos vivos, em inúmeras áreas biotecnológicas e na indústria como, produção de biocombustíveis, degradação de contaminantes do solo como a biorremediação (RANI et al., 2019; POVEDA 2021), produção de substâncias metabólicas, como as enzimas na produção de antibióticos, biofertilizantes, e no controle de pragas (TEDERSOO et al., 2018; HYDE et al., 2019), pesquisando melhores maneiras da utilização de fungos e bactérias que atuam como agentes no biocontrole (AMSELLEM 2017; MASCARIM et al., 2018). Como ilustrado na figura 1.

Alguns fungos são conhecidos por organismos entomopatogênicos e possuem a capacidade de infectar insetos, contaminando de forma direta em artrópode envolvendo toda a superfície externa (LITWIN; NOWAK; ROSALSKA, 2020; ELKHATEEB et al., 2021), possuindo muitas funções no ecossistema, entre elas o controle de populações artrópodes.

Neste contexto os fungos pertencem a um reino com uma grande variedade de gêneros e espécies, habitando diferentes ambientes na natureza, algumas espécies causadoras de doenças, outros de medicamentos, e são organismos que possuem uma relação simbiótica, como atuação na ciclagem de matéria orgânica do solo com a capacidade de realizar a decomposição de inúmeros substratos orgânicos (BERBEE et al., 2017; SPATAFORA et al., 2017). E de acordo com Rajula, Rhaman; Krutmuang (2020) já se apresentam mais de 750 espécies de fungos de 90 gêneros conhecidos por serem patogênicos a insetos, classificado nos filos Chytridiomycota, Ascomycota, Basidiomycota e o subfilo Entomophthoromycotina. Os fungos que correspondem ao filo Zoopagomycota são micoparasitas e causadores de doenças há outros grupos de seres vivos como, animais, podendo ser também nocivo a espécies do próprio reino Fungi, em contrapartida o filo Mucoromycota se apresenta como fungos causadores de doenças em plantas (BONFANTE et al., 2020).

Figura 1 - Espécie de fungo entomopatogênico atuando no biocontrole, revestindo o corpo da lagarta.



Foto: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br> – *Metarhizium* (2021)

O interesse na utilização de fungos entomopatogênicos no controle biológico, está na diversidade destes organismos e a possibilidade que eles tem em habitar espécies vegetais e atuarem como patógenos de insetos mostrando-se como alternativa no combate às pragas agrícolas principalmente os artrópodes sendo alvo de estudos por mais de cem anos (LIN et al., 2017; MORA et al., 2017; JABER et al., 2018; PELIZZA, et al., 2018; WANG et al., 2019; ELKHATEEB, et al., 2021; POVEDA 2021) apresentando-se como organismos em mais evidência, quando o assunto

aborda patogenicidade, por possuírem um alto potencial de infectar insetos durante todas as fases de seu crescimento (BOUCIAS et al., 2018) e atuando com uma função primordial no comércio de controle biológico, oferecendo medida preventiva ao longo prazo contra pragas e doenças (JABER et al., 2018; BAMISILE et al., 2018; MASCARIN et al., 2019).

Como a parede celular dos fungos é quitinosa, o mecanismo de infecção do fungo entomopatogênico envolve a fixação do esporo à cutícula do inseto, na sequência ocorre germinação, penetração e disseminação com a invasão até o intestino, sendo assim, os insetos são infectados pelos fungos por contato quando esporos aderem à cutícula ou ingestão (MORA et al., 2017; BOUCIAS et al., 2018; MUKHERJEE; VILCINSKAS, 2019). Importante ressaltar que as proteínas que atuam no rompimento da quitina do inseto, proteases, lectinas e como as enzimas quitinases agem de forma a cessar alimentação no inseto causando letalidade o que torna útil para ação inseticida (LIU et al., 2019).

Espécies de fungos como o *Metarhizium* e *Beauveria* facilmente encontrado no solo (JABERE ENKERLI, 2017), atuam no controle de várias pragas agrícolas entre elas as de larvas de segundo instar da lagarta *Spodoptera frugiperda* (RAMANUJAM; POORNESHA; SHYLESHA, 2020), assim como potencial destes microrganismos tem no combate contra os estágios de desenvolvimento e em adultos de *Ceratitis capitata* conhecida como mosca da fruta do Mediterrâneo e a patogenicidade do fungo de *Paecilomyces lilacinus* sobre a praga (SOLIMAN et al., 2020) e o *Fusarium* sp. e *Beauveria* sp. no combate da *C. capitata* (HALLOITI et al., 2020).

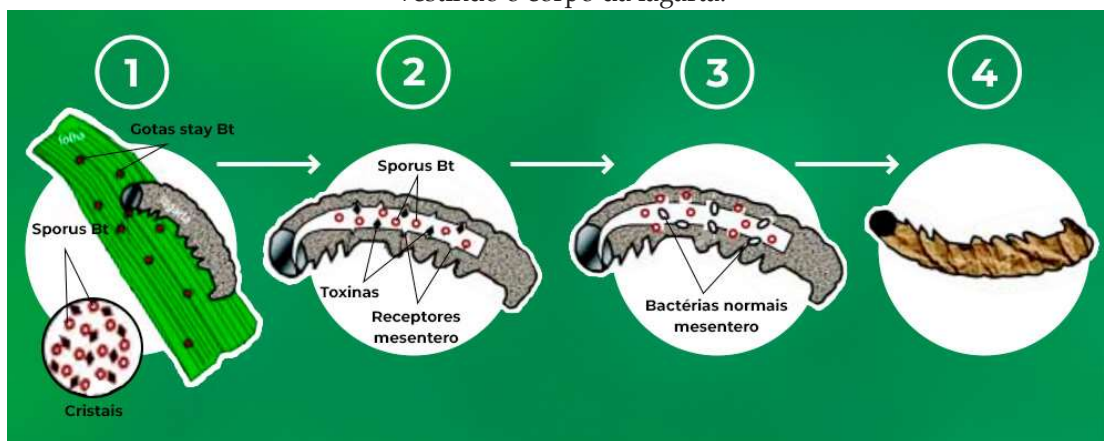
Eficácia do fungo endofítico *B. bassiana* e *Clonostachys* spp. contra larvas de *Tuta absoluta*, um lepidóptero, praga para culturas de tomate. (MAHMOUD et al., 2021) e promissor na diminuição de espécies da praga *Helicoverpa armigera* uma espécie de mariposa cujas lagartas atacam plantações de algodão (SOUZA et al., 2020), destacando a *B. bassiana* no controle inseto-praga do algodão (DANNON et al., 2020).

Em destaque como inseticida mais comercializados encontramos os organismos da família Bacillaceae (BORTOLI, JURAI-FUENTES, 2019), as bactérias entomopatogênicas que são micro-organismos causadores de doenças em insetos com uma grande carga de toxicidade, possibilitando um meio de combate também menos agressivo substituindo os tradicionais químicos utilizados na agricultura (CHEN et al., 2017; AZIZOGLU et al., 2020), distribuídas em diversos locais no ecossistema, maioria saprófitas e com capacidade de sobreviver em condições ambientais extremas (CHAVEZ; GARBOZA, 2018). Em destaque visualizado na figura 2, os *Bacillus*

thuringiensis (Bt) e o processo de contaminação da praga- alvo ocorrendo pela ingestão da folha contaminada com a bactéria.

As bactérias entomopatogênicas são micro-organismos que também causam doenças em insetos com uma grande carga de toxicidade, possibilitando um meio de combate menos agressivo substituindo os tradicionais químicos utilizados na agricultura (CHEN et al., 2017; AZIZOGLU et al., 2020).

Figura 2 - Espécie bactéria entomopatogênica *Bacillus thuringiensis* (Bt) atuando no biocontrole, revestindo o corpo da lagarta.



Fonte: <https://promip.agr.br/entendendo-os-bioproductos> (2021).

