



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**  
**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: FITOTECNIA**

**AGENTES DE BIOCONTROLE NO MANEJO DA SARNA COMUM**  
**(*Streptomyces* sp.) E NEMATOIDES NA CULTURA DA BATATA**

**ROSANE MENDONÇA DO NASCIMENTO**

**VITÓRIA DA CONQUISTA**  
**BAHIA – BRASIL**  
**2022**

**ROSANE MENDONÇA DO NASCIMENTO**

**AGENTES DE BIOCONTROLE NO MANEJO DA SARNA COMUM (*Streptomyces*  
sp.) E NEMATOIDES NA CULTURA DA BATATA**

Tese apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Fitotecnia, para a obtenção do título de Doutor.

Orientador: Prof. Dr. Alcebíades Rebouças  
São José

VITÓRIA DA CONQUISTA  
BAHIA – BRASIL  
2022

N198a

Nascimento, Rosane Mendonça.

Agentes de biocontrole no manejo da sarna comum (*Streptomyces* sp.) e nematoides na cultura da batata. / Rosane Mendonça Nascimento, 2022.

102f. : il.

Orientador (a): Dr. Alcebiades Rebouças São José .

Tese (doutorado) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de concentração em Fitotecnia. Vitória da Conquista, 2022.

Inclui referência F. 82 - 85.

1. *Solanum tuberosum*. L. 2. Manejo biológico. 3. *Streptomyces* spp.

4. Sustentabilidade – Cultura da batata. I. São José, Alcebiades Rebouças. II. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós - Graduação em Agronomia. III. T. CDD. 633.491

**Catlogação na fonte: Juliana Teixeira de Assunção – CRB 5/1890**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
Área de Concentração em Fitotecnia**

*Campus de Vitória da Conquista, BA*

**DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO**

**Título: "AGENTES DE BIOCONTROLE NO MANEJO DA SARNA COMUM (*Streptomyces* sp.) E NEMATOIDES NA CULTURA DA BATATA"**

**Autora: Rosane Mendonça do Nascimento**

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR EM AGRONOMIA, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM FITOTECNIA, pela seguinte Banca Examinadora:



Alcebiades Rebouças São José, D.Sc., UESB  
Presidente



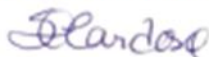
Quelmo Silva de Novaes, D.Sc., UESB



Abel Rebouças São José, D.Sc., UESB



Giltembergue Macedo Tavares, D.Sc., BIOFUNGI



Suane Coutinho Cardoso, D.Sc., IFBALANO

Data de realização: 29 de junho de 2022.

## **DEDICATÓRIA**

Aos meus pais, Benevaldo e Rosilane, por sempre estarem presentes e pelos ensinamentos a mim passados;

A minha irmã e ao meu noivo, pelo incentivo e compreensão.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a DEUS, por ter me fortalecido, ajudado e sustentado em todos os momentos da minha vida. “Eis que Deus é a minha salvação; confiarei e não temerei, porque o SENHOR Deus é a minha força e o meu cântico; Ele se tornou a minha salvação” (Isaías 12:2).

Ao meu amado pai, Benevaldo, pelo carinho, dedicação e por estar comigo em todos os momentos.

À minha preciosa mãe, Rosilane, pelas palavras de sabedoria, apoio, proteção e por sempre torcer por mim.

À minha querida irmã, Débora, pelo incentivo, compreensão e força a todo instante.

Ao meu abençoado noivo, pelo companheirismo, cuidado e encorajamento.

Ao meu orientador, Dr. Alcebíades Rebouças São José, por ser um exemplo de orientador e ser humano, pela sua dedicação, pelos ensinamentos transmitidos, por me acolher tão bem no laboratório e por sempre me auxiliar no que fosse preciso.

À equipe do Laboratório Biofábrica Pesquisa e Produção de Microrganismos – UESB, em especial a John, Luan, Mateus Geovana e Jaqueline, pelo apoio e colaboração.

A Wellington Hamaguchi, por todo apoio e contribuição para realização deste estudo.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da UESB, pelos conhecimentos transmitidos.

À Diretoria de Campo Agropecuário (DICAP), em especial, a Dui, pela colaboração para realização dos experimentos.

À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, *Campus* de Vitória da Conquista, onde, por meio do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, propiciou-me a oportunidade de realização deste curso de doutorado.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB), pela concessão da bolsa de estudos.

“O que habita no esconderijo do Altíssimo e descansa à sombra do Onipotente diz ao SENHOR:  
Meu refúgio e meu baluarte, Deus meu, em quem confio”.

(Salmos 91: 1-2)

## RESUMO GERAL

NASCIMENTO, R. M. do. **AGENTES DE BIOCONTROLE NO MANEJO DA SARNA COMUM (*STREPTOMYCES* SP.) E NEMATOIDES NA CULTURA DA BATATA.** Vitória da Conquista-BA, UESB, 2022. 102 p. (Tese: Doutorado em Agronomia; Área de concentração: Fitotecnia) \*

A sarna da batata é uma doença causada por bactérias do gênero *Streptomyces*, afetando principalmente os tubérculos. A sarna comum e os fitonematoides são relatados em todas as áreas produtoras de batata do mundo, ocasionando diminuição do valor comercial do produto ou até mesmo impedindo a sua comercialização. Considerando os danos acarretados por estes problemas fitossanitários e a importância dos agentes de manejo biológicos no controle das doenças de plantas, os objetivos deste estudo foram: avaliar o efeito de diferentes doses de produtos biológicos no desenvolvimento da sarna comum em tubérculos de batata; avaliar a eficiência de agentes de biocontrole, bem como a frequência de aplicação destes antagonistas para o manejo da sarna comum da batateira; e a eficácia de agentes de biocontrole, fertilizante organomineral e nematicida químico na supressão populacional de nematoides fitopatogênicos na cultura da batata. Dessa forma, a tese é composta por três artigos, sendo que, no primeiro, foram realizados dois experimentos com batata, no período de inverno e primavera-verão, com os bioagentes *Trichoderma longibrachiatum*, *Trichoderma asperellum*, *Bacillus subtilis*+*Bacillus licheniformis* e *Bacillus subtilis*+*Enterococcus faecium*+*Lactobacillus plantarum*, aplicados nas doses de 0, 2, 4, 6, 8 e 10 kg ha<sup>-1</sup> em solo contaminado com *Streptomyces* sp. No segundo artigo, avaliou-se os mesmos bioagentes, no inverno e primavera-verão, porém, aplicados em quatro frequências: duas vezes na semana, semanalmente, quinzenalmente e mensalmente, também em solo com incidência natural de *Streptomyces* sp. No terceiro artigo, foi realizado um experimento em solo contaminado por fitonematoides, com os antagonistas *T. longibrachiatum*, *T. asperellum*, *B. subtilis*+*E. faecium*+*L. plantarum*, *B. subtilis*+*L. plantarum*+*T. longibrachiatum*, *B. subtilis*+*E. faecium*+*L. plantarum* + fertilizante orgânico foliar e *B. subtilis*+*L. plantarum*+*T. longibrachiatum* + fertilizante orgânico foliar, fertilizante organomineral foliar e nematicida químico. No experimento realizado no período do inverno, o bioagente *T. longibrachiatum* apresentou maior redução da severidade da doença de 83,95%, na dose de 4 kg ha<sup>-1</sup>; no da primavera-verão, foi o *B. subtilis* com redução de 75,67%, na dose de 8 kg ha<sup>-1</sup>. Em ambos os experimentos, *T. asperellum* apresentou maior redução do índice da doença e do número de tubérculos lesionados, com a elevação das doses. Todos os bioagentes contribuíram para redução da intensidade da doença. Em ambos os experimentos, *T. asperellum* e *T. longibrachiatum* foram mais eficientes no manejo da sarna comum, podendo ser aplicado quinzenalmente. Os microrganismos utilizados como agentes de biocontrole foram eficientes na redução populacional de nematoides juvenis e adultos, bem como seus ovos.

**Palavras-chave:** *Solanum tuberosum* L.; manejo biológico; *Streptomyces* spp.; sustentabilidade.

---

\***Orientador:** Prof. Dr. Alcebíades Rebouças São José, UESB.



## GENERAL ABSTRACT

NASCIMENTO, R. M. do. **BIOCONTROL AGENTS IN THE MANAGEMENT OF COMMON SCAB (*STREPTOMYCES* SP.) AND NEMATODES IN POTATO.** Vitória da Conquista-BA, UESB, 2022. 102 p. (Thesis: Doctor Science in Agronomy; Area of Concentration: Crop Science) \*

Potato scab is a disease caused by bacteria of the genus *Streptomyces*, mainly affecting the tubers. Common scab and phytonematodes are reported in all potato-producing areas of the world, causing a decrease in the commercial value of the product or even preventing its commercialization. Considering the damage caused by these phytosanitary problems and the importance of biological management agents in the control of plant diseases, the objectives of this study were: to evaluate the effect of different doses of biological products on the development of common scab in potato tubers; to evaluate the efficiency of biocontrol agents, as well as the frequency of application of these antagonists for the management of common potato scab, and the effectiveness of biocontrol agents, organomineral fertilizer and chemical nematicide in population suppression of phytopathogenic nematodes in potato. In this way, the thesis is composed of three articles, the first of which were two experiments with potato, in the winter and spring-summer period, with the bioagents *Trichoderma longibrachiatum*, *Trichoderma asperellum*, *Bacillus subtilis*+*Bacillus licheniformis* and *Bacillus subtilis*+*Enterococcus faecium*+*Lactobacillus plantarum*, applied at doses of 0, 2, 4, 6, 8 and 10 kg ha<sup>-1</sup> in soil contaminated with *Streptomyces* sp.. In the second article, the same bioagents were evaluated in winter and spring-summer, however, applied in four frequencies: twice a week, weekly, fortnightly and monthly, also in soil with natural incidence of *Streptomyces* sp. In the third article, an experiment was carried out, in soil contaminated by phytonematodes, with the antagonists *T. longibrachiatum*, *T. asperellum*, *B. subtilis*+*E. faecium*+*L. plantarum*, *B. subtilis*+*L. plantarum*+*T. longibrachiatum*, *B. subtilis*+*E. faecium*+*L. plantarum* + organic foliar fertilizer and *B. subtilis*+*L. plantarum*+*T. longibrachiatum* + foliar organic fertilizer, foliar organomineral fertilizer and chemical nematicide. In the experiment carried out in the winter period, the bioagent *T. longibrachiatum* showed a greater reduction in disease severity of 83.95%, at a dose of 4 kg ha<sup>-1</sup>; in spring-summer it was *B. subtilis* with a reduction of 75.67% at a dose of 8 kg ha<sup>-1</sup>. In both experiments, *T. asperellum* showed a greater reduction in the disease index and in the number of injured tubers, with increasing doses. All bioagents contributed to reducing the intensity of the disease. In both experiments, *T. asperellum* and *T. longibrachiatum* were more efficient in the management of common scab, and can be applied fortnightly. The microorganisms used as biocontrol agents were efficient in reducing the population of juvenile and adult nematodes, as well as their eggs.