Portanto, pesquisas na área de controle biológico envolvendo micro-organismos, tem estimulado os setores primários e secundários da sociedade (ALMEIDA et al., 2019). Vale mencionar também que o aumento da utilização de inseticidas em áreas de manejo integrado, vem sendo estudado, mostrando o desempenho e a importância de unidades infecciosas como os conídios de fungos entomopatogênicos. E vários estudos apoiam a utilização de fungos entomopatogênicos em combinação em programas de manejo integrado de pragas (GONZÁLEZ-MAS et al., 2019). Obtendo -se um controle associado entre químico e biológico no manejo para o manejo de pragas (MUÑIZ-PAREDES et al., 2017). Desta forma, é de grande relevância as pesquisas envolvendo fungos e bactérias tornando uma forma racional de biocontrole.



CAPÍTULO 2

METODOLOGIA



2.1 BUSCAS DE ARTIGOS

Para esta revisão de artigos relacionados aos fungos e bactérias de importância agrícola utilizados no biocontrole foi realizada através da busca de bases científicas através das plataformas eletrônicas: Science Direct (<http://www.sciencedirect.com/>), Scielo- Scientific Electronic Library (<https://search.scielo.org>) e Springer (<https://www.springer.com/br>) utilizando palavras-chave relacionadas ao tema e intuitivamente escolhidos que pudessem ajudar a refinar a pesquisa com seguintes descritores (bioinseticidas), (micro-organismos entomopatogênicos).

Este procedimento permitiu selecionar trabalhos publicados sobre a ação inseticida de fungos e bactérias entomopatógenos. Artigos que não informaram sobre estes micro-organismos (fungos ou bactérias) eram descartados. “Houve” limitações quanto ao ano e data de publicação dos últimos cinco anos (2017 – 2021). No entanto, haverá restrição quanto tipo de micro-organismo, abordando apenas as bactérias e fungos e sem restrições quantos as espécies/variedades das mesmas.

Depois foram realizadas buscas considerando primeiramente bactérias e fungos entomopatógenos, quando era mencionada no título do artigo e faltando termos relacionados ao controle biológico como bioinseticida, se procedeu a uma avaliação sumária, buscando metodologias para determinar a ação inseticida. Foram selecionados para a terceira etapa os artigos que mencionavam alguma forma, ação ou atividade inseticida e/ou larvicida (controle biológico) a partir de micro-organismos (bactérias e fungos).

Foram lidos os textos na sua íntegra a fim de verificar ação bioinseticida, sendo uma análise quantitativa, em que se procurou verificar a metodologia que comprovasse o potencial inseticida.

Os critérios de seleção dos artigos foram definidos, de acordo com a comprovação do potencial de ação do entomopatógenos a partir dos micro-organismos sendo eles fungos ou bactérias com aplicabilidade no controle biológico e com potencial biotecnológico na utilização como um bioinseticidas. Quando mencionado outros micro-organismos que não os mencionados acima, ou através de extratos botânicos, artigos sem citações dos descritores, foram descartados. Por fim, a partir dos dados obtidos foram armazenados e processados no Microsoft Excel (Microsoft Office® 2019) para interpretação e discussão dos resultados.

CAPÍTULO 3

RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ANÁLISE DE ARTIGOS DE FUNGOS E BACTÉRIAS ENTOMOPATOGÊNICAS NO CONTROLE AGRÍCOLA

A análise dos artigos coletados foi realizada em três etapas, leitura de título, leitura de resumo e leitura do artigo na íntegra. Inicialmente foram lidos todos os títulos dos artigos encontrados nas bases de dados, sendo selecionados os que apresentaram termos relacionados aos descritores bioinseticida e microrganismos entomopatogênicos, na plataforma Science direct (Bioinseticida) correspondeu a 44 artigos, Scielo 12 e Springer com 127 artigos. Na plataforma Science Direct (microrganismo entomopatogênico) foram encontrados 124 artigos, SciELO 04 e no Springer 137 artigos científicos,

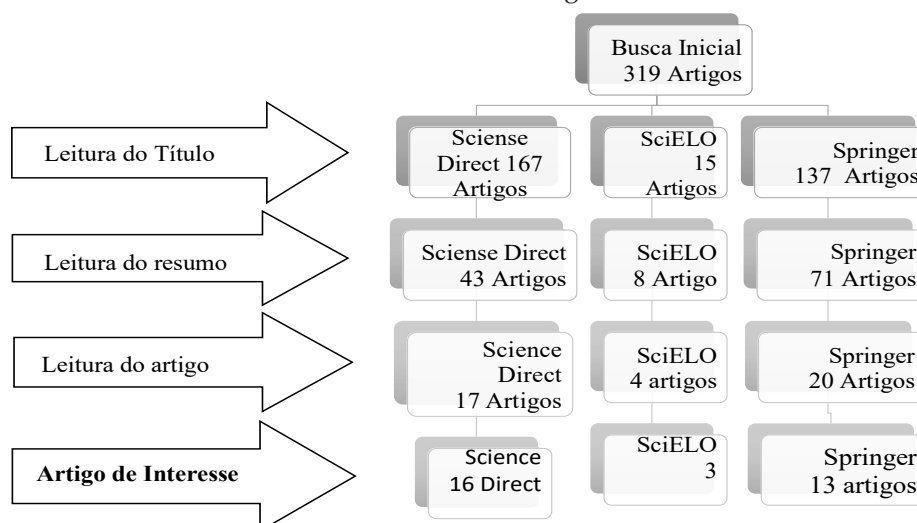
Aplicando o procedimento de busca com os descritores e plataformas obteve-se o resultado, totalizando 448 artigos. Como demonstrado na tabela 2.

Tabela 2 - Relação de artigos correspondentes aos descritores nas três plataformas escolhidas

Termos de buscas	Plataformas		
	Science direct	SciELO	Springer
Bioinseticide	44	12	127
Micro-organismos entomopatogênicos	124	04	137
Total em cada plataforma	168	16	264
Total		448	

Os critérios de seleção dos artigos foram definidos, de acordo com a comprovação do potencial de ação do entomopatógenos a partir dos micro-organismos, fungos e bactérias com aplicabilidade no controle biológico e com potencial biotecnológico na utilização como um bioinseticida, bem como, o ano de busca sendo utilizado somente artigos dos últimos cinco anos (2017-2021) publicados na língua inglesa.

O critério de exclusão aplicou-se aos trabalhos que não atendessem às exigências dos critérios de inclusão. O organograma da figura 3 demonstra a análise dos artigos nas etapas realizadas.

Figura 3 - Organograma de artigos de totais de interesse selecionados em três bancos de dados diferentes usando a metodologia descrita.

Com base nesta revisão, foram selecionados 32 artigos, sendo 16 artigos do Science direct, 03 artigos do SciELO e 13 da plataforma Springer correspondendo a 10% de artigos de acordo com os critérios de inclusão. Os quais foram descartados um total de 287 artigos correspondendo a 90% de artigos. Destes 127 (151) da Science direct, 12 no SciELO e 124 artigos na plataforma Springer foram descartados entre eles com falta dos descritores selecionados, e/ou não relacionado ao controle biológico de organismos e não pertencentes a fungos e bactérias ou incapacidade de extração de dados ou texto completo não estava disponível.

3.2 PRAGAS DE CULTURAS AGRÍCOLAS

Os artigos analisados possibilitou evidenciar pragas agrícolas como cigarrinhas, que atacam canaviais e moscas-brancas em lavouras (MASCARIN et al., 2019), a *Spodoptera frugiperda* uma praga encontrada nas regiões tropicais das Américas, principalmente em locais com temperatura elevada (NAGOSHI et al., 2017; BATEMAN et al., 2018) uma espécie invasora que afeta grandes áreas com plantações de milho (HERNANDEZ-TREJO et al., 2019; LIRA et al., 2020) sendo uma cultura muito cultivada na região do semiárido brasileiro (MELO;VOLTOLINI, 2019) assim como também na África (EARLY et al., 2018) além da praga atacar culturas de sorgo no Brasil (OLIVEIRA et al., 2018).

O ataque da Mosca branca (*Bemisia tabaci*) vem acarretando grandes prejuízos na agricultura e ao agronegócio no território brasileiro, assim como a nível mundial, principalmente nas culturas de soja, algodão e na produção de trigo, arroz, milho e batata (SAVARY et al., 2019), algumas pragas relacionadas aos cultivos agrícolas é demonstrada na Tabela 3.

Tabela 3 - Relação de pragas / doenças de culturas agrícolas e seus respectivos autores.

Cultura	Praga/doença	Referências
Cana-de-açúcar	Cigarrinhas	Mascarin et al. (2019)
	<i>Spodoptera frugiperda</i>	Lira et al. (2020)
Milho	<i>Spodoptera frugiperda</i> Lagarta do cartucho do milho	Vargas-Mendez et al. (2019)
	<i>Spodoptera frugiperda</i>	Abdelgaffar et al. (2019)
	<i>Spodoptera frugiperda</i>	Grijalba et al. (2018)
	<i>Spodoptera frugiperda</i>	Contreras-Cornejo et al. (2018)
Milho, algodão, Dendê	<i>Rhynchophorus ferrugineus</i> escaravelho-vermelho	Qayyum et al. (2019)
Cana-de-açúcar	<i>Nilaparvata lugens</i>	Savary et al. (2019)
Trigo, arroz, milho, batata e soja		
Sorgo	<i>Spodoptera frugiperda</i>	Oliveira et al. (2018)
Batata-doce	<i>Mosca branca</i> <i>Bemisia tabaci</i>	Anwar et al. (2017)
Algodão	<i>Helicoverpa armigera</i>	Souza et al. (2020)

Fonte: Dados da Pesquisa (2021)

3.3 FUNGOS NO CONTROLE BIOLÓGICO

Os artigos verificados ressaltam a utilização dos fungos entomopatogênicos *Beauveria bassiana* no biocontrole de pragas (SERNA-DOMÍNGUEZ et al., 2019) e o *Metarhizium anisopliae*, que possuem a capacidade de perceber e dar resposta imunes intrínsecas, como a produção de peptídeos antimicrobianos e sintetizando proteínas, como elemento de virulência (MUKHERJEE; VILCINSKAS, 2019), fato este leva estes fungos entomopatogênicos, a serem utilizados no biocontrole de insetos considerado pragas agrícolas desde a década de setenta (MASCARIN et al., 2018).

E para combater as pragas na agricultura, estudos revelam que 50% dos produtos de controle biológico são produzidos a base de fungos *Metarhizium anisopliae* e *Beauveria bassiana* e utilizados no Brasil exatamente para controlar cigarrinhas nos canaviais e moscas-brancas em lavouras (MASCARIN et al., 2019).

Os fungos entomopatogênicos também mencionados pela eficácia de uso no controle biológico na agricultura, devido sua fácil e alta produção de esporos e alta toxicidade, é o *Fusarium* (SANTOS et al., 2020), reafirmada pelos estudos de Anwar et al. (2017) sendo um gênero com alto índice de letalidade em insetos. Pois apresenta uma substância tóxica que contamina alimentos e há confirmações que essa

micotoxina tem diferentes atividades biológicas e possui a capacidade de ação no controle biológico (WU et al., 2018).

Contreras-Cornejo et al. (2018) relata em seus estudos que para combater as *S. frugiperda* o fungo *trichoderma* pode ser utilizado no combate às pragas, reforçando a utilização de técnicas com fungos entomopatogênicos.

No entanto, foram selecionados alguns entre os vários micro-organismos entomopatogênicos verificados nos artigos utilizados no controle biológico de pragas em diversas culturas agrícolas, como mostra na tabela 4.

Tabela 4 - Relação de fungos entomopatogênicos com potencial no controle biológico

Fungos	Referências
<i>Metarhizium anisopliae</i>	Lira et al., (2020); Vargas-Méndez et al. (2019); Wang et al. (2019); Mukherjee; Vilcinskas (2018)
<i>Beauveria bassiana</i>	Qayyum et al. (2019); Serna-Dominguez et al. (2019); Liu et al., 2019; Dannon et al. (2020)
<i>Beauveria Bassiana</i> <i>Acremonium</i> , <i>Cladosporium</i>	Jaber et al. (2018)
<i>Isaria</i> sp. (anteriormente <i>Paecilomyces fumosorosea</i> .)	Jessica et al. (2019)
<i>Beauveria bassiana</i> e <i>Metarhizium anisopliae</i>	Lin et al. (2017); Mascarín et al. (2019); Mascarín et al. (2018); Cabrera-Mora et al. (2019) Mora et al. (2017)
<i>Trichoderma atrovirida</i>	Contreras- Cornejo et al. (2018)
<i>Fusarium fujikuroi</i>	Santos et al. (2020)
<i>Fusarium oxysporium</i> <i>Fusarium solani</i>	Wu et al. (2018)
<i>Trichoderma asperellum</i> <i>Stemphylium vesicarium</i>	Zapata- Sarmiento et al. (2020)
<i>Fusarium equiseti</i> <i>Fusarium solani</i> <i>Fusarium incarnatum</i> <i>Fusarium sp</i>	Anwar et al. (2017)
<i>Metarhizium rileyi</i>	Grijalba et al. (2018)
<i>Trichoderma harzianum</i>	Santos et al. (2017)

Fonte: Dados da Pesquisa (2021).

3.4 BACTÉRIAS NO CONTROLE BIOLÓGICO

Entre o micro-organismos entomopatogênicos encontramos as bactéria entre elas o *Bacillus thuringiensis* (Bt), muito estudada e promissora para ser utilizada na biotecnologia, por possuir alto índice de esporulação (GHAZANCHYAN et al.,

2018), muito evidenciado nos artigos analisados devido suas características biológicas no combate à insetos. Conhecida como Bt, produz toxinas em forma de forma de cristais (Cry) e proteínas citolíticas (Cyt), com alta capacidade inseticida, sendo seguro para mamíferos (VALICENTE et al., 2018).

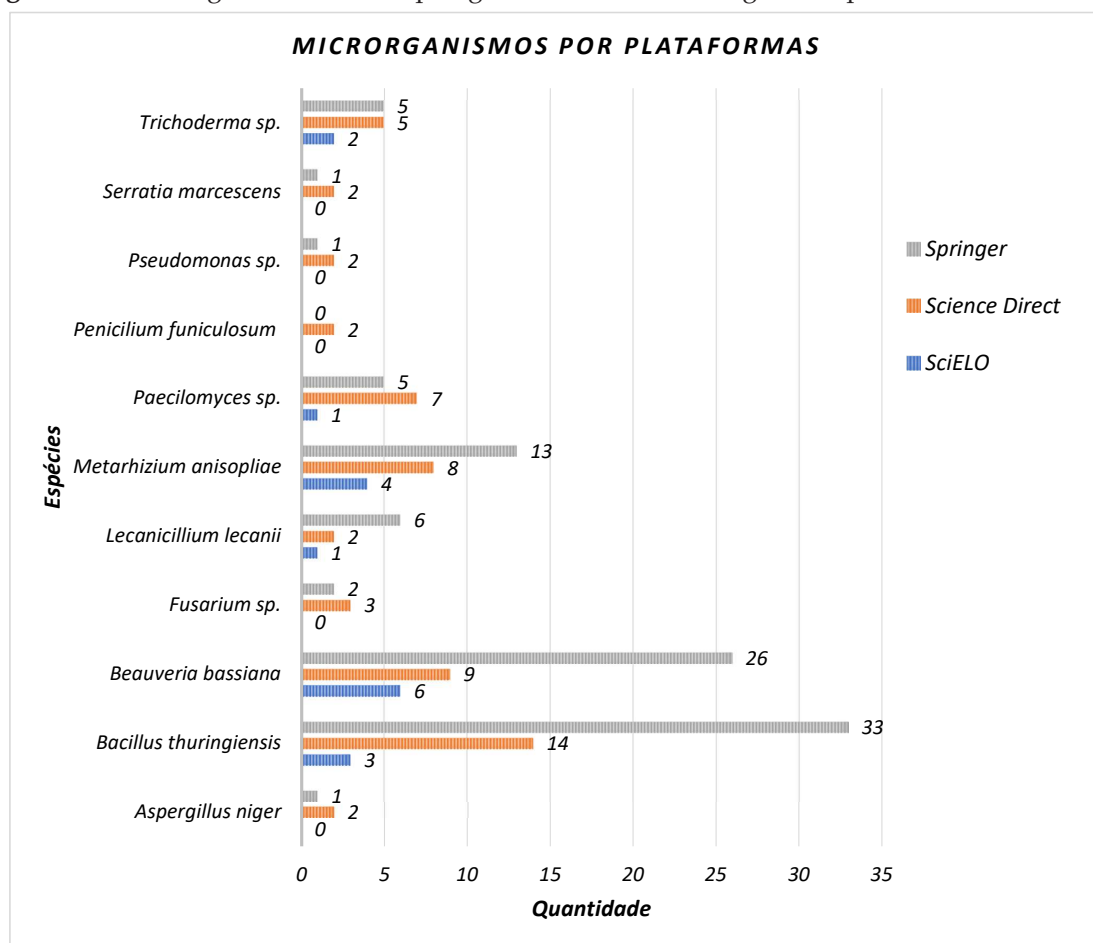
Estudos realizados com *Brevibacillus laterosporus* também demonstrou em estudos a capacidade biocida pelo fato de produzir enzimas antibacteriana, antifúngicas e inseticidas podendo ser utilizadas também no controle biológico na proteção de vegetais (GHAZANCHYAN et al., 2018) como demonstra a tabela 5 abaixo.