**Keywords:** *Solanum tuberosum* L.; biological management; *Streptomyces* spp.; sustainability

---

\***Orientador:** Prof. Dr. Alcebíades Rebouças São José, UESB.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.1</b> – Dados de temperaturas máximas (TEM MÁX), médias (TEM MED) e mínimas (TEM MÍN) no período do experimento de inverno (A) e de primavera/verão (B), em Vitória da Conquista - BA.....	31
<b>Figura 1.2</b> – Influência da aplicação de diferentes doses de agentes de biocontrole sobre a massa fresca de tubérculos sadios (MFTS) (A), massa fresca de tubérculos lesionados (MFTL) (B) e massa fresca total de tubérculos (MFTT) (C) de batata, no experimento de inverno.....	32
<b>Figura 1.3</b> – Influência da aplicação de diferentes doses de agentes de biocontrole sobre o número de tubérculos sadios (N°TS) (A), número de tubérculos lesionados (N°TL) (B); e número total de tubérculos (N°TT) (C) de batata em função de diferentes doses de agentes de biocontrole, no experimento de inverno.....	33
<b>Figura 1.4</b> – Influência da aplicação de diferentes doses de agentes de biocontrole sobre a severidade da doença (SD) (A) e índice da doença (ID) (B), no experimento de inverno.....	34
<b>Figura 1.5</b> – Influência da aplicação de diferentes doses de agentes de biocontrole sobre a massa fresca de tubérculos sadios (MFTS) (A), massa fresca de tubérculos lesionados (MFTL) (B) e massa fresca total de tubérculos (MFTT) (C) de batata, no experimento de primavera-verão.....	35
<b>Figura 1.6</b> – Número de tubérculos sadios (N°TS) (A) de batata em função de diferentes doses de agentes de biocontrole; Influência da aplicação de diferentes doses de agentes de biocontrole sobre o número de tubérculos lesionados (N°TL) (B); e Número total de tubérculos (N°TT) (C) de batata, no experimento de primavera-verão.....	36
<b>Figura 1.7</b> – Influência da aplicação de diferentes doses de agentes de biocontrole sobre a severidade da doença (SD) (A) e índice da doença (ID) (B), no experimento de primavera-verão.....	37
<b>Figura 2.1</b> – Dados de temperaturas máximas (TEM MÁX), médias (TEM MED) e mínimas (TEM MÍN) no período do experimento de inverno (A) e de primavera-verão (B), em Vitória da Conquista - BA.....	61
<b>Figura 3.1</b> – Número de adultos vivos (A) e mortos (B) de nematoides presentes no solo, em plantas de batata tratadas com diferentes produtos biológicos.....	74
<b>Figura 3.2</b> – Número de nematoides juvenis vivos (A) e mortos (B) presentes no solo.....	75

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.1</b> – Análise química e física do solo com incidência de <i>Streptomyces</i> coletado para realização do experimento no período de inverno e de primavera-verão.....	30
<b>Tabela 2.1</b> – Análise química do solo coletado, com incidência de <i>Streptomyces</i> , para realização do experimento no período de inverno e de primavera-verão.....	60
<b>Tabela 2.2</b> – Massa fresca de tubérculos sadios (MFTS) (g), massa fresca de tubérculos lesionados (MFTL) (g), número de tubérculos sadios (N° TS) (g) e número de tubérculos lesionados (N° TL) (g) de batata, em função da frequência de aplicação de agentes de biocontrole, no período de inverno.....	62
<b>Tabela 2.3</b> – Massa fresca total de tubérculo (MFTT) (g), massa seca de tubérculos (MST) (g), massa seca foliar (MSF) (g) e altura aos 28 dias após o plantio (cm) (ALT 28 DAP) de batata, em função de agentes de biocontrole e da frequência de aplicação, no período de inverno.....	63
<b>Tabela 2.4</b> – Número total de tubérculos (g) (N° TT), altura aos 42 DAP (cm) (ALT 42 DAP), severidade da doença (SD) e índice da doença (ID) de batata, em função da frequência de aplicação de agentes de biocontrole, no período de inverno.....	64
<b>Tabela 2.5</b> – Massa fresca de tubérculos sadios (MFTS) (g), massa fresca de tubérculos lesionados (MFTL) (g), massa fresca total de tubérculos (MFTT) (g) e massa seca de tubérculos (MST) de batata, em função da frequência de aplicação de agentes de biocontrole, no período de primavera-verão.....	65
<b>Tabela 2.6</b> – Massa fresca de tubérculos sadios (MFTS) (g), massa fresca de tubérculos lesionados (MFTL) (g), massa fresca total de tubérculos (MFTT) (g), massa seca de tubérculos (MST) de batata em função da frequência de aplicação de agentes de biocontrole, no período de primavera-verão.....	66
<b>Tabela 2.7</b> – Número de tubérculos lesionados (N° TL) (g), altura aos 38 dias após o plantio (cm) (ALT 38 DAP) e aos 52 dias após o plantio (ALT 52 DAP) de batata, em função de agentes de biocontrole e da frequência de aplicação, no período de primavera-verão.....	67
<b>Tabela 2.8</b> – Severidade da doença (SD) e índice da doença (ID), em função da frequência de aplicação de agentes de biocontrole, no período de primavera-verão.....	68
<b>Tabela 3.1</b> – Ovos de nematoides presentes no solo, em plantas de batata tratadas com diferentes produtos.....	76

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ALT	altura
ALT 28 DAP	altura aos 28 dias após o plantio
ALT 42 DAP	altura aos 42 dias após o plantio
ALT 38 DAP	altura aos 38 dias após o plantio
ALT 52 DAP	altura aos 52 dias após o plantio
BS+BL	<i>Bacillus subtilis</i> + <i>Bacillus licheniformis</i>
BS+EF+LP	<i>Bacillus subtilis</i> + <i>Enterococcus faecium</i> + <i>Lactobacillus plantarum</i>
BS+LP+TL	<i>Bacillus subtilis</i> + <i>Lactobacillus plantarum</i> + <i>Trichoderma longibrachiatum</i>
cv.	cultivar
DAP	dias após o plantio
FOF	fertilizante orgânico foliar
FOMF	fertilizante organomineral foliar
ID	índice de severidade
MFTS	massa fresca de tubérculos sadios
MFTL	massa fresca de tubérculos lesionados
MFTT	massa fresca total de tubérculos
MSF	massa seca foliar
MST	massa seca de tubérculos
N°TS	número de tubérculos sadios
N°TL	número de tubérculos lesionados
N°TT	número total de tubérculos
SD	severidade da doença
TA	<i>Trichoderma asperellum</i>
TL	<i>Trichoderma longibrachiatum</i>

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO .....	4
3 ARTIGO I– Agentes de biocontrole aplicados em diferentes doses no manejo da sarna comum da batata.....	6
RESUMO.....	8
3.1 INTRODUÇÃO.....	9
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	10
3.2.1 Teste de patogenicidade.....	10
3.2.2 Localização e época de plantio.....	11
3.2.3 <i>Design</i> e Tratamentos do Experimento.....	11
3.2.4 Cultivar utilizada.....	11
3.2.5 Condições do solo e clima.....	12
3.2.6 Condução do experimento e Características avaliadas .....	12
3.2.7 Análise estatística.....	13
3.3 RESULTADOS.....	13
3.3.1 Teste de patogenicidade.....	13
3.3.2 Experimento realizado no período de inverno.....	13
3.3.3 Experimento realizado no período de primavera-verão.....	15
3.4 DISCUSSÃO.....	17
3.5 REFERÊNCIAS.....	24
3.6 Tabelas e Figuras.....	30
4 ARTIGO II – Frequência de aplicação de bioagentes no manejo da sarna comum da batata.....	38
RESUMO.....	40
4.1 INTRODUÇÃO.....	41
4.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	42
4.2.1 Localização e época de plantio.....	42
4.2.2 <i>Design</i> e Tratamentos do Experimento.....	43
4.2.3 Cultivar utilizada.....	43
4.2.4 Condições do solo e clima.....	43
4.2.5 Condução do experimento e Características avaliadas .....	44
4.2.6 Análise estatística.....	45
4.3 RESULTADOS.....	45
4.3.1 Experimento realizado no período de inverno.....	45
4.3.2 Massa fresca de tubérculos sadios e lesionados .....	45
4.3.3 Número de tubérculos sadios e lesionados.....	45
4.3.4 Massa fresca total e massa seca de tubérculos, massa seca foliar e altura aos 28 DAP..	46
4.3.5 Número total de tubérculos e altura aos 42 DAP.....	46
4.3.6 Severidade da doença e Índice da doença.....	47
4.3.7 Experimento realizado no período de primavera-verão.....	47
4.3.8 Massa fresca de tubérculos sadios, lesionados e total.....	48
4.3.9 Massa seca de tubérculos e massa seca foliar.....	49
4.3.10 Número de tubérculos sadios e número total de tubérculos.....	49
4.3.11 Número de tubérculos lesionados, altura aos 38 DAP e aos 52 DAP.....	50
4.3.12 Severidade da doença e índice da doença.....	50
4.4 DISCUSSÃO.....	51
4.5 REFERÊNCIAS.....	56

4.6 Tabelas e Figuras.....	60
5 ARTIGO III – Agentes de biocontrole e químico no manejo de nematoides na cultura da batata.....	69
RESUMO.....	70
5.1 INTRODUÇÃO.....	71
5.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	72
5.2.1 Coleta de solo contaminado com fitonematoides.....	72
5.2.2 <i>Design</i> e Tratamentos do Experimento.....	73
5.2.3 Condução do experimento e Extração de nematoides presentes no solo.....	73
5.2.4 Análise estatística.....	74
5.3 RESULTADOS.....	74
5.3.1 Número de adultos vivos e mortos de nematoides.....	75
5.3.2 Número de juvenis vivos e mortos de nematoides.....	75
5.3.3 Número de ovos de nematoides.....	76
5.4 DISCUSSÃO.....	76
5.5 CONCLUSÃO.....	81
5.6 REFERÊNCIAS.....	82
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	86

## INTRODUÇÃO GERAL

A batata (*Solanum tuberosum* L.) é a terceira fonte de alimento para a humanidade, sendo superada apenas pelo trigo e arroz. O tubérculo é pobre em gordura e rico em carboidratos e, quando consumida com casca, uma única batata de tamanho médio de 150 g fornece quase metade da necessidade diária de um adulto (100 mg) de vitamina C. Além disso, é uma boa fonte de vitaminas B1, B3 e B6 e minerais, como ferro, potássio, fósforo e magnésio; contendo ainda folato, ácido pantotênico e riboflavina (Matos et al., 2017; Devaux et al., 2020; Devaux et al., 2021). Apresenta grande relevância econômica e social, contribuindo para a diminuição da fome e para a garantia de emprego no campo, principalmente nos países em desenvolvimento da Ásia, África e América Latina (FAO, 2010).

A produção mundial de batata, em 2020, foi de aproximadamente 359 milhões de toneladas, tendo a China e a Índia como os maiores produtores da cultura, e o Brasil ocupando a 22ª posição (FAO, 2022). No Brasil, a produção de batata, neste mesmo ano, foi de 3,77 milhões de toneladas, em uma área plantada de 117,3 mil ha, com produtividade média de 32,1 mil Kg ha<sup>-1</sup>. Os principais estados produtores foram Minas Gerais, Paraná, São Paulo e Bahia, com produtividades médias de, respectivamente, 35,5 mil kg ha<sup>-1</sup>, 27,4 mil kg ha<sup>-1</sup>, 35,8 mil kg ha<sup>-1</sup> e 49,4 mil kg ha<sup>-1</sup> (IBGE, 2022).

A batata está se tornando um alimento cada vez mais importante no mundo, portanto, é essencial o controle de doenças que causam perdas na produtividade e diminuição da renda dos agricultores devido à degradação da qualidade dos tubérculos afetados (Fiers et al., 2012).

Dentre os problemas fitossanitários que causam danos aos tubérculos, tornando-os sem valor comercial, considerados, dessa forma, fatores limitantes à produção da batata, destaca-se a sarna comum e os fitonematoides. A infecção causada pela sarna comum da batata é caracterizada por formar lesões superficiais, profundas ou corticosas na superfície dos tubérculos. A presença dessas lesões deteriora a qualidade dos tubérculos e reduz o valor do produto no mercado. Por exemplo, a indústria de batata no Canadá relatou ter uma perda de US \$ 1,2 milhão a cada ano, devido a essa doença (Al-Mughrabi et al., 2016).

A sarna comum é causada por diferentes espécies de bactérias do gênero *Streptomyces*, tais como *S. scabiei*, *S. acidiscabies*, *S. europaeiscabiei*, *S. luridiscabiei*, *S. niveiscabiei*, *S. puniscabiei*, *S. retiuliscabiei*, *S. stelliscabiei*, *S. turgidiscabies* e *S. ipomoeae* (Ismail et al., 2020).

*Streptomyces scabies*, principal agente causal da sarna comum, é uma bactéria actinomiceto que possui esporos em forma de barril, medindo 0,8-1,7 x 0,5-0,8 µm. Seus “conidióforos” são ramificados, septados e com hifas terminais espiraladas. Seu crescimento

dá-se em temperaturas entre 5-40°C, sendo o ótimo entre 25 e 30°C. As colônias em meio de cultura são brancas e possuem micélio aéreo. Pode viver saprofiticamente no solo e em outras plantas hospedeiras. Seus propágulos podem ser disseminados por diversos agentes (água, vento, insetos, tubérculos) e têm a particularidade de sobreviver ao trato intestinal de herbívoros, o que faz do esterco mal curtido uma fonte de inóculo (Souza Dias e Iamauti, 1997).