Tabela 5 - Bactérias entomopatogênicas utilizadas no controle biológico

Bactérias	Referência
<i>Bacillus thuringiensis</i>	Valicente et al. (2018) Abdelgaffar et al. (2019) Bortoli;Jurat-Fuentes (2019)
<i>Bacillus subtilis</i> <i>Bacillus thuringiensis</i> <i>Bacillus sphaericus</i>	Ghazanchyan et al. (2018)
<i>Bacillus thuringiensis</i>	Oliveira et al. (2018)
<i>Brevibacillus laterosporus</i> .	Ghazanchyan et al. (2018)

Fonte: Dados da Pesquisa (2021).

Após a avaliação dos artigos, a figura 4 informa a quantidade de artigos analisados e a quantidade de artigos selecionados em cada base de dados, por micro-organismos de interesse citados acima duas vezes.

Figura 4 - Micro-organismos entomopatogênicos citados nos artigos com potencial no biocontrole

Fonte: Dados da Pesquisa (2021).

3.5 MANEJO INTEGRADO DE PRAGAS/MIP

Considerando a busca por alta produção no setor agrícola, levou ao uso indiscriminado de organofosforados, causando grandes prejuízos ambientais (DAR et al., 2020), um grupo de produto químico amplamente aplicados na agricultura ocupando cerca de 40% de uso entre outros inseticidas no mercado (KAUSHAL; KHATRI, 2021), identificado como contaminantes no ambiente e que acarretam efeitos nocivos para saúde (SILVA; BALTRUSAITIS, 2021).

Entre os químicos encontramos também os organoclorados, carbamatos que atuam no controle biológico (GERBA et al., 2019), muito utilizados para aumentar a produção e diminuir o impacto das pragas na agricultura (BHATT et al., 2021), aumentando significativamente a produção, porém seu uso massivo trouxe danos ao ambiente, o preocupa o uso desses contaminantes nos ecossistemas (CHAWLA et al., 2018, GERBA et al., 2019). A ação tóxica do grupo dos carbamatos o qual também aplicado na agricultura, é resultante da sua atividade inibidora da enzima acetilcolinesterase, é responsável pela ação crucial na propagação do impulso ner-

voso, fato que traz uma preocupação mundial em relação à sua utilização no meio agrícola (KOUTROS, et al., 2019).

O grupo dos piretróides após entrar no ambiente, circulam no estado sólido, líquido e gasoso, e penetram nos tecidos animais por meio das cadeias alimentares, trazendo riscos para saúde humana (TANG et al., 2018; BHATT et al., 2021), detectados também em organismos que vivem em substratos marinhos (LI et al., 2017).

Embora seu uso ainda seja muito frequente na área agrícola por manter a produção, já foi constatado que o uso de compostos químicos pode ocasionar danos ambientais, onde esta ação faz com que os organismos vivos, que ao sofrer pressões às condições as quais são colocadas, pode responder desenvolvendo novas adaptações como a resistência (MORAND; LAJAUNIE, 2018), fazendo com que seu uso seja mais frequente e em dosagens maiores

Segundo Gerba et al. (2019) esse acúmulo se dá pela ingestão de pequenas dosagens dos químicos e a concentração vai aumentando a cada nível da cadeia alimentar, até chegar os peixes, por exemplo, que são consumidos pelo ser humano, acarretando a sobrecarga desse composto no organismo do indivíduo gerando assim dano no seu metabolismo.

Levando em conta a preocupação na produção agrícola por décadas, verificou-se que até o presente momento, o controle químico tradicional e o controle biológico agindo individualmente como forma única de controle, não soluciona a problemática que afeta as culturas agrícolas, onde a melhor opção é utilizar metodologias de controle como o manejo integrado de pragas (TORRES; BUENO 2018; AGATZ et al., 2020), conhecido como MIP corresponde o crescimento de culturas que minimizam ações danosas ao ecossistema e pode ser conhecido também como a utilização de inúmeras técnicas de controle de insetos (VALICENTE et al., 2018), utilizando estratégias no manejo de pragas que minimizem os danos ambientais.

É importante ressaltar que a utilização de pesticidas, vem sendo alvo de debates há décadas desde a publicação do livro *Silent Spring* (Primavera Silenciosa), de Rachel Carson em 1962, o qual relata os efeitos danosos ocasionados pela má utilização desses compostos tanto para o meio ambiente quanto para os seres humanos (CLARK et al., 2017; DIAS et al., 2018; MOSMANN et al., 2019; SOUSA et al., 2020). A utilização de inseticidas e até mesmo herbicidas com o intuito de eliminar os insetos e plantas daninhas considerados prejudiciais em áreas agrícolas motivou uma mudança filosófica, procurando entender melhor a interação inseto-planta res-

peitando os mecanismos de adaptação da natureza (DEMARCO et al., 2017; CARVALHO et al., 2017; COFFMAN et al., 2018).

Segundo Mascarin et al. (2018) a indústria brasileira de biopesticida continua desenvolver novos produtos químicos para o mercado e novos produtos baseados em cepas de fungos, fortalecendo assim os programas de MIP. As pesquisas na área de controle biológico envolvendo micro-organismos, tem estimulado os setores primários e secundários da sociedade, crescendo a busca desta alternativa no combate de pragas agrícolas nas últimas décadas (ALMEIDA et al., 2019).

Segundo Muñoz-Paredes et al. (2017) com o aumento da utilização de biopesticida em áreas de manejo integrado, vem sendo estudado o uso, desempenho e a importância de unidades infecciosas como os conídios de fungos entomopatogênicos. Obtendo -se um controle associado entre químico e biológico no manejo para o manejo de pragas.

A busca por formas menos agressivas ao ambiente e ao homem é extremamente relevante, quando o assunto é controle de pragas, neste sentido ressaltamos a importância da utilização de bactérias e fungos no controle biológico tendo em vista o número de espécies ainda não exploradas a sua dispersão em vários habitats.



CAPÍTULO 4

CONCLUSÃO

Com o crescimento da biotecnologia em busca de melhorias para um ecossistema e para agroindústria há um interesse em aumentar de modo progressivo novas fontes de controle às pragas menos agressivas para as culturas agrícolas, encontrando nos micro-organismos destacando as bactérias e fungos, como uma alternativa promissora para o controle biológico em áreas agrícolas.