Os sintomas podem ser observados nas partes subterrâneas da planta, incluindo caules, estolões e tubérculos em desenvolvimento, exceto as raízes. As partes acima do solo das plantas infectadas por *Streptomyces* permanecem saudáveis, a menos que ocorra restrição da condução de água e nutrientes entre raízes e brotos. Os tubérculos jovens, aproximadamente 0–6 semanas após o início da tuberização, são relatados como os mais vulneráveis ao ataque do patógeno (Dess e Wanner, 2012; Khatri et al., 2011). A severidade dos sintomas depende da cultivar, tempo de infecção, virulência da cepa infectante, condições ambientais e de fatores de virulência adicionais (Wanner e Kirk, 2015).

O manejo da sarna comum tem provocado preocupação para os produtores. As estratégias de manejo utilizadas para combater essa doença incluem a manutenção da umidade e redução do pH do solo, fumigação química, tratamento da batata semente com fungicida, fertilizante de enxofre, criação de cultivares resistentes, controle biológico e o pousio do solo associado à rotação de cultura (Dess e Wanner, 2012).

Os fitonematoídeos causam uma perda anual estimada em US\$ 78 bilhões em todo o mundo e uma perda média de rendimento de colheita de 10 a 15% (Lima et al., 2018). Em nível mundial, as principais espécies que causam danos em batata são *Globodera* spp., *Meloidogyne* spp., *Nacobus aberrans*, *Pratylenchus* spp. e *Trichodorus* spp. (Oliveira et al., 2017). Os nematoídeos mais comuns na cultura da batata, no Brasil, são o nematoídeo das galhas radiculares (*Meloidogyne* spp.) e o nematoídeo das lesões radiculares (*Pratylenchus* spp.). Estes patógenos de solo podem reduzir a quantidade e a qualidade dos tubérculos, podendo afetar até 100% da produção (Pinheiro et al., 2015).

Os nematoídeos das galhas radiculares são endoparasitos sedentários dos quais, dos ovos depositados pelas fêmeas, eclodem juvenis de segundo estágio (J2) que apresentam corpo filiforme. Os J2 penetram as raízes das plantas, estabelecem um sítio permanente de alimentação formado por células nutritoras (ou células gigantes) e tornam-se obesos; e, após sofrerem três ecdises, atingem o estágio adulto. Os machos são esbeltos e móveis e não parasitam as plantas. As fêmeas adquirem formato de pera e passam a produzir os ovos, que são depositados numa matriz gelatinosa, formando a massa de ovos. Cada fêmea produz, em média, 500 ovos (Oliveira et al., 2017).



O sintoma mais característico desses nematoides visualizado no campo é a formação de galhas, protuberâncias que ocorrem nas raízes e na superfície dos tubérculos. As galhas sempre se formam no local em que fêmeas de *Meloidogyne* estão localizadas. Em culturas infestadas com o nematoide das galhas, a batata produzida é de qualidade muito inferior, pelo aspecto “empipocado” dos tubérculos, pela facilidade com que esses tubérculos apodrecem, pela diminuição de tamanho/peso e pela perda de amido no tecido em torno das “pipocas” (Oliveira e Rosa, 2021).

Os nematoides das lesões radiculares são endoparasitos e migradores e todas as suas fases de desenvolvimento pós-emergentes do ovo são consideradas como infestantes. A penetração nos tecidos pode ser intercelular ou intracelular (Oliveira et al., 2017). O ciclo de vida do *Pratylenchus* varia de quatro a oito semanas. Normalmente, penetram nos tubérculos pelas lenticelas e invadem os tecidos em sua volta, produzindo lesões escuras e circulares de tamanho variável, com necrose dos tecidos infectados (Pinheiro et al., 2015).

Os danos causados por esses patógenos de solo não estão associados somente à redução do peso nos tubérculos, mas às alterações físico-químicas em resposta à infecção, com interferência direta na qualidade comercial dos tubérculos. Além disso, sua importância se reflete na necessidade de aplicar nematicidas de solo por ocasião do plantio, que resulta em custos adicionais de produção e, principalmente, na contaminação ambiental e em riscos à saúde do aplicador e do consumidor (Pinheiro et al., 2013).

Nos últimos anos, a sarna comum e os fitonematoides têm ocorrido com maior frequência e estão disseminados por todas as regiões produtoras de batata, não possuindo produtos ou manejo eficazes para o seu controle. Essa situação tem deixado os produtores e técnicos em situação delicada, pois, a cada safra, os prejuízos na comercialização tornam-se mais relevantes, somando-se ainda os impactos negativos aos ecossistemas, devido à utilização de técnicas e/ou produtos fitossanitários de baixa eficácia.

Dentre as alternativas promissoras para o controle dessa doença, tem-se o estudo de microrganismos antagonistas ao desenvolvimento do patógeno, podendo as pesquisas serem realizadas visando o manejo biológico ou de forma associada com produtos químicos disponíveis no mercado.

Diante disso, o objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito de diferentes doses e agentes de controle biológico no desenvolvimento da sarna comum em tubérculos de batata, bem como a frequência de aplicação desses bioagentes. Além disso, também foi avaliada a eficiência de agentes de biocontrole e químico na supressão populacional de nematoides fitopatogênicos na cultura da batata.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Al-Mughrabi, K.I.; Vikram, A.; Poirier, R.; Jayasuriya, K.; Moreau, G. Management of common scab of potato in the field using biopesticides, fungicides, soil additives, or soil fumigants. **Biocontrol Science and Technology**, v. 26, n.1, p.125–135, 2016. <http://dx.doi.org/10.1080/09583157.2015.1079809>

Dees, M.M.W.; Wanner, L.A. In search of better management of potato common scab. **Potato Research**, v. 55, p. 249–268, 2012. <https://doi.org/10.1007/s11540-012-9206-9>

Devaux, A., Goffart, J.P., Kromann, P., Andrade-Piedra, J., Polar, V., Hareau, G. The Potato of the Future: Opportunities and Challenges in Sustainable Agri-food Systems. **Potato Research**, v. 64, p. 681–720, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11540-021-09501-4>

Devaux, A.; Goffart, J.P.; Petsakos, A.; Kromann, P.; Gatto, M.; Okello, J.; Suarez, V.; Hareau, G. Global Food Security, Contributions from Sustainable Potato Agri-Food Systems. In: Campos, H.; Ortiz, O. (Eds.). **The Potato Crop**. Cham, Springer, 2020, p. 3-35.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **FAOSTAT**. Stastical Database. 2022. <https://www.fao.org/faostat/en/#data>

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Strengthening potato value chains: technical and policy options for developing countries**. 2010. <http://www.fao.org/docrep/013/i1710e/i1710e.pdf>

Fiers, M., Edel-Hermann, V., Chatot, C., Hingrat, Y., Alabouvette, C., Steinberg, C. Potato soil-borne diseases. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v.32, n.1, p.93-132, 2012. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0035-z>

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA**. 2022. <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda>

Ismail, S.; Jiang, B.; Nasimi, Z., Inam-ul-Haq, M.; Yamamoto, N.; Ofori, A. D.; Khan, K.; Arshad, M.; Abbas, K.; Zheng, A. Investigation of *Streptomyces scabiei* causing potato scab by various detection techniques, its pathogenicity and determination of host-disease resistance in potato germplasm. **Pathogens**, v.9, n.9, p. 760, 2020. <https://doi.org/10.3390/pathogens9090760>

Khatri, B.B.; Tegg, R.S.; Brown, P.H.; Wilson, C.R. Temporal association of potato tuber development with susceptibility to common scab and *Streptomyces scabiei*-induced responses in the potato periderm. **Plant Pathology**, v.60, p.776–786, 2011. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2011.02435.x>

Lima, F.S.; Mattos, V.S.; Silva, E.S.; A.S. Carvalho, M.; Teixeira, R. A.; Silva, J. C.; Correa, V. R. Nematodes Affecting Potato and Sustainable Practices for Their Management. In: Yildiz, M. (Ed.). **Potato - From Incas to All Over the World**. Londres, IntechOpen, 2018, p. 107-124.

Matos, M.J.L.F.; Lanna, M.M.; Santos, F.F.; Melo, M. F. Batata alimento para a humanidade. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/160899/1/BATATA-CCCC-2017.pdf>.

Nunes, M.U.C. Produtividade e principais problemas fitossanitários de cultivares de batata em Sergipe. **Horticultura Brasileira**, v. 20, n. 3, p. 424- 427, 2002.

Oliveira, C.M.G.; Kubo, R.K.; Inomoto, M.M. Nematoides parasitos da batata. *In*: Salas, F.J.S.; Töfoli, J. G. (Eds.) **Cultura da batata: pragas e doenças**. São Paulo, Instituto Biológico, 2017, p. 45-59.

Oliveira, C.M.G.; Rosa, J.M.O. Nematoides parasitos da batata. *In*: Pitelli, A.M.C.M. (Ed.). **Batata: desafios fitossanitários e manejo sustentável**. São Paulo, UPL, 2021, p. 231-248.

Pinheiro, J.B.; Carvalho, A.D.C.; Rodrigues, C.S.; Pereira, R. B.; Suinaga, F.A. **Reação de clones avançados de batata em campo naturalmente infestado pelo nematoide-das-galhas**. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 99. Brasília, Embrapa Hortaliças, 2013, 18 p.

Pinheiro, J.B.; Silva, G.O.; Pereira, R.B. **Nematoides na Cultura da Batata**. Circular técnica, 143. Brasília, Embrapa Hortaliças, 2015, 12 p.

Dias, J.A.C. S.; Iamauti, M.T. Doenças da batateira (*Solanum tuberosum* L.). *In*: Kimati, H.; Amorim, L.; Bergamin Filho, A.; Camargo, L.E.A.; Rezende, J.A.M. (Eds.). **Manual de fitopatologia**. São Paulo, Ceres, 1997, p.136-159.

Wanner L.A.; Kirk, W.W. *Streptomyces* – from basic microbiology to role as a plant pathogen. **American Journal of Potato Research**, v.92, p. 236-242, 2015.  
<https://doi.org/10.1007/s12230-015-9449-5>

**Periódico Científico:** Spanish Journal of Agricultural Research – A4

**ARTIGO I**

Agentes de biocontrole aplicados em diferentes doses no manejo da sarna  
comum da batata\*

---

\* **Situação:** não submetido

*Título do trabalho:* Agentes de biocontrole aplicados em diferentes doses no manejo da sarna comum da batata

*Nomes dos autores:* Rosane M. Nascimento, Alcebiádes R. São-José, John S. Porto

*Afiliação:* Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Estrada do Bem Querer, Km 4, s/nº, 45031-900 Vitória da Conquista, Bahia, Brasil.

*Nome do autor correspondente e endereço de e-mail:* Rosane M. Nascimento: ro\_brdrmn@hotmail.com

*Contribuições dos autores:* Projetou o experimento: RMN, ARSJ e JSP. Realizou o experimento e analisou os dados. Redação do manuscrito: RMN. Supervisionou o trabalho: ARSJ. Revisou e editou o manuscrito: RMN, ARSJ e JSP.

*Número de tabelas e figuras:* 1 tabela e 7 figuras.

*Tópico:* Proteção de plantas.

*Financiamento:* Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB)

*Interesses concorrentes:* Os autores declararam que não existem interesses concorrentes.

## Resumo

*Objetivo do estudo:* A sarna comum está entre as doenças bacterianas com maior importância mundial, por ocasionar danos diretos ao tubérculo e não haver um controle efetivo dessa moléstia. Os bioagentes são alternativas promissoras no manejo da sarna, além de serem ecologicamente corretos. Neste estudo, foi avaliado o efeito de bioagentes, aplicados em diferentes doses, no desenvolvimento da sarna comum em tubérculos de batata.

*Área de estudo:* Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, Bahia, Brasil.

*Materiais e métodos:* Foram realizados dois experimentos com batata ('Orchestra'), em épocas distintas, com *Trichoderma longibrachiatum*, *Trichoderma asperellum*, *Bacillus subtilis* + *Bacillus licheniformis* e *Bacillus subtilis* + *Enterococcus faecium* + *Lactobacillus plantarum*, aplicados nas doses de 0, 2, 4, 6, 8 e 10 kg ha<sup>-1</sup> em solo contaminado com *Streptomyces*.

*Principais resultados:* No experimento realizado no inverno, o bioagente *T. longibrachiatum* apresentou maior redução da severidade da doença de 83,95%, na dose de 4 kg ha<sup>-1</sup>; no de primavera-verão, foi o *B. subtilis* + *B. licheniformis* com redução de 75,67%, na dose de 8 kg ha<sup>-1</sup>. Em ambos os experimentos, *T. asperellum* apresentou maior redução do índice da doença e do número de tubérculos lesionados, com a elevação das doses.

*Destaques da pesquisa:* Os antagonistas contribuíram no manejo da sarna, resultados menos expressivos foram observados com *B. subtilis* + *E. faecium* + *Lactobacillus plantarum*. A aplicação das doses mais elevadas de *T. asperellum* propiciou maiores reduções da doença. Porém, quando houve redução das doses, *T. longibrachiatum* foi mais eficiente no controle da doença.

**Palavras-chave adicionais:** antagonismo; controle biológico; sustentabilidade; *Streptomyces sp.*; *Solanum tuberosum* L.; *Trichoderma* spp..

**Abreviaturas usadas:** DAP (dias após o plantio); MFTS (massa fresca de tubérculos sadios); MFTL (massa fresca de tubérculos lesionados); MFTT (massa fresca total de tubérculos); N°TS (número de tubérculos sadios); N°TL (número de tubérculos lesionados); N°TT (número total de tubérculos); SD (severidade da doença); ID (índice da doença).

## Introdução

A batata (*Solanum tuberosum* L.) desempenha um importante papel para a segurança alimentar e nutricional, principalmente nos países em desenvolvimento. É consumida globalmente, cerca de 1,3 bilhão de pessoas consomem batatas como alimento básico (mais de 50 kg por pessoa por ano) (Devaux *et al.*, 2021). São ricas em vários nutrientes essenciais que incluem carboidratos, proteínas, vitamina C, vitamina B6, magnésio, potássio e fibras (Zaheer & Akhtar, 2016).

A China é o maior produtor de batata do mundo, seguida pela Índia, Ucrânia, Rússia e Estados Unidos da América (EUA), ficando o Brasil na 22ª posição. Dentre esses países, as maiores produtividades foram dos EUA (50,79 kg ha<sup>-1</sup>) e do Brasil (32,13 kg ha<sup>-1</sup>) (FAO, 2022). Vários fatores podem levar a uma diminuição da produção, da produtividade e da qualidade da batata, como as condições agroclimáticas, a baixa base genética e os fatores bióticos, o que torna essa cultura suscetível a muitas doenças (Oyesola *et al.*, 2021). As doenças bacterianas são uma das restrições bióticas mais importantes da produção de batata, especialmente em regiões tropicais e subtropicais, e em algumas regiões temperadas quentes do mundo, tais como a murcha bacteriana (*Ralstonia solanacearum*), podridão mole e canela preta (*Pectobacterium* spp. e *Dickeya* spp.), sarna comum (*Streptomyces* spp.), podridão anelar da batata (*Clavibacter michiganensis* subsp. *sepedonicus*) e zebra chip (*Candidatus Liberibacter solanacearum*) (Charkowski *et al.*, 2020).

A sarna comum ocorre em todas as áreas produtoras de batata do mundo, reduzindo a qualidade e o valor de mercado dos tubérculos, e afetando as indústrias de produção de batata para o processamento industrial, o mercado fresco e batata-semente (Wanner & Kirk, 2015). É causada por espécies patogênicas de *Streptomyces*, que são bactérias gram-positivas, aeróbicas, filamentosas, formadoras de esporos da família Streptomycetaceae das Actinobactérias (Braun *et al.*, 2017; Charkowski *et al.*, 2020).

A produção de fitotoxinas, chamadas taxtomina, é essencial para a virulência de agentes causadores da sarna comum e desenvolvimento dos sintomas da doença (King *et al.*, 1989; Wanner & Kirk, 2015). A bactéria é dispersa pelos esporos que são disseminados pela água da chuva, vento e tubérculo infectado. A infecção ocorre através das lenticelas, estômatos, ferimentos e, de forma direta, em tubérculos jovens. O patógeno inicialmente infecta a epiderme do tubérculo em desenvolvimento (periderme) e cresce entre as camadas da periderme, nutrindo-se do tecido morto. À medida que as camadas

epidérmicas são infectadas, a periderme se rompe e a adição de novas camadas forma a lesão que apresenta textura áspera a corticosa (Loria *et al.*, 1997; Agrios, 2005; Wanner & Kirk, 2015).

As estratégias que têm sido utilizadas para o manejo da sarna comum incluem a manutenção da umidade e redução do pH do solo, fumigação química, tratamento da batata semente com fungicida, fertilizante de enxofre, criação de cultivares resistentes, controle biológico e o pousio do solo associado à rotação de cultura (Dess & Wanner, 2012). Dentre esses métodos, destaca-se, principalmente, o controle biológico, levando em consideração a crescente preocupação com o uso indiscriminado de agrotóxicos e seus efeitos negativos para o meio ambiente e a saúde humana.

Os pesticidas representam uma ameaça substancial à saúde humana, à biodiversidade e aos serviços ecossistêmicos (Jepson *et al.*, 2020). Para aumentar a sustentabilidade ecológica, é fundamental o desenvolvimento de opções de manejo de doenças e pragas para uso mais racional de defensivos e métodos alternativos, como controle biológico, combinados com sistemas integrados de cultivo para práticas sustentáveis de produção (Deuvax *et al.*, 2021).

Diante disso, este estudo foi realizado com o objetivo de avaliar o efeito antagonista de agentes de biocontrole, aplicados em diferentes doses, no manejo de *Streptomyces* sp., agente causal da sarna comum, em tubérculos de batata.

## **Material e Métodos**

### **Teste de patogenicidade**

Tubérculos com sintomas da sarna comum foram coletados em uma área de produção comercial de batata, localizada no município de Mucugê-BA (lat 13° 02 '7,92" and long 41° 27 '36.91"), durante a safra de 2019. Após a coleta, os tubérculos foram encaminhados ao Laboratório para realização das avaliações.

Os tubérculos foram higienizados em água corrente e detergente neutro, posteriormente, foram imersos em hipoclorito de sódio a 0,5%, por 2 minutos; em seguida, foi retirada uma pequena amostra do tecido da batata entre a área lesionada e sadia, a qual foi colocada em aquecimento em banho Maria a  $55 \pm 1^\circ\text{C}$ , durante 30 minutos. Depois as amostras foram maceradas em lâminas de vidro com 2 gotas de água destilada esterilizada, cujo caldo obtido foi inoculado em placas de Petri em meio de cultura agar-água a pH 10.



As placas foram incubadas em BOD, por 7 dias, sob temperatura de  $28 \pm 1^\circ\text{C}$ . Após o período de crescimento, diferentes colônias com características morfológicas semelhantes às da espécie *Streptomyces scabies* foram selecionadas das placas de Petri (Loria *et al.*, 1995). Então, as colônias foram retiradas das placas e colocadas em suspensões bacterianas com água destilada, esterilizadas, sendo, posteriormente, inoculadas em placas contendo meio *Yeast Malt Extract* (YME) para multiplicação da bactéria sob incubação em BOD, no mesmo período e temperatura abordados acima.

Após o período de crescimento, foi feito o teste de patogenicidade, utilizando-se pequenos discos de tubérculos de batata, nos quais foi inoculado a colônia bacteriana. As amostras de batata foram submetidas à incubação, durante 120 horas, a  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  e, em seguida, foram feitas as avaliações da patogenicidade bacteriana (Lindholm *et al.*, 1997).

### **Localização e época de plantio**

Foram conduzidos dois experimentos em viveiro telado com sombrite a 30%, na área experimental da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), *campus* de Vitória da Conquista – Bahia, região Sudoeste do estado, localizado a  $14^\circ51'$  de Latitude Sul e  $40^\circ50'$  de Longitude Oeste, em altitude média de 928 metros.

O primeiro experimento foi desenvolvido na época de inverno (experimento 1), entre os meses de julho de 2019 e setembro de 2019; e o segundo, no período primavera-verão (experimento 2), entre os meses de novembro de 2019 e fevereiro de 2020.

### **Design e Tratamentos do Experimento**

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 4X6 (quatro agentes de biocontrole e seis dosagens), com três repetições, totalizando 72 plantas. Os tratamentos avaliados foram: *Trichoderma longibrachiatum* cepa FL1 ( $1 \times 10^9$  ufc  $\text{mL}^{-1}$ ) de TrichonemateMax®; *Trichoderma asperellum* cepa FA1 ( $1 \times 10^9$  ufc  $\text{mL}^{-1}$ ) de TrichobiolMax®; *Bacillus subtilis* + *Bacillus licheniformis* ( $1,0 \times 10^{11}$  ufc  $\text{g}^{-1}$ ) de Quartzo®, um pó molhável de formulação comercial; e *Bacillus subtilis* + *Enterococcus faecium* + *Lactobacillus plantarum* ( $3 \times 10^8$  ufc  $\text{g}^{-1}$ ) de Compost Aid®, um pó molhável de formulação comercial; sendo aplicados nas doses de 0, 2, 4, 6, 8 e 10  $\text{L ha}^{-1}$  (*T. longibrachiatum* e *T. asperellum*) e  $\text{kg ha}^{-1}$  (*B. subtilis* + *B. licheniformis* e *B. subtilis* + *E. faecium* + *L. plantarum*),

### **Cultivar utilizada**

Para o plantio, foram utilizadas batata semente de segunda geração da cv. Orchestra. Esta cultivar foi formada através do cruzamento da 'Maradona' com a 'Cupido', sendo originada na Holanda, em 1996 (CFIA, 2021).

A Orchestra apresenta tubérculos de formato oval, olhos rasos, pele brilhante de excelente qualidade. É uma variedade de ciclo curto a mediano, sendo que o período desde a germinação até a maturidade total varia de 70 a 90 dias, com ramas que se mantêm mais firmes e com coloração verde até as últimas semanas de cultivo. Não é adequada para fritura, mas apresenta uma textura de polpa firme, com matéria seca mediana em torno de 16,2%, sendo adequada ao consumo culinário de várias formas (ABBA, 2015; SEMENA, 2019).

### **Condições do solo e clima**

As análises química e física do solo foram realizadas no Laboratório de Solos da UESB, cuja textura do solo foi classificada como franco argilo arenoso. Os teores de nutrientes no solo e a distribuição da fração mineral estão apresentados na Tabela 1.

O clima, conforme classificação de Köppen, é do tipo Cwa (tropical de altitude), com precipitação média anual de 733,9 mm, concentrada nos meses de novembro a março. A temperatura média anual é de 20,2°C, com a média máxima e mínima variando entre 26,4°C e 16,1°C, respectivamente (SEI, 2013). Os dados de temperatura máximas, médias e mínimas, referentes ao período de condução de experimento, encontram-se nas Figuras 1A e 1B.

### **Condução do experimento e Características avaliadas**

Tubérculos de batata foram cultivados em vasos de 20 dm<sup>3</sup> em solo contaminado, coletado em área comercial de produção de batata com incidência natural de *Streptomyces* sp., no município de Mucugê-BA. Após sete dias do plantio, os agentes de biocontrole foram aplicados semanalmente, diluídos em água, nas doses de 0, 2, 4, 6, 8 e 10 L ha<sup>-1</sup> (*T. longibrachiatum* e *T. asperellum*) e kg ha<sup>-1</sup> (*B. subtilis* + *B. licheniformis* e *B. subtilis* + *E. faecium* + *L. plantarum*), diretamente no solo. As aplicações foram realizadas com o auxílio de regador, com intuito de simular o efeito da aplicação via sistema de irrigação em campo. Os vasos foram irrigados conforme a necessidade da cultura. A amontoa foi realizada aos 35 dias após o plantio (DAP) no experimento de inverno; e, aos 27 DAP, no de primavera-verão, adicionando-se mais solo na parte superior do vaso. Todas as outras práticas agrícolas, como irrigação, adubação e controle de pragas e doenças, foram

realizadas conforme recomendado para a produção comercial. Os tubérculos foram colhidos de acordo com a senescência das plantas, aos 80 DAP, no experimento realizado no período de inverno; e aos 90 DAP, no de primavera-verão.