Além disso, foi observado que a maioria dos artigos publicados nas plataformas sobre micro-organismos entomopatógenos está representada na sua maioria a uma fonte bacteriana representada pelo *Bacillus thuringiensis* e aos fungos *Metharizium* e *Beauveria*, mesmo demonstrado em alguns estudos outros micro-organismos com ação biocida.

Nesse contexto, sentiu-se a necessidade de ir em busca de novas espécies e desenvolver novos métodos biotecnológicos de produção bacteriana e fúngica de interesse no biocontrole, assim como, técnicas para a produção de esporos com características de resistência dos conídios em condições ambientais adversas, ocorrendo uma lacuna considerando que há uma vasta colonização destes micro-organismos em inúmeros ambientes no planeta.

REFERÊNCIAS

- ABDELGAFFAR, Heba et al. Midgut metabolomic profiling of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) with field-evolved resistance to Cry1F corn. **Insect biochemistry and molecular biology**, v. 106, p. 1-9, 2019.
- AGATZ, Annika et al. A knowledge-based approach to design control strategies for agricultural pests. **Agricultural Systems**, 2020.
- ALMEIDA, José Eduardo Marcondes; LEITE, Luís Garrigós; BATISTA FILHO, Antonio. Entomopathogenic Fungi. In: Natural Enemies of Insect Pests in Neotropical Agroecosystems. **Springer**, p. 223-233.2019.
- ALVES, Adão Nunes; SOUZA, Witenberg SR; BORGES, Dúbio Leandro. Cotton pests classification in field-based images using deep residual networks. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 174, p. 105488, 2020.
- AMSELLEM, Laurent et al. Importance of microorganisms to macroorganisms invasions: is the essential invisible to the eye? (The Little Prince, A. de Saint-Exupéry, 1943). In: Advances in Ecological Research. Academic Press, p. 99-146. 2017.
- ANWAR, Waheed et al. Diversidade genética de Fusarium isolado de membros de Sternorrhyncha (Hemiptera): entomopatógenos contra Bemisia tabaci. **Paquistão Journal of Zoology** , v. 49, n. 2 de 2017.
- AZIZOGLU, Ugur et al. Genetically modified entomopathogenic bacteria, recent developments, benefits and impacts: A review. **Science of The Total Environment**, p. 139169, 2020.
- BATEMAN, Melanie L. et al. Assessment of potential biopesticide options for managing fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in Africa. **Journal of applied entomology**, v. 142, n. 9, p. 805-819, 2018.
- BERBEE, Mary L.; JAMES, Timothy Y.; STRULLU-DERRIEN, Christine. Early diverging fungi: diversity and impact at the dawn of terrestrial life. **Annual Review of Microbiology**, v. 71, 2017.
- BERNARDO-CRAVO, Adriana P. et al. Environmental Factors and Host Microbiomes Shape Host-Pathogen Dynamics. **Trends in Parasitology**, 2020.
- BAMISILE, Bamisope Steve et al. Prospects of endophytic fungal entomopathogens as biocontrol and plant growth promoting agents: An insight on how artificial inoculation methods affect endophytic colonization of host plants. **Microbiological Research**, v. 217, p. 34-50, 2018.
- BONFANTE, Paola. Mucoromycota: going to the roots of plant-interacting fungi. **Fungal Biology Reviews**, 2020.
- BORTOLI, Caroline Placidi de; JURAT-FUENTES, Juan Luis. Mechanisms of resistance to commercially relevant entomopathogenic bacteria. **Current opinion in insect science**, v. 33, p. 56-62, 2019.

BOUCIAS, Drion G. et al. Microbiota in insect fungal pathology. *Applied microbiology and biotechnology*, v. 102, n. 14, p. 5873-5888, 2018.

CABRERA-MORA, J. A. et al. Niche separation of species of entomopathogenic fungi within the genera *Metarhizium* and *Beauveria* in different cropping systems in Mexico. *Fungal ecology*, v. 39, p. 349-355, 2019.

CARVALHO, Miguel Mundstock Xavier de; NODARI, Eunice Sueli; NODARI, Rubens Onofre. "Defensivos" ou "agrotóxicos"? História do uso e da percepção dos agrotóxicos no estado de Santa Catarina, Brasil, 1950-2002. *Hist. cienc. saude-Manguinhos*, p. 75-91, 2017.

CHAVEZ PARDO, Karen Cristina; GARBOZA TORRES, Ana Stefani. Efecto biocida de cepas nativas de *Bacillus* sp. aisladas de humus sobre larvas de *Anopheles* sp. obtenidas en el distrito de Motupe, 2016. 2018.

CHAWLA, Prince et al. Organophosphorus pesticides residues in food and their colorimetric detection. *Environmental nanotechnology, monitoring & management*, v. 10, p. 292-307, 2018.

CHEN, Jingjing et al. CRISPR/Cas9-mediated efficient genome editing via blastopore-based transformation in entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*. *Scientific reports*, v. 7, p. 45763, 2017.

CLARK, JFM Pesticides, pollution and the UK's silent spring, , 1963-1964: Poison in the Garden of England. *Notas e Registros: The Royal Society. Journal da História da Ciência*, v. 71, n. 3, p. 297-327, 2017.

COFFMAN, Amanda Hofacker. Rachel Carson: The right person, at the right time, with the right message. In: *The Nobel Prize in Chemistry. Volume 2. Ladies waiting for the Nobel Prize* , American Chemical Society, p. 217-243. 2018.

CONTRERAS-CORNEJO, Hexon Angel et al. *Trichoderma atroviride*, a maize root associated fungus, increases the parasitism rate of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* by its natural enemy *Campoletis sonorensis*. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 122, p. 196-202, 2018.

DANNON, H. Fabrice et al. Toward the efficient use of *Beauveria bassiana* in integrated cotton insect pest management. *Journal of Cotton Research*, v. 3, n. 1, p. 1-21, 2020.

DAR, Mohd Ashraf; KAUSHIK, Garima; CHIU, Juan Francisco Villareal. Pollution status and biodegradation of organophosphate pesticides in the environment. In: *Abatement of Environmental Pollutants*. Elsevier,. p. 25-66. 2020.

DEMARCO, Patricia M. Rachel Carson's environmental ethica guide for global systems decision making. *Journal of cleaner production*, v. 140, p. 127-133, 2017.

DIAS, A. P., Gurgel, A. D. M., Rosa, A. C., Búrigo, A. C., Oliveira, A. C. D., Niemeyer, C. B. D., & Gurgel, I. G. D. (2018). *Agrotóxicos e Saúde*. 2018

DOCEA, Anca Oana et al. CYP polymorphisms and pathological conditions related to chronic exposure to organochlorine pesticides. *Toxicology reports*, v. 4, p. 335-341, 2017.

DOGAN, Yagmur Oyku et al. Evaluation of entomopathogenic fungi for the control of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) and the effect of *Metarhizium brunneum* on the predatory mites (Acari: Phytoseiidae). *Biological Control*, v. 111, p. 6-12, 2017

EARLY, Regan et al. Forecasting the global extent of invasion of the cereal pest *Spodoptera frugiperda*, the fall armyworm. ORE Open Research Exeter, 2018.

ELKHATEEB, Waill A. et al. Fungos contra insetos e vice-versa como modelos de controle biológico. *Jornal egípcio de controle biológico de pragas*, v. 31, n. 1, pág. 1-9, 2021.

EL-SHEIKH, Mohamed A. et al. Role of nanocatalyst in the treatment of organochlorine compounds-A review. *Chemosphere*, p. 128873, 2020.

ENGEL, Annette Summers. Micróbios. In: *Cave Encyclopedia*. Academic Press, p. 691-698. 2019.

GERBA, C. P. Environmental Toxicology. In: *Environmental and Pollution*. Science. Academic Press, 2019.