As características avaliadas, por ocasião da colheita, foram: massa fresca de tubérculos sadios (MFTS), massa fresca de tubérculos lesionados (MFTL), massa fresca total de tubérculos (MFTT), número de tubérculos sadios (N<sup>o</sup>TS), número de tubérculos lesionados (N<sup>o</sup>TL), número total de tubérculos (N<sup>o</sup>TT). Já a severidade da doença (SD) foi avaliada com base na porcentagem (%) da área do tubérculo coberta por lesões da sarna comum (James, 1971) e o índice da doença (ID) (Granja *et al.*, 2013) foi calculado usando a equação:

$$ID = \left( \frac{(N1 * F1) + (N2 * F2) + (N3 * F3) \dots}{N1 + N2 + N3} \right) * 20$$

Em que, N é a escala diagramática de notas e F é a frequência ou número de tubérculos em cada intervalo de área lesionada.

### **Análise estatística**

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) com nível de 5 % de significância. Quando verificada diferença significativa, procedeu-se a análise de regressão, com auxílio do *software* para cálculos estatísticos Sisvar, versão 5.6 (Ferreira, 2014).

## **Resultados**

### **Teste de patogenicidade**

Todos os discos dos tubérculos que levaram o inóculo bacteriano de *Streptomyces* spp. apresentaram lesões necróticas, enquanto que aqueles sem inoculação da bactéria não apresentaram área lesionada. Assim, a patogenicidade do isolado bacteriano foi evidenciada pela ausência de lesões nos discos de tubérculos sem inoculação bacteriana, e a presença das lesões naqueles com inoculação da bactéria.

### **Experimento realizado no período de inverno**

Na análise de regressão (Figura 2A), observou-se aumento linear da MFTS em função das diferentes doses de aplicação do antagonista *T. asperellum*, com maiores valores desta variável nas doses de 8 (670,31g) e 10 (837,81g) kg ha<sup>-1</sup>. O valor máximo

da MFTS, no tratamento *T. longibrachiatum*, foi observado na dose de 6,15 kg ha<sup>-1</sup> (637,71g), com acréscimo de 91,97%, em relação à testemunha. Os maiores aumentos da MFTS foram nas doses de 8 (358,59g) e 10 (455,52g) kg ha<sup>-1</sup>, com a aplicação do bioproduto à base de *B. subtilis* + *E. faecium* + *L. plantarum*, com incremento de, respectivamente, 46,59% e 57,95%. Na dose de 10 kg ha<sup>-1</sup>, foi verificado o maior valor da MFTS (506,29g) no tratamento com *B. subtilis* + *B. licheniformis*.

As menores MFTL foram observadas na dose de 10 kg ha<sup>-1</sup>, sendo que, no tratamento com *T. asperellum* (332,10g), houve a maior redução, seguido pelos tratamentos *T. longibrachiatum* (482,16g), *B. subtilis* + *B. licheniformis* (538,23g) e *B. subtilis* + *E. faecium* + *L. plantarum* (602,96g). A MFTL reduziu de forma linear com o aumento da dose dos produtos biológicos *T. asperellum* e *T. longibrachiatum*, com diminuição nas doses de 8 e 10 kg ha<sup>-1</sup> de, respectivamente, 54,45% e 67,89%, para o primeiro; e 35,67% e 44,58%, para o segundo, em comparação com o controle (Figura 2B).

Dentre os tratamentos, a maior MFTT foi observada na dose de 10 kg ha<sup>-1</sup> com o bioagente *T. asperellum* (1279,31g), um acréscimo de 14,36% em relação à testemunha. O valor máximo da MFTT, no tratamento *T. longibrachiatum* (1180,37g), foi verificado na dose de 4,72 kg ha<sup>-1</sup>; e no *B. subtilis* + *E. faecium* + *L. plantarum* (1185,18), na dose de 5,55 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 2C).

A aplicação de *T. asperellum* (7,25 tubérculos) e *B. subtilis* + *B. licheniformis* (6,78 tubérculos), na dose de 10 kg ha<sup>-1</sup>; e de *T. longibrachiatum* (6,77 tubérculos), na dose de 4 kg ha<sup>-1</sup>, propiciou a obtenção do maior N°TS (Figura 3A).

Na dose de 0 kg ha<sup>-1</sup>, foi observado o menor N°TS em todos os bioagentes avaliados. Nas doses menores (2 kg ha<sup>-1</sup> e 4 kg ha<sup>-1</sup>), os antagonistas *T. longibrachiatum* (4,93 e 6,77 tubérculos), *B. subtilis* + *E. faecium* + *L. plantarum* (5,28 e 5,82 tubérculos) e *B. subtilis* + *B. licheniformis* (4,71 e 5,15 tubérculos) apresentaram maior N°TS, em comparação com o *T. asperellum* (2,49 e 3,69 tubérculos) (Figura 3A).

O maior número de batata com sintomas da sarna comum foi verificado quando não houve a utilização dos bioagentes. Dentre todos os tratamentos, o menor N°TL foi observado na dose de 10 kg ha<sup>-1</sup>, aplicando o bioagente *T. asperellum* (2,90 tubérculos) (Figura 3B).

Na figura 3C, observa-se o efeito cúbico das diferentes doses dos microrganismos antagonísticos avaliados sobre o N°TT. Foi observado maior N°TT nas doses de 4 kg ha<sup>-1</sup> e

10 kg ha<sup>-1</sup>, com 11,29 e 11,05 tubérculos, respectivamente. Quando não foi aplicado agente de biocontrole (0 kg ha<sup>-1</sup>), foi verificado menor N<sup>o</sup>TT (9,29 tubérculos).

Houve redução da SD com a aplicação de *T. asperellum*, nas doses de 6 kg ha<sup>-1</sup> (1,76%), 8 kg ha<sup>-1</sup> (1%) e 10 kg ha<sup>-1</sup> (0,99%), com decréscimos de, respectivamente, 18,89%, 53,92% e 54,38%. Quando foi utilizado o antagonista *T. longibrachiatum*, as maiores reduções foram observadas nas doses de 4 kg ha<sup>-1</sup> (0,77%) e 10 kg ha<sup>-1</sup> (0,83%), de 83,95% e 82,70%, respectivamente. O incremento nas doses de *B. subtilis* + *E. faecium* + *L. plantarum* ocasionou a queda linear SD, sendo que, na dose de 10 kg ha<sup>-1</sup> (0,91%), houve redução de 44,85%, em comparação à testemunha (Figura 7). O maior decréscimo da SD nos tubérculos tratados com o bioagente *B. subtilis* + *B. licheniformis* foi observado na dose de 10 kg ha<sup>-1</sup> (2,14%), com redução de 46,90% (Figura 4A).

Os maiores valores do ID foram verificados com a utilização das doses menores (0 e 2 kg ha<sup>-1</sup>), em todos os tratamentos avaliados. Houve decréscimo do ID de até 79,87% (10 kg ha<sup>-1</sup>) com a aplicação de *T. asperellum*. No tratamento *T. longibrachiatum*, o ID reduziu em 46,65% e 48,25% nas doses de, respectivamente, 6 e 8 kg ha<sup>-1</sup>, ao comparar com a testemunha. Na dose de 10 kg ha<sup>-1</sup>, foi verificado o menor ID (12,12), no tratamento *B. subtilis* + *E. faecium* + *L. plantarum*, com decréscimo de 39,4%. O maior decréscimo dessa característica, no tratamento *B. subtilis* + *B. licheniformis*, foi de 71,47%, na dose de 10 kg ha<sup>-1</sup>; e 43,37%, na dose de 8 kg ha<sup>-1</sup>. Os menores ID foram verificados com a aplicação da dose de 10 kg ha<sup>-1</sup>, do agente de biocontrole *T. asperellum* (4,57) e *B. subtilis* + *B. licheniformis* (7,20) (Figura 4B).

### **Experimento realizado no período de primavera-verão**

As maiores MFTS com os bioagentes *T. asperellum* e *T. longibrachiatum* foram observadas nas doses de 8 kg ha<sup>-1</sup> e 10 kg ha<sup>-1</sup>, com acréscimos de, respectivamente, 35,75% (322,33g) e 58,79% (502,54g), para o primeiro; e de 69,74% (362,89g) e 76,53% (465,16g), para o segundo, em comparação com a testemunha (0 kg ha<sup>-1</sup>). Houve acréscimo dessa característica de até 69,50% (10 kg ha<sup>-1</sup>), com a aplicação do bioproduto à base de *B. subtilis* + *E. faecium* + *L. plantarum*. No tratamento *B. subtilis* + *B. licheniformis*, o valor máximo da MFTS foi observado na dose de 8,48 kg ha<sup>-1</sup> (382,21g), com acréscimo de 68,92%, em relação à testemunha (Figura 5A).

A MFTL diminuiu de forma linear com o aumento das doses dos bioagentes *T. asperellum* e *T. longibrachiatum*. No tratamento *B. subtilis* + *E. faecium* + *L. plantarum*, a maior redução foi observada na dose de 10 kg ha<sup>-1</sup>, com decréscimo de 29,71%

(298,70g); e no *B. subtilis* + *B. licheniformis* foi na dose de 8 kg ha<sup>-1</sup>, com decréscimo de 27,68% (379,92g) (Figura 5B).

Na dose de 10 kg ha<sup>-1</sup> (839,21g), foi observada a maior MFTT com *T. asperellum*. Nas doses de 2 kg ha<sup>-1</sup> (842,74g) e 4 kg ha<sup>-1</sup> (835,23g), foram observadas as maiores MFTT com o agente de bicontrola *T. longibrachiatum*. O valor máximo dessa característica no tratamento *B. subtilis* + *E. faecium* + *L. plantarum* foi verificado na dose de 7,03 kg ha<sup>-1</sup> (751,56g), com acréscimo de 24,90% em relação à testemunha. No tratamento *B. subtilis* + *B. licheniformis*, nas doses 4 kg ha<sup>-1</sup> (866,55g) e 10 kg ha<sup>-1</sup> (879,76g), foram verificados acréscimos da MFTT de, respectivamente, 24,61% e 25,75%, em comparação com a testemunha (Figura 5C).

O número de tubérculos sadios aumentou linearmente com a elevação nas doses dos bioagentes avaliados, independentemente do antagonista utilizado. Foi observado maior N°TS nas doses de 6 kg ha<sup>-1</sup> (6,23 tubérculos), 8 kg ha<sup>-1</sup> (7,19 tubérculos) e 10 kg ha<sup>-1</sup> (8,14 tubérculos), com acréscimos de, respectivamente, 46,07%, 53,27% e 58,72%, em relação ao controle (3,36 tubérculos) (Figura 6A).

O menor número de tubérculos com sintomas da sarna comum, utilizando o antagonista *T. asperellum*, foi verificado nas doses de 8 kg ha<sup>-1</sup> (6,16 tubérculos) e 10 kg ha<sup>-1</sup> (4,89 tubérculos), com decréscimos de, respectivamente, 45,10% e 56,42%. No tratamento *T. longibrachiatum*, o menor N°TL por *Streptomyces* sp. foi observado nas doses de 6 kg ha<sup>-1</sup> (7,20 tubérculos) e 8 kg ha<sup>-1</sup> (4,95 tubérculos), com reduções de 35,02% e 55,32%. Nas doses de 4 kg ha<sup>-1</sup> (7,00 tubérculos) e 10 kg ha<sup>-1</sup> (5,62 tubérculos), verificou-se menor N°TL, aplicando o bioagente *B. subtilis* + *E. faecium* + *L. plantarum*. No tratamento *B. subtilis* + *B. licheniformis*, o maior N°TL foi observado na dose de 10 kg ha<sup>-1</sup> (12,01 tubérculos), com acréscimo de 48,21%, em relação ao controle, porém, nesta mesma dose, também foi observado o maior N°TT (18,60 tubérculos); já o menor N°TL neste tratamento foi verificado nas doses 6 kg ha<sup>-1</sup> (6,20 tubérculos) e 8 kg ha<sup>-1</sup> (6,16 tubérculos) (Figura 6B).

Nas doses de 2 kg ha<sup>-1</sup> (15,78 tubérculos) e 10 kg ha<sup>-1</sup> (14,76 tubérculos), observou-se o maior N°TT utilizando o antagonista *T. asperellum*. No tratamento *T. longibrachiatum*, os maiores N°TT foram observados nas doses de 2 kg ha<sup>-1</sup> (18,05 tubérculos) e 4 kg ha<sup>-1</sup> (16,42 tubérculos), com acréscimos de, respectivamente, 21,33% e 13,52%. Nas doses de 8 kg ha<sup>-1</sup> (14,84 tubérculos) e 10 kg ha<sup>-1</sup> (14,91 tubérculos), verificou-se maior N°TT no tratamento *B. subtilis* + *E. faecium* + *L. plantarum* (Figura 6C).