GEORGIADIS, Nikolaos et al. Pesticides and cardiotoxicity. Where do we stand?. *Toxicology and applied pharmacology*, v. 353, p. 1-14, 2018.

GHAZANCHYAN, N. L. et al. *Brevibacillus laterosporus* as perspective source of new bioinsecticides. *Annals of Agrarian Science*, v. 16, n. 4, p. 413-415, 2018.

GRIJALBA, Erika Paola et al. *Metarhizium rileyi* biopesticide to control *Spodoptera frugiperda*: Stability and insecticidal activity under glasshouse conditions. *Fungal biology*, v. 122, n. 11, p. 1069-1076, 2018.

GONZÁLEZ-MAS, N. et al. Bottom-up effects of endophytic *Beauveria bassiana* on multitrophic interactions between the cotton aphid, *Aphis gossypii*, and its natural enemies in melon. *Journal of Pest Science*, v. 92, n. 3, p. 1271-1281, 2019.

HANSEN, Martin Rune Hassan et al. Exposure to neuroactive non-organochlorine insecticides, and diabetes mellitus and related metabolic disturbances: Protocol for a systematic review and meta-analysis. *Environment international*, v. 127, p. 664-670, 2019.

HALLOUTI, Ayoub et al. Diversidade de fungos entomopatogênicos associados à mosca-das-frutas do Mediterrâneo (*Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae)) em florestas de argão marroquino e áreas próximas: impacto de fatores de solo em sua distribuição. *Ecologia BMC*, v. 20, n. 1, pág. 1-13, 2020.

HERNANDEZ-TREJO, A. et al. Effects of Native Entomopathogenic Fungal Strains and Neem Extract on *Spodoptera frugiperda* on Maize. *Southwestern Entomologist*, v. 44, n. 1, p. 117-124, 2019.

HELOU, Khalil et al. A review of organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in Lebanon: Environmental and human contaminants. *Chemosphere*, v. 231, p. 357-368, 2019.

HYDE, Kevin D. et al. The amazing potential of fungi: 50 ways we can exploit fungi industrially. *Fungal Diversity*, v. 97, n. 1, p. 1-136, 2019.

HOU, Minmin et al. A review of organophosphate esters in indoor dust, air, hand wipes and silicone wristbands: Implications for human exposure. *Environment International*, v. 146, p. 106261, 2021.

JABER, Lara R.; ENKERLI, Jürg. Fungal entomopathogens as endophytes: can they promote plant growth?. *Biocontrol Science and Technology*, v. 27, n. 1, p. 28-41, 2017.

JABER, Lara R.; OWNLEY, Bonnie H. Can we use entomopathogenic fungi as endophytes for dual biological control of insect pests and plant pathogens? *Biological control*, v. 116, p. 36-45, 2018.

KAUSHAL, Jyoti; KHATRI, Madhu; ARYA, Shailendra Kumar. A treatise on Organophosphate pesticide pollution: Current strategies and advancements in their environmental degradation and elimination. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 207, p. 111483, 2021.

KOUTROS, Stella et al. Non-Hodgkin lymphoma risk and organophosphate and carbamate insecticide use in the north American pooled project. *Environment international*, v. 127, p. 199-205, 2019.

LE GAL, Antoine et al. Modelling the interactions between landscape structure and spatio-temporal dynamics of pest natural enemies: Implications for conservation biological control. *Ecological Modelling*, v. 420, p. 108912, 2020.

LI, Huizhen et al. Global occurrence of pyrethroid insecticides in sediment and the associated toxicological effects on benthic invertebrates: an overview. *Journal of hazardous materials*, v. 324, p. 258-271, 2017.

LIN, GRACE LEE ERN et al. Entomopathogenic fungi isolated from the soil of Terengganu, Malaysia as potential bio-pesticides against the red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus*. *Journal of Sustainability Science and Management*, v. 12, n. 2, p. 71-79, 2017.

LIU, Xiaojian et al. Progress and prospects of arthropod chitin pathways and structures as targets for pest management. *Pesticide biochemistry and physiology*, v. 161, p. 33-46, 2019.

LIRA, Aline Cesar; MASCARIN, Gabriel Moura; JÚNIOR, Ítalo Delalibera. Microsclerotia production of *Metarhizium* spp. for dual role as plant biostimulant and control of *Spodoptera frugiperda* through corn seed coating. *Fungal Biology*, 2020.

LITWIN, Anna; NOWAK, Monika; RÓŻALSKA, Sylwia. Entomopathogenic fungi: unconventional applications. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, v. 19, n. 1, p. 23-42, 2020.

LUNDSTRÖM, Niklas LP; ZHANG, Hong; BRÄNNSTRÖM, Åke. Pareto-efficient biological pest control enable high efficacy at small costs. *Ecological Modelling*, v. 364, p. 89-97, 2017.

MAIA, Maria Luz et al. Organochlorine pesticides, brominated flame retardants, synthetic musks and polycyclic aromatic hydrocarbons in shrimps. An overview of occurrence and its implication on human exposure. *Heliyon*, v. 6, n. 9, p. e04870, 2020.

MACÍAS-RODRÍGUEZ, Lourdes et al. The interactions of *Trichoderma* at multiple trophic levels: inter-kingdom communication. *Microbiological Research*, p. 126552, 2020.

MAHMOUD, Fadhela Mohamed et al. Entomopathogenic efficacy of the endophytic fungi: *Clonostachys* sp. and *Beauveria bassiana* on *Tuta absoluta* (Meyrick)(Lepidoptera: Gelechiidae) larvae under laboratory and greenhouse conditions. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, v. 31, n. 1, p. 1-6, 2021.

MASCARIN, G. M. et al. Nitrogen sources affect productivity, desiccation tolerance and storage stability of *Beauveria bassiana* blastospores. *Journal of applied microbiology*, v. 124, n. 3, p. 810-820, 2018.

MASCARIN, Gabriel Moura et al. Current status and perspectives of fungal entomopathogens used for microbial control of arthropod pests in Brazil. *Journal of invertebrate pathology*, v. 165, p. 46-53, 2019.

MARTYNIUK, Christopher J.; MEHINTO, Alvine C.; DENSLOW, Nancy D. Organochlorine pesticides: agrochemicals with potent endocrine-disrupting properties in fish. *Molecular and cellular endocrinology*, v. 507, p. 110764, 2020

MELO, R. F.; VOLTOLINI, T. V. Agricultura familiar dependente de chuva no Semiárido. Embrapa Semiárido-Livro técnico (INFOTECA-E), 2019.

MORA, Margy Alejandra Esparza; CASTILHO, Alzimiro Marcelo Conteiro; FRAGA, Marcelo Elias. Classification and infection mechanism of entomopathogenic fungi. *Arquivos do Instituto Biológico*, v. 84, 2017.

MORAND, Serge; LAJAUNIE, Claire. Biodiversity and health: linking life, ecosystems and societies. Elsevier, 2018.

MOSMANN, Marcelo Pretto; ALBUQUERQUE, Leticia; BARBIERI, Isabele Bruna. Pesticides and Human Rights in the Global Context: Brazil at Risk of Retrocess. *Braz. J. Int'l L.*, v. 16, p. 151, 2019.

MINEAU, Pierre. Organophosphorous and carbamate insecticides: Impacts on birds. 2017.

MISHRA, Sandhya et al. Insights into the microbial degradation and biochemical mechanisms of carbamates. *Chemosphere*, p. 130500, 2021.

MUKHERJEE, Krishnendu; VILCINSKAS, Andreas. Transgenerational epigenetic inheritance in insects. In: *Transgenerational Epigenetics*. Academic Press, p. 315-329. 2019.

MUÑIZ-PAREDES, Facundo; MIRANDA-HERNÁNDEZ, Francisco; LOERA, Octávio. Conidia production by entomopathogenic fungi: from inoculants to final quality tests. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, v. 33, n. 3, p. 57, 2017.

NAGOSHI, Rodney N. et al. Comparative molecular analyses of invasive fall armyworm in Togo reveal strong similarities to populations from the eastern United States and the Greater Antilles. *PLoS One*, v. 12, n. 7, p. e0181982, 2017.