Houve redução linear da SD com a aplicação de *T. asperellum*, com decréscimo de até 59,67%, em comparação à testemunha. No tratamento *T. longibrachiatum*, as maiores reduções foram observadas nas doses de 6 kg ha<sup>-1</sup> (7,98%) e 8 kg ha<sup>-1</sup> (7,30%), com decréscimos de, respectivamente, 66,58% e 69,43%. A SD, no tratamento *B. subtilis* + *E. faecium* + *L. plantarum*, foi de 14,28% e 14,11%, nas doses de 8 kg ha<sup>-1</sup> e 10 kg ha<sup>-1</sup>, com decréscimos de, respectivamente, 26,28% e 27,15%, em comparação com a testemunha. Quando foi utilizado o antagonista *B. subtilis* + *B. licheniformis*, as maiores reduções foram observadas nas doses de 8 kg ha<sup>-1</sup> (5,15%) e 10 kg ha<sup>-1</sup> (8,09%), com decréscimos de 75,67% e 61,79% (Figura 7A).

O índice da doença reduziu de forma linear com a elevação das doses de *T. asperellum*, com decréscimos de 52,05% e 65,07%, utilizando-se as doses de 8 kg ha<sup>-1</sup> (22,07) e 10 kg ha<sup>-1</sup> (16,08). No tratamento *T. longibrachiatum*, as maiores reduções foram observadas nas doses de 6 kg ha<sup>-1</sup> (24,67), 8 kg ha<sup>-1</sup> (21,14) e 10 kg ha<sup>-1</sup> (23,14), com decréscimos de 63,92%, 69,08% e 66,16%. Na dose de 10 kg ha<sup>-1</sup>, foi verificado o menor ID (25,03), no tratamento *B. subtilis* + *E. faecium* + *L. plantarum*, com decréscimo de 47,81%; e no tratamento *B. subtilis* + *B. licheniformis*, foi na dose de 8 kg ha<sup>-1</sup> (19,02), com redução de 63,27% (Figura 7B).

## Discussão

A sarna comum da batata é uma doença causada por bactérias patogênicas do gênero *Streptomyces*, cuja primeira espécie relatada foi a *Streptomyces scabies* (syn. *S. scabies*), principal agente causal da doença, que pode ser encontrada em nível mundial e adaptada a várias condições do solo. Cerca de 17 espécies de *Streptomyces* já foram descritas associadas à doença, sendo elas *S. acidiscabies*, *S. caviscabies*, *S. turgidiscabies*, *S. reticuliscabiei*, *S. europaeiscabiei*, *S. stelliscabiei*, *S. luridiscabiei*, *S. puniscabiei*, *S. niveiscabiei*, *S. ipomoeae*, *S. brasiliscabiei*, *S. alkaliscabies*, *S. sampsonii*, *S. setonii*, *S. aureofaciens* (Destéfano *et al.*, 2021), *S. rhizophilus* encontrada na província de Heilongjiang (China) (Wei *et al.*, 2022) e, como citado anteriormente, a *Streptomyces scabies*.

Os métodos tradicionais de manejo adotados para combater a sarna comum não apresentam eficiência satisfatória, como a redução do pH do solo e o tratamento da batata semente com fungicida (Dess & Wanner, 2012); ressaltando-se ainda a ineficácia dos produtos, sobretudo químico, atualmente utilizados. Além da ineficácia, o uso contínuo

desses produtos pode provocar, a curto e médio prazo, maior desequilíbrio ambiental, inclusive na microfauna do solo e contribuir para o aumento da incidência dessa doença.

Ainda são poucos os estudos realizados sobre o manejo da sarna comum da batata com a utilização de agentes de controle biológico, principalmente considerando a variedade de bioagentes que podem ser avaliados para verificar a eficiência ou não no controle dessa doença. Os antagonistas *Brevibacillus laterosporus* (Li *et al.*, 2021), *Bacillus subtilis* e *Trichoderma harzianum* (Wang *et al.*, 2019), *Streptomyces violaceusniger* (Sarwar *et al.*, 2019) e *Bacillus amyloliquefaciens* (Lin *et al.*, 2018) apresentaram resultados satisfatórios no manejo da sarna comum da batata.

No presente estudo, com o experimento realizado no período de inverno, os bioagentes *T. asperellum* e *T. longibrachiatum* apresentaram as menores SD, sendo que, para o primeiro, a redução da SD variou de 1,97% (2 kg ha<sup>-1</sup>) a 54,38% (10 kg ha<sup>-1</sup>). Nos tratamentos que foram aplicados o segundo bioagente, verificou-se porcentagens maiores de redução da SD, variando de 61,04% (8 kg ha<sup>-1</sup>) a 83,95% (4 kg ha<sup>-1</sup>). No de primavera-verão, foram os antagonistas *T. longibrachiatum*, com redução da SD variando entre 31,87% (2 kg ha<sup>-1</sup>) a 69,43% (8 kg ha<sup>-1</sup>); e *B. subtilis* + *B. licheniformis* que reduziu a SD em até 75,67% (8 kg ha<sup>-1</sup>).

Quando os esporos de *Trichoderma* são adicionados ao solo, eles colonizam a superfície da raiz e formam uma zona de interação na qual *Trichoderma* spp. liberam compostos bioativos que aumentam a resistência das plantas. As espécies de *Trichoderma* produzem enzimas que degradam as paredes celulares do patógeno, também produzem antibióticos, e se enrolam em torno das hifas do patógeno. Essas enzimas que degradam a parede celular desempenham um papel importante no mecanismo de biocontrole. O efeito de *Trichoderma* em patógenos transmitidos pelo solo é maior, em comparação aos defensivos químicos, e persiste no solo por mais tempo após a aplicação (Srivastava *et al.*, 2015). Várias espécies são muito eficazes como agentes de biocontrole, como por exemplo: *T. atroviride*, *T. asperellum*, *T. harzianum*, *T. viride*, *T. gamsii* e *T. polysporum* (Pertot *et al.*, 2015).

A antibiose de *Trichoderma* refere-se à secreção de substâncias antibióticas ou metabólitos que inibem a atividade parasitária de patógenos. Esses metabólitos são voláteis e não voláteis, do tipo antibiótico, como viridina, tricodermina, glioviridina, gliotoxina e harzaniolida (Rojas *et al.*, 2012). Dentre os compostos isolados do fungo *T. asperellum*, destacam-se tricodermina, asperelina G e harziandione; e do *T. longibrachiatum* o ergosterol, sorbicilina e cerevisterol (Li *et al.*, 2019).



*B. subtilis* exibe mecanismo de biocontrole direto e indireto contra patógenos causadores de doenças. O mecanismo direto inclui a síntese de metabólitos secundários, hormônios, enzimas que degradam a parede celular e antioxidantes que auxiliam a planta em sua defesa contra o ataque de patógenos. O mecanismo indireto inclui o estímulo do crescimento da planta e a indução de resistência sistêmica adquirida. *B. subtilis* também pode solubilizar o fósforo do solo, aumentar a fixação de nitrogênio e produzir sideróforos que promovem seu crescimento e inibem o crescimento do patógeno (Hashem *et al.*, 2019). Essa bactéria produz vários compostos com propriedades antimicrobianas, tais como lipopeptídeos, exoenzimas e compostos orgânicos voláteis (Wang *et al.*, 2015).

Lin *et al.* (2018) verificaram que o antagonista *Bacillus amyloliquefaciens* inibiu o crescimento e a esporulação de *S. scabies* pela produção de metabólitos secundários, por meio da secreção de surfactina, iturina A e fengicina.

Porto *et al.* (2022) observaram que *T. asperellum* e *T. Longibrachiatum* apresentaram inibições de *Streptomyces* sp. de 79,62 e 66,67%, respectivamente, sendo que *B. subtilis* + *E. faecium* + *L. plantarum* foi o tratamento com menor inibição do crescimento bacteriano (18%). Além disso, o número de tubérculos contaminados e a severidade da doença diminuíram com a aplicação destes bioagentes, indicando seu efeito antagônico sobre o patógeno. No presente estudo, também foi possível constatar o efeito desses agentes de biocontrole na redução da sarna comum nos tubérculos de batata avaliados.

As espécies de bactéria do gênero *Streptomyces* são amplamente distribuídas e sobrevivem no solo em matéria orgânica em decomposição. Os tubérculos se tornam suscetíveis à infecção por *Streptomyces* spp., quando começam a se formar. A infecção ocorre principalmente através das lenticelas, ou por qualquer ferimento na superfície do tubérculo da batata, e pode também penetrar diretamente pela epiderme em tubérculos jovens (Nuñez *et al.*, 2019; Wharton *et al.*, 2007; Loria *et al.*, 2003).

A sarna é mais severa quando os tubérculos se desenvolvem em condições de solo seco e quente, com um pH do solo acima de 5,2. A temperatura ideal para infecção dos tubérculos por *S. scabies* é de 20° a 22,22°C, mas o patógeno pode infectar os tubérculos no solo em uma ampla faixa de temperaturas, de 10° a 31,11°C (Wharton *et al.*, 2007). No entanto, o patógeno pode crescer em temperaturas tão baixas quanto 5°C e tão altas quanto 40,5°C, com um ótimo de 25° a 30°C (RPD, 1988).

A temperatura média do ar durante os experimentos, no período de inverno, variou de 23,5°C a 15,2°C; e no de primavera-verão, de 26,8°C a 18,9°C. No experimento de primavera-verão, verificou-se danos maiores ocasionados pela sarna comum, provavelmente, as altas temperaturas observadas nesse período contribuíram para o melhor desenvolvimento do patógeno e, por consequência, houve aumento da SD e do ID.

No experimento de inverno, a média geral da SD e do ID foram de 2,03% e 14,88; e no de primavera-verão, foi de 14,04% (SD) e 35,31 (ID), respectivamente. A média da MFTT, no inverno, foi de 1092,31 g e o N° TT foi de 10,71; na primavera-verão, a MFTT foi de 765,69 g e o N° TT foi de 14,03.

O efeito de variáveis ambientais (a exemplo da alta temperatura) em patógenos e plantas pode ter resultados favoráveis, neutros ou negativos no desenvolvimento de doenças de plantas. Os patógenos e as plantas possuem uma condição ambiental ótima para seu crescimento e reprodução, com uma condição ambiental ideal que favorece a doença. Quanto mais as condições ambientais se desviarem desse “ótimo da doença”, menos sintomas da doença ocorrerão na planta (Velásquez *et al.*, 2018).

A temperatura também possui uma grande influência sobre os níveis de tuberização. Segundo Doorenbos & Kassam (1979), a temperatura ótima para a formação de tubérculos é de 15 a 18°C, uma vez que a disponibilidade líquida de produtos fotossintéticos aproveitáveis para a sua acumulação nos tubérculos diminui com o aumento de temperatura acima de 20°C.

No experimento de inverno, a temperatura média do ar foi de 18,5°C e as médias das temperaturas mínima e máxima foram 14,4°C e 24,5°C, respectivamente (Figura 1 A). No de primavera-verão, a temperatura média do ar, durante a condução do experimento, foi de 23,1°C; a média da temperatura mínima foi de 18,3°C; e a máxima foi de 29,7°C (Figura 1 B).

Uysal e Kantar (2020) observaram que a produção de tubérculos foi maior no outono (26,56  $\text{tha}^{-1}$ ) do que na primavera (17,55  $\text{t ha}^{-1}$ ) nas parcelas com aplicação de um produto comercial à base de *B. subtilis* e *B. amyloliquefaciens*. A aplicação dos bioagentes encurtou o tempo de emergência, aumentou o crescimento das plantas e a produção de tubérculos em relação ao tratamento controle.