OLIVEIRA, Ivenio Rubens de et al. Associação dos controles biológico e químico para manejo da lagarta-do-cartucho na cultura do sorgo forrageiro. Embrapa Milho e Sorgo-Comunicado Técnico (INFOTECA-E), 2018.

OLIVEIRA, Thiago MBF et al. Current overview and perspectives on carbon-based (bio) sensors for carbamate pesticides electroanalysis. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, v. 124, p. 115779, 2020

OLISAH, Chijioke; OKOH, Omobola O.; OKOH, Anthony I. Global evolution of organochlorine pesticides research in biological and environmental matrices from 1992 to 2018: a bibliometric approach. *Emerging Contaminants*, v. 5, p. 157-167, 2019.

ONGONO, Jeanne Sandrine et al. Pesticides used in Europe and autism spectrum disorder risk: can novel exposure hypotheses be formulated beyond organophosphates, organochlorines, pyrethroids and carbamates?-A systematic review. *Environmental Research*, v. 187, p. 109646, 2020.

PANTELAKI, Ioanna; VOUTSA, Dimitra. Occurrence, analysis and risk assessment of organophosphate esters (OPEs) in biota: A review. *Marine Pollution Bulletin*, v. 160, p. 111547, 2020.

POTAPOWICZ, Joanna et al. Occurrences, sources, and transport of organochlorine pesticides in the aquatic environment of Antarctica. *Science of the Total Environment*, v. 735, p. 139475, 2020

POVEDA, Jorge. Trichoderma as biocontrol agent against pests: new uses for a mycoparasite. *Biological Control*, p. 104634, 2021

PELIZZA, Sebastian A. et al. Compatibility of chemical insecticides and entomopathogenic fungi for control of soybean defoliating pest, *Rachiplusia nu*. *Revista Argentina de Microbiología*, v. 50, n. 2, p. 189-201, 2018.

PITZER, EmilyM; WILLIAMS, Michael T.; VORHEES, Charles V. Effects of pyrethroids on brain development and behavior: Deltamethrin. *Neurotoxicology and Teratology*, p. 106983, 2021.

QAYYUM, Mirza Abdul et al. Integration of entomopathogenic fungi and eco-friendly insecticides for management of red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier). *Saudi Journal of Biological Sciences*, 2019.

RAFAEL-RUTTE, Robert et al. CEPAS NATIVAS DE *Bacillus thuringiensis* CONTRA *Spodoptera frugiperda* y *Alabama argillacea* EN EL CULTIVO DE ALGODÓN (*Gossypium barbadens*) EN PIURA, PERÚ. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, v. 36, n. 1, p. 52-62, 2020.

RAJULA, Julius; RAHMAN, Afroja; KRUTMUANG, Patcharin. Entomopathogenic fungi in Southeast Asia and Africa and their possible adoption in biological control. *Biological Control*, p. 104399, 2020.

RANI, Nisha et al. Microbes: A Key Player in Industrial Wastewater Treatment. In: *Microbial Wastewater Treatment*. Elsevier, p. 83-102. 2019.

RAMANUJAM, B.; POORNESHA, B.; SHYLESHA, A. N. Effect of entomopathogenic fungi against invasive pest *Spodoptera frugiperda* (JE Smith)(Lepidoptera: Noctuidae) in maize. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, v. 30, n. 1, p. 1-5, 2020.

SANTOS, Ana Carla da Silva et al. Entomopathogenic *Fusarium* species: a review of their potential for the biological control of insects, implications and prospects. *Fungal Biology Reviews*, v. 34, n. 1, p. 41-57, 2020.

SANTOS, Francisco Felipe dos et al. Metabólitos secundários isolados de fungos entomopatogênicos. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí 2018.

SARROCCO, Sabrina; VANNACCI, Giovanni. Preharvest application of beneficial fungi as a strategy to prevent postharvest mycotoxin contamination: A review. *Crop protection*, v. 110, p. 160-170, 2018.

SAVARY, Serge et al. The global burden of pathogens and pests on major food crops. *Nature ecology & evolution*, v. 3, n. 3, p. 430-439, 2019.

SERNA-DOMÍNGUEZ, María G. et al. High genetic diversity of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* in Colima, Mexico. *Journal of invertebrate pathology*, v. 163, p. 67-74, 2019.

SILVA, Manoj; BALTRUSAITIS, Jonas. Destruction of emerging organophosphate contaminants in wastewater using the heterogeneous iron-based photo-Fenton-like process. *Journal of Hazardous Materials Letters*, p. 100012, 2021.

SINGH, Neelam et al. Conservation Agriculture. *Biotica Research Today*, v. 2, n. 5, p. 156-158, 2020.

SOUSA, Francisco Santana de et al. The silent spring of Rio Doce: exploratory study of environmental disaster caused by mining Samarco. *Brazilian Journal of Business*, v. 2, n. 1, p. 242-260, 2020.

SOUZA, Tamires Doroteo et al. Sublethal effects of different fungal isolates on *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, v. 30, n. 1, p. 1-12, 2020.

SOLIMAN, N. A. et al. Pathogenicity of three entomopathogenic fungi against the Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata* (Wiedemann)(Diptera: Tephritidae). *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, v. 30, n. 1, p. 1-8, 2020.

SHARMA, Rajat; SHARMA, Priyanka. Fungal entomopathogens: a systematic review. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, v. 31, n. 1, p. 1-13, 2021.

SPATAFORA, Joseph W. et al. The fungal tree of life: from molecular systematics to genome-scale phylogenies. *The fungal kingdom*, p. 1-34, 2017.

STENBERG, Johan A. et al. When is it biological control? A framework of definitions, mechanisms, and classifications. *Journal of Pest Science*, p. 1-12, 2021.

TANG, Wangxin et al. Pyrethroid pesticide residues in the global environment: an overview. *Chemosphere*, v. 191, p. 990-1007, 2018.

TEDERSOO, Leho et al. High-level classification of the Fungi and a tool for evolutionary ecological analyses. *Fungal diversity*, v. 90, n. 1, p. 135-159, 2018.

TORRES, Jorge B.; BUENO, Adeney de F. Conservation biological control using selective insecticides—a valuable tool for IPM. *Biological Control*, v. 126, p. 53-64, 2018.

TSYGANKOV, Vasiliy Yu. Organochlorine pesticides in marine ecosystems of the Far Eastern Seas of Russia (2000–2017). *Water research*, v. 161, p. 43-53, 2019.

TSAI, Yi-Hua; LEIN, Pamela J. Mechanisms of Organophosphate Neurotoxicity. *Current Opinion in Toxicology*, 2021.

VALICENTE, Fernando Hercos et al. Riscos à Produção de Biopesticida à Base de *Bacillus thuringiensis*. *Circ Técnica EMBRAPA Milho e Sorgo*. Sete Lagoas, 2018.

WANG, Fan-Fan et al. Identification of Cyt2Ba from a new strain of *Bacillus thuringiensis* and its toxicity in *Bradysia difformis*. *Current Microbiology*, v. 77, n. 10, p. 2859-2866, 2020.

WANG, et al. Effects and mechanisms of pyrethroids on male reproductive system. *Toxicology*, v. 438, p. 152460, 2020.

WU, Qinghua et al. A review on the synthesis and bioactivity aspects of beauvericin, a *Fusarium* mycotoxin. *Frontiers in pharmacology*, v. 9, p. 1338, 2018.

Velásquez, L.; D. Rojas & J. Cerón. 2018. Proteínas de *Bacillus thuringiensis* con actividad citotóxica: Parasporinas. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 20(2): 89–100.

YANG, Changwon; LIM, Whasun; SONG, Gwonhwa. Mediation of oxidative stress toxicity induced by pyrethroid pesticides in fish. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, v. 234, p. 108758, 2020.