Houve redução linear do ID com o acréscimo das doses do bioagente *T. asperellum*, em ambos os experimentos. Outros trabalhos também observaram que as maiores doses proporcionaram resultados mais eficazes, tais como: Md. Ashan *et al.* (2018) verificaram

que à medida que se elevaram as doses de *T. harzianum*, o controle da podridão-de-*Sclerotium* em grão de bico aumentou. Syam *et al.* (2021) observaram que a aplicação de *Trichoderma*, em plantas de pimenta-do-reino, na dose de 50 g/planta promoveu o acréscimo do comprimento da parte aérea de 31,73% e 25,91%, em comparação com a aplicação da dose de 25g/planta e ao controle, respectivamente. Vera & Leon (2016) constataram que o tratamento com a dose mais elevada de *T. viride* apresentou a maior sobrevivência de vitroplantas de batata e peso dos tubérculos. Rojas *et al.* (2012) verificaram que *Trichoderma*, nas doses de 1500 e 2400 gr ha<sup>-1</sup>, permitiu reduzir a incidência e severidade da sarna prateada da batata em relação ao controle, sendo que, no primeiro caso, a redução da incidência foi de 30% e da severidade 14%; no segundo, foi de, respectivamente, 26% e 13%.

No período de inverno, na dose de 10 kg ha<sup>-1</sup>, a redução do ID com a aplicação de *T. asperellum* (4,57) foi maior dentre os bioagentes avaliados, seguida pelo antagonista *B. subtilis* + *B. licheniformis* (7,20), nesta mesma dose; e o *T. longibrachiatum*, na dose de 8 kg ha<sup>-1</sup> (10,97). No experimento de primavera-verão, também foi observada a maior redução do ID com a aplicação do bioagente *T. asperellum* na dose de 10 kg ha<sup>-1</sup>(16,08), seguido pelo *B. subtilis* + *B. licheniformis* (19,02) e *T. longibrachiatum* (21,14), na dose de 8 kg ha<sup>-1</sup>.

O ID é consequência do tamanho da lesão e de sua frequência pelo ataque do fitopatógeno (Porto, 2019). Dessa forma, quanto maior o número de tubérculo que apresente sua superfície coberta por porcentagens mais elevadas de lesões da sarna, maior será o ID. Quanto maior a área lesionada, maiores serão as perdas na comercialização do produto, podendo inviabilizar a comercialização do mesmo.

No Canadá, tubérculos com lesões da sarna comum maior ou igual a 5% são considerados não comercializáveis (Al-Mughrabi *et al.*, 2016). Para o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), um tubérculo é considerado danificado quando apresenta uma lesão profunda maior que 1,3 cm ou causa perda de mais de 5% no peso total do tubérculo. Se a lesão for superficial, o tubérculo é considerado que tem sérios danos, quando a área da superfície lesionada for superior a 25% (Braun *et al.* 2017).

Andrianarisoa *et al.* (2015) verificaram que a aplicação de isolados antagonistas de actinomicetos em batateira reduziu a incidência da mucha-bacteriana em comparação ao controle, sendo que a eficácia do biocontrole variou entre 4,53% a 72,04%. A inibição do desenvolvimento de bactérias patogênicas pode ter ocorrido devido à emissão de metabólitos secundários voláteis secretados pelos antagonistas.

Li *et al.* (2021) verificaram que o biocontrole da sarna comum da batata por *Brevibacillus laterosporus* BL12 está relacionado à redução do patógeno e alterações na comunidade bacteriana do solo; este antagonista colonizou solo da tuberosfera e rizosfera. Gharater *et al.* (2016) verificaram que o tratamento de tubérculos de batata com *T. asperellum* apresentou incidência da sarna comum (54,00%) e índice da doença (1,87) menor que o controle (68,50% e 3,54).

Neste estudo, as reduções da SD e do ID, ocasionadas pela aplicação dos bioagentes, pode estar relacionada com a capacidade dos antagonistas em colonizar a rizosfera das plantas e a epiderme dos tubérculos de batata, competindo com o fitopatógeno por espaço e nutrientes.

Wang *et al.* (2019) sugeriram que a aplicação de 225 kg ha<sup>-1</sup> ou 300 kg ha<sup>-1</sup> de um produto microbiano, composto por consórcio de *B. subtilis* e *T. harzianum*, alterou a composição da comunidade bacteriana do solo, pois suprimiu efetivamente a sarna comum e aumentou a produção de tubérculos ao estabelecer uma abundância relativa elevada de bactérias benéficas na rizosfera. Os autores constataram que a abundância relativa de *Proteobacteria* e *Firmicutes* na rizosfera da batata foi maior nas parcelas com a utilização dessas doses.

As maiores MFTS foram observadas com a aplicação do bioagente *T. asperellum*, tanto no experimento realizado no período de inverno (837,81g), como na primavera-verão (505,54g), na dose de 10 kg ha<sup>-1</sup>. A elevação das doses de *T. asperellum* e *T. longibrachiatum* ocasionou a redução linear da MFTL e, com a aplicação do primeiro agente de biocontrole, a redução foi de 13,69% (893,65g) a 67,89% (332,10g); e com o segundo variou de 8,92% (792,48g) a 44,58% (482,16g), no período de inverno. No de primavera-verão, com *T. asperellum*, variou de 8,45% (565,65g) a 42,25% (356,81); e utilizando o *T. longibrachiatum*, variou entre 4,23% (610,37g) a 46,77% (358,41g), em relação ao controle.

Fravel (1988) relatou que metabólitos secundários purificados de *Trichoderma* spp. podem ser potencialmente eficazes no controle de infecções bacterianas mais rapidamente do que a aplicação de outros organismos. Porto (2019) constatou que os antagonistas *T. longibrachiatum*, *T. harzianum* e *B. subtilis* inibiram o crescimento da colônia de *Streptomyces* sp. *in vitro*, exercendo a antibiose por metabólitos voláteis e metabólitos não voláteis no controle do fitopatógeno.

No experimento de inverno, no tratamento *T. asperellum*, na dose de 10 kg ha<sup>-1</sup>, foi verificada a maior massa fresca total de tubérculos (1279,31g), ocorrendo acréscimo de

14,36% em comparação ao controle (1095,61 g). No experimento de primavera-verão, foi com a aplicação do bioagente *B. subtilis* + *B. licheniformis*, nas doses de 4 kg ha<sup>-1</sup> (866,40g) e 10 kg ha<sup>-1</sup> (879,76 g), com acréscimos de, respectivamente, 24,61% e 25,75%, quando comparado ao controle (653,26 g).

Rafiq & Bukhari (2014), avaliando diferentes fungos antagonistas no manejo da sarna comum da batata, constataram que a inoculação de *T. harzianum* resultou no maior rendimento dos tubérculos (1909,0 g) e menor incidência e severidade da doença. Neste estudo, com a aplicação dos bioagentes *T. asperellum* e *B. subtilis* + *B. licheniformis*, foram observadas as maiores MFTT. Provavelmente, esse aumento da MFTT está relacionado, entre outros fatores, com as reduções da área da lesão e do índice de severidade da doença, verificados com a aplicação desses antagonistas, bem como pela capacidade desses bioagentes promoverem a absorção e a solubilização de nutrientes do solo.

As espécies de *Trichoderma* promovem a absorção de nutrientes pela secreção de ácidos orgânicos para dissolver minerais e ativar nutrientes no solo, levando à circulação e utilização dos nutrientes no solo. Ao mesmo tempo, devido à forte capacidade de colonização de *Trichoderma* spp., eles expandem a área de contato entre a rizosfera e o solo e aumentam a secreção de enzimas extracelulares, como sucrase, urease e fosfatase, bem como ácidos orgânicos na rizosfera para melhorar o ciclo de nutrientes e a atividade enzimática no solo (Halifu *et al.*, 2019).

*Bacillus* spp. influenciam positivamente na germinação, no desenvolvimento e no rendimento de culturas agrícolas, devido à produção de substâncias promotoras de crescimento e melhoria na nutrição das plantas, principalmente pela solubilização de fósforo. Os biofertilizantes fosfatados podem ajudar a aumentar a disponibilidade de fosfatos acumulados no solo e podem melhorar o crescimento das plantas, aumentando a eficiência da fixação biológica de nitrogênio e a disponibilidade de ferro e zinco por meio da produção de substâncias promotoras de crescimento de plantas (Lima, 2010; Sivasakthi *et al.*, 2014).

O menor número de tubérculo sadio foi verificado na dose de 0 kg ha<sup>-1</sup>, em ambos os experimentos. No período de inverno, a dose de 10 kg ha<sup>-1</sup>, com os bioagentes *T. asperellum* (7,25 tubérculos) e *B. subtilis* + *B. licheniformis* (6,78 tubérculos); na dose de 4 kg ha<sup>-1</sup>, com *T. longibrachiatum* (6,77 tubérculos) e com *B. subtilis* + *E. faecium* + *L. plantarum* (5,82 tubérculos) foram verificados o maior N°TS. No de primavera-verão,

independentemente do antagonista utilizado, o acréscimo do N°TS variou entre 22,04% (2 kg ha<sup>-1</sup>) a 58,72% (10 kg ha<sup>-1</sup>).

Houve redução linear do N°TL com os antagonistas *T. asperellum*, em ambos os experimentos realizados, variando entre 13,36% (7,59 tubérculos) a 66,89% (2,29 tubérculos) no experimento de inverno; e de 11,23% (9,96 tubérculos) a 56,42% (4,89 tubérculos), no de primavera-verão.

No experimento de inverno, o acréscimo do N°TT variou entre 15,24% (2 kg ha<sup>-1</sup>) a 17,71% (4 kg ha<sup>-1</sup>). No período primavera-verão, o maior N°TT foi verificado com a aplicação do bioagente *B. subtilis* + *B. licheniformis* (18,60 tubérculos), na dose de 10 kg ha<sup>-1</sup>; seguido pelo *T. longibrachiatum* (18,05 tubérculos), na dose de 2 kg ha<sup>-1</sup>.

O efeito dos bioagentes avaliados sobre a sarna comum pode ser atribuído à síntese de enzimas, compostos e/ou os antibióticos produzidos por esses antagonistas, resultando na inibição do crescimento de *Streptomyces* sp. (Fravel, 1988; Rojas *et al.*, 2012; Andrianarisoa *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 2015; Porto, 2019), competição por espaço e nutrientes, colonização da superfície da raiz ou endofitismo (Srivostava *et al.*, 2015; Moreno-Velandia *et al.*, 2018) e alteração na comunidade microbiana do solo e rizosfera (Wang *et al.*, 2019; Li *et al.*, 2021).

O bioagente *T. longibrachiatum* apresentou a menor porcentagem da superfície do tubérculo com sintomas da sarna comum dentre os antagonistas avaliados, já sendo eficiente em doses mais baixas (2 kg ha<sup>-1</sup> e 4 kg ha<sup>-1</sup>), algo positivo, uma vez que é possível a diminuição da área lesionada pelo fitopatógeno, utilizando uma menor quantidade do bioproduto, o que resulta na diminuição dos custos de produção de manejo da doença para o produtor rural.

A aplicação das doses mais elevadas de *T. asperellum* propiciou maiores reduções da doença. Porém, quando houve diminuição das doses *T. longibrachiatum*, foi mais eficiente no controle da sarna comum do que os outros bioagentes. No geral, os antagonistas avaliados neste estudo contribuíram no manejo da sarna comum da batata. Dessa forma, ressalta-se que altas doses podem ser inviáveis financeiramente para o agricultor/produtor, sendo essencial fazer uma avaliação do custo-benefício da aplicação do agente de biocontrole. Nesse sentido, é importante realizar outros estudos sobre o uso de bioprodutos na cultura da batata, como, por exemplo, a ação dos mesmos no manejo de outros patógenos, na produtividade e qualidade dos tubérculos, bem como a respeito dos custos de produção e se esses agentes possibilitam a diminuição do número de aplicações dos produtos químicos em condição de campo.

## Referências

- ABBA - Associação Brasileira da Batata. Brasil - Atuais variedades. 2010. <http://www.abbabatatabrasileira.com.br/site/wp-content/uploads/2016/06/Edicao-28.pdf>
- Agrios GN (5ed), 2005. Plant pathology. Elsevier Academic Press, Amsterdam. 922p.
- Andrianarisoa R, Ravelomanantsoa RN, Fienena RV, Andriambeloston O, 2015. Biocontrol of potato wilt by selective rhizospheric and endophytic bacteria associated with potato plant. Afr J Food Agric Nutr Dev 15(1): 9762-9776.
- Al-Mughrabi KI, Vikram A, Poirier R, Jayasuriya K, Moreau G, 2016. Management of common scab of potato in the field using biopesticides, fungicides, soil additives, or soil fumigants. Biocontrol Sci Technol 26(1):125–135.
- Braun S, Gevens A, Charkowski A, Allen C, Jansky S, 2017. Potato common scab: A review of the causal pathogens, management practices, varietal resistance screening methods, and host resistance. Am J Potato Res 94(4): 283–296.
- CFIA - Canadian Food Inspection Agency. Orchestra. 2021. <https://inspection.canada.ca/english/plaveg/pbrpov/cropreport/pot/app00008221e.shtml>
- Chen S, Zhang M, Wang JVD, Ma Y, Zhou B, Wang B, 2017. Biocontrol effects of *Brevibacillus laterosporus* AMCC100017 on potato common scab and its impact on rhizosphere bacterial communities. Biol Control 106: 89–98.
- Charkowski A, Sharma K, Parker ML, Secor GA, Elphinstone J, 2020. Bacterial diseases of potato. In: The Potato Crop. Its agricultural, nutritional and social contribution to humankind; Campos H, Ortiz O (eds). pp. 351-388. Springer, Cham.
- Dees MW, Wanner LA, 2012. In search of better management of potato common scab. Potato Res 55: 249–268.
- Destéfano SAL, Vítor L, Corrêa DBA, Tomaseto AA, Monteiro RGS. *Streptomyces* spp. associadas à sarna da batata. Revisão anual de patologia de plantas 27: 91-117, 2021.
- Devaux A, Goffart JP, Kromann P, Andrade-Piedra J, Polar V, Hareau G, 2021. The Potato of the Future: Opportunities and Challenges in Sustainable Agri-food Systems. Potato Res 64: 681–720.
- Doorenbos J, kassam OW, 1979. Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage, Paper 33, Roma, Itália, 193 p.
- Ferreira DF, 2014. Sisvar: a guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. Ciên Agrotec 38(2): 109-112.

- Fravel DR, 1988. Role of antibiosis in the biocontrol of plant diseases. *Annu Rev Phytopathol* 26: 75- 91.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT. Stastical Database. 2022. <https://www.fao.org/faostat/en/#data>
- Gharate R, Singh N, Chaudhari SM, 2016. Management of common scab (*Streptomyces scabies*) of potato through eco-friendly approach. *Indian Phytopathol* 69 (3): 266-270.
- Granja NP, Hirano E, Silva GO, 2013. Metodologia para avaliação do índice de severidade de doença em amostras de tubérculos de batata. *Hort Bras* 31: p.520-521.
- Halifu S, Deng X, Song X, Song R, 2019. Effects of two *Trichoderma* strains on plant growth, Rhizosphere soil nutrients, and fungal community of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* annual seedlings. *Forests* 10(9): p. 1-17, 2019.
- Hashem A, Tabassum B, Abd\_Allah EF, 2019. *Bacillus subtilis*: A plant-growth promoting rhizobacterium that also impacts biotic stress. *Saudi J Biol Sci* 26(6): 1291-1297.
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. 2022. <https://portal.inmet.gov.br/>
- James WC, 1971. An illustrated series of assessment keys for plant diseases, their preparation and usage. *Can Plant Dis Surv* 51: 39-65.
- Jepson PC, Murray K, Bach O, Bonilla MA, Neumeister L, 2020. Selection of pesticides to reduce human and environmental health risks: a global guideline and minimum pesticides list. *Lancet Planet Health* 4: 56–63.
- King RR, Lawrence CH, Clark MC, 1989. Isolation and characterization of phytotoxins associated with *Streptomyces scabies*. *J Chem Soc Chem Commun* 13: 849–850.
- Lerat S, Simao-Beaunoir AM, Beaulieu C, 2009. Genetic and physiological determinants of *Streptomyces scabies* pathogenicity. *Mol plant pathol* 10(5): 579–585, 2009.
- Lima F, 2010. *Bacillus subtilis* e níveis de nitrogênio sobre o desenvolvimento e a produtividade do milho. Tese de mestrado. Universidade Federal do Piauí, Teresina, Brasil. 54p.
- Lin C, Tsai CH, Chen PY, Wu CY, Chang YL, Yang YL, Chen YL, 2018. Biological control of potato common scab by *Bacillus amyloliquefaciens* Ba01. *PLoS ONE* 13(4): 1-17.
- Li C, Shi W, Wu D, Tian R, Wang B, Lin R, Zhou B, Gao Z, 2021. Biocontrol of potato common scab by *Brevibacillus laterosporus* BL12 is related to the reduction of pathogen and changes in soil bacterial Community. *Biol Control* 153: 104496
- Li MF, Li GH, Zhang KQ, 2019. Non-Volatile Metabolites from *Trichoderma* spp. *Metabolites* 9(3): 1-24.



- Lindholm P, Kortemaa H, Kokkola M, Haahtela K, Salonen MS, Valkonen JPT, 1997. *Streptomyces* spp. isolated from potato scab lesions under Nordic conditions in Finland. *Plant Dis* 81(2): 1317-22.
- Li Y, Liu J, Díaz-Cruz G, Cheng Z, Bignell DRD, 2019. Virulence mechanisms of plant-pathogenic *Streptomyces* species: an updated review. *Microbiology* 165: 1025–1040.
- Loria R, Bukhalid RA, Creath RA, Leiner RH, Olivier M, Steffens JC, 1995. Differential production of thaxtomins by pathogenic *Streptomyces* species *in vitro*. *Phytopathol* 85(5):537-41.
- Loria R, Bukhalid RA, Fry BA, King RR, 1997. Plant pathogenicity in the Genus *Streptomyces*. *Plant Dis* 81(8): 836-846.
- Loria R, Coombs J, Yoshida M, Kers J, Bukhalid RA, 2003. A paucity of bacterial root diseases: *Streptomyces* succeeds where others fail. *Physiol Mol Plant Pathol* 62(2): 65-72, 2003.
- Md. Ahsan S, Kumar M, Upadhyay JP, Md Hussain A, Gupta PK, Singh A, 2018. Effect of different doses of *Trichoderma harzianum* and fungicides for the management of collar rot of chickpea caused by *Sclerotium rolfsii*. *Int J Pure Appl Biosci* 6(1): 1656-1660.
- Moreno-Velandia CA, Cotes AM, Beltrán-Acosta, C, Bettioli W, Elad Y, 2018. Control biológico de fitopatógenos del suelo. In: *Control biológico de fitopatógenos, insectos y ácaros: agentes de control biológico*; Cotes AM (ed.). pp. 144-221. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Mosquera.
- Núñez J, Aegerter BJ, Davis RM, 2019. *Agriculture: Potato Pest Management Guidelines - Common Scab (Streptomyces spp.)*. <https://www2.ipm.ucanr.edu/agriculture/potato/Common-Scab/>
- Oyesola OL, Aworunse OS, Oniha MI, Obiazikwor OH, Bello O, Atolagbe OM, Sobowale A, Popoola JO, Obembe OO, 2021. Chapter Impact and Management of Diseases of *Solanum tuberosum*. In: *Solanum tuberosum - A Promising Crop for Starvation Problem*; Yildiz M, Ozgen Y (eds.) pp. 1- 19. IntechOpen, London.
- Pertot I, Alabouvette C, Esteve E H, Franca S, 2015. Mini-paper: The use of microbial biocontrol agents against soil - borne diseases. Eip-Agri, Agriculture & Innovation, Bruselas, Bélgica.
- Porto JS, 2019. Controle da sarna comum da batata por microrganismos antagonísticos. Tese de doutorado. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Brasil.
- Porto JS, Rebouças TNH, José ARS, José ARS, Destéfano SAL, Vargas AAL, 2022. Antagonist species to *Streptomyces* sp. that causes common potato scab. *Braz arch biol technol* 65(1): e22210059.

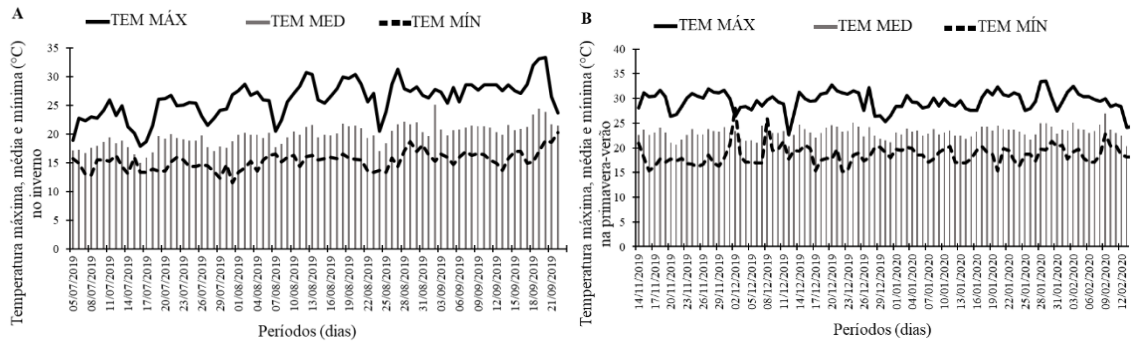
- Rafiq M, Bukhari A, 2014. Evaluation of different antagonistic fungi against common scab of potato. *Mycopath* 12(1): 63-67.
- Rojas PM, Villalba, JL, Castro NO, 2012. Uso de microorganismos nativos como promotores de crecimiento y supresores de patógenos en el cultivo de la papa en Bolivia. *Revista latinoamericana de la papa* 17(1): 74-96.
- RPD, 1988. Common Scab of Potato. Reports on Plant Diseases N° 909. Department Of Crop Sciences University Of Illinois At Urbana, Champaign.
- Sarwar A, Latif Z, Zhang S, Hao J, Bechthol AA, 2019. Potential Biocontrol Agent *Streptomyces violaceusniger* AC12AB for Managing Potato Common Scab. *Front Microbiol*10: 1-10.
- SEI - Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia. Sistema de Informações Municipais: Vitória da Conquista. 2013. <http://www.sei.ba.gov.br/>
- SEMENA. Potato Orchestra. 2019. <http://semenaopt.com/en/Potato/Orchestra/603109/>
- Sivasakthi S, Usharani G, Saranraj P, 2014. Biocontrol potentiality of plant growth promoting bacteria (pgpr)- *Pseudomonas fluorescens* and *Bacillus subtilis*: A review. *Afr J Agric Res* 9(16): 1265-1277. DOI: 10.5897/AJAR2013.7914
- Syam N, Hidrawati, Sabahannur St, Nurdin A, 2021. Effects of *Trichoderma* and Foliar Fertilizer on the Vegetative Growth of Black Pepper (*Piper nigrum* L.) Seedlings. *Int J Agron* 2021: Art ID 9953239.
- Uysal A, Kantar F, 2020. Effect of *Bacillus subtilis* and *Bacillus amyloliquefaciens* culture on the growth and yield of off-season potato (*Solanum tuberosum* L.). *Acta Agron* 69 (1): 26-31.
- Velásquez AC, Castroverde CDM, He SY, 2018. Plant-Pathogen Warfare under Changing Climate Conditions. *Curr Biol* 28(10): R619-R634.
- Vera JL, Leon B, 2016. Efecto de métodos y dosis de aplicación de *Trichoderma Viride* en la aclimatación y crecimiento de vitroplantas de papa variedad Imilla Negra durante las épocas de invierno y primavera. *Rev Investig Altoandin* 18(1): 47 – 54.
- Wang T, Liang Y, Wu M, Chen Z, Lin J, Yang L, 2015. Natural products from *Bacillus subtilis* with antimicrobial properties. *Chinese J Chem Eng* 23: 744-754.
- Wang YZ, Li Y, Zhuang L, Yu, Y, Liu J, Zhang L, Gao Z, Wu Y, Gao W, Ding C, Wang Q, 2019. A Rhizosphere-Derived Consortium of *Bacillus subtilis* and *Trichoderma harzianum* Suppresses Common Scab of Potato and Increases. *Comput Struct Biotechnol J* 17: 645–653.

- Wanner LA, Kirk WW. *Streptomyces* – from basic microbiology to role as a plant pathogen. Am J Potato Res 92(2): 236-242, 2015.
- Wei Q, Li J, Yang S, Wang W, Min F, Guo M, Zhang S, Dong X, Hu L, Li Z, Wang X, 2022. *Streptomyces rhizophilus* causes potato common scab disease. Plant Dis 106(1): 266-274.
- Wharton P, Driscoll J, Douches D, Hammerschmidt R, Kirk W, 2007. Common Scab of Potato. Michigan State University. Extension Bulletin E-2990.
- Zaheer K, Akhtar H, 2016. Potato Production, Usage, and Nutrition-A