YE, Xiaoqing; LIU, Jing. Effects of pyrethroid insecticides on hypothalamic-pituitary-gonadal axis: a reproductive health perspective. *Environmental pollution*, v. 245, p. 590-599, 2019.

ZAYNAB, Madiha et al. Health and environmental effects of silent killers Organo-chlorine pesticides and polychlorinated biphenyl. *Journal of King Saud University -Science*, v. 33, p. 101511, 2021.

ZHU, Qiuyan et al. Synthesis, insecticidal activity, resistance, photodegradation and toxicity of pyrethroids (A review). *Chemosphere*, v. 254, p. 126779, 2020.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Agrícolas 10, 12, 13, 19, 20, 21, 24, 25, 28

B

Bactérias 7, 11, 13, 14, 16, 18, 19, 25, 28

Biológico 7, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 28, 31, 34

C

Controle 7, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 28, 31

E

Entomopatogênicos 11, 12, 14, 16, 18, 20, 21, 23, 25, 31, 35

F

Frugiperda 10, 19, 21, 29, 30, 31, 32, 33, 35

Fungi 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36

Fungos 7, 11, 12, 13, 14, 16, 18, 19, 20, 21, 25, 28, 31, 35

M

Micro-Organismos 11, 13, 14, 16, 18, 21, 22, 25, 28

P

Pernambuco 6, 40, 41, 42

Pragas 7, 10, 11, 12, 13, 14, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 28, 31

Produção 11, 19, 20, 23, 24, 28, 40, 41, 42

S

Science 16, 18, 19, 29, 31, 32, 33, 34, 36, 37

Spodoptera 10, 13, 19, 29, 30, 31, 32, 33, 35

U

Universidade 6, 40, 41, 42

Utilização 7, 11, 12, 14, 16, 18, 20, 21, 24, 25

SOBRE OS AUTORES

Nairane da Silva Rosa-Leão

Possui graduação em Ciências Biológicas (Lic.) e mestre em Desenvolvimento de Processos Ambientais pela Universidade Católica de Pernambuco/UNICAP. Possui formação Técnica Florestal pelo Centro Estadual de Educação profissional Visconde de São Leopoldo/ CEEP-RO-RS. Integrou grupo de pesquisa como auxílio técnico da Fundação para o desenvolvimento Científico e Tecnológico em Saúde-FIOTEC no Instituto Aggeu Magalhães IAM/ FIOCRUZ/PE. Doutoranda em Biotecnologia pela rede Nordeste de Biotecnologia RENORBIO/UFRN. Professora de Ciências e Biologia. Integrante do laboratório de tecnologia de Bioativos da UFRPE, atuando no projeto de desenvolvimento de bioprocessos para produção de bioinseticidas utilizando microrganismos, buscando novas alternativas de agentes biológicos para o biocontrole.

Jéssica Costa da Silva

Licenciada e mestra em Ciências Biológicas com ênfase em Biotecnologia pela Universidade Federal de Pernambuco. Atualmente é doutoranda em Ciências Biológicas pela mesma universidade, na qual desenvolve o projeto: Produção de Peptídeos de Colágeno e Gelatina com Atividade Biológica a Partir de Resíduos de Pescado. Participa do grupo de Pesquisa de Pescados, onde desenvolve trabalhos com resíduos de pescados, colágeno e gelatina no Laboratório de Biotecnologia de Produtos Bioativos da Universidade Federal Rural de Pernambuco.

Beatriz de Aquino Marques da Costa

Mestranda no Programa de Pós-graduação em Biociência Animal – UFRPE (PPGBA). Bacharel em Ciências Biológicas pela Universidade Federal Rural de Pernambuco. Ex-bolsista do Programa de Educação Tutorial vinculado ao curso de Bacharelado em Ciências Biológicas da UFRPE (PET Biologia) e do Programa Institucional de Bolsa de Iniciação Científica (PIBIC-UFRPE), vinculada ao Laboratório de Tecnologia de Bioativos (LABTECBIO) nos períodos de 2017-2018 e 2018-2019.

Sabrina Roberta Santana da Silva

Graduada em Licenciatura Plena em Ciências Biológicas pela Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE (2010). Mestre em Biotecnologia Industrial pela Universidade Federal de Pernambuco - UFPE (2015). Doutora em Biociência Animal pela Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE (2020). Atualmente é professora de ciências e biologia no município de Igarassu e no Governo do Estado de Pernambuco e aluna do curso de Especialização (lato sensu) em Microbiologia pela Faculdade Frassinetti do Recife - FAFIRE. Têm experiência na área de Microbiologia com ênfase em microbiologia industrial, processos fermentativos (bioprocessos) e produção de moléculas bioativas com aproveitamento de resíduos agroindustriais.

Vagne de Melo Oliveira

Formado em Ciências Biológicas (Lic.), Medicina Veterinária e Ciências Agrícolas (Lic.) pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). Possui Mestrado e Doutorado em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), com ênfase em Bioquímica de Proteínas; Estágio Pós-doutoral em Enzimologia, Recursos Pesqueiros Marinho, Exploração Pesqueira, UFRPE, BFP/FACEPE, Estágio Pós-doutoral pelo Programa Nacional de Pós-doutorado, PNPD CAPES/FACEPE, Medicina Veterinária, UFRPE; Especialização em Microbiologia pela Faculdade Frassinetti do Recife (FAFIRE). Apresenta em sua estrutura curricular experiência em Ensino, Pesquisa & Extensão: 1) Área de Bioquímica Geral, Bioquímica de Alimentos, Bioquímica Clínica, Bioquímica Aplicada a Engenharia de Pesca e a Aquicultura, Bioquímica Veterinária, Ciências Ambientais, Microbiologia Geral, Microbiologia Veterinária; 2) Pesquisa com ênfase na recuperação de macromoléculas a partir de resíduos agroindustriais (avicultura e aquicultura) para aplicação biotecnológica, atuando principalmente com biopolímeros aquáticos. Também, com ecotoxicologia, através de ensaios in vivo e in vitro, biomarcadores e bioindicadores ambientais, ecotoxicologia aquática; 3) Coordena, desenvolve e orienta atividades extensionistas através da realização de Cursos de Aperfeiçoamento, Capacitação, Atualização e de Projetos de Intervenção nas áreas das Ciências Agrárias e Biológicas, abrangendo todos os níveis de ensino.

Ana Lúcia Figueiredo Porto

Possui graduação em Licenciatura Em Química pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (1980), mestrado em Bioquímica e Fisiologia pela Universidade Federal de Pernambuco (1994), doutorado em Engenharia Química pela Univer-

cidade Estadual de Campinas (1998) com Doutorado Sanduiche Bolsista do CNPq pela Universidade Técnica de Lisboa (1996). Atualmente é pesquisador colaborador da Universidade Católica de Pernambuco, Universidade Estadual de Campinas, Universidade Federal do Amazonas, e Universidade Federal de Pernambuco. Orienta nos Programas de Pós-graduação Doutorado em Biotecnologia-RENORBIO e Biociência Animal -UFRPE, Biologia Aplicada a Saúde e Ciência Biológicas-UFPE. Professora Titular da Universidade Federal Rural de Pernambuco. Tem experiência na área de Bioquímica e Microbiologia, com ênfase em Bioquímica dos Micro-organismos e plantas, atuando principalmente nos seguintes temas: enzimas hidrolíticas (protease), sistemas de duas fases aquosas, processos biotecnológicos para produção de enzimas, peptídeos bioativos, probióticos, prebióticos e lectinas. Membro da Academia Pernambucana de Ciências desde 2019, e Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Biologia Aplicada à Saúde da UFPE.



Fungos e bactérias de importância agrícola utilizados no controle biológico

Uma prospecção científica



Fungos e bactérias de importância agrícola utilizados no controle biológico

Uma prospecção científica



RFB Editora
Home Page: www.rfbeditora.com
Email: adm@rfbeditora.com
WhatsApp: 91 98885-7730
CNPJ: 39.242.488/0001-07
R. dos Mundurucus, 3100, 66040-033, Belém-PA

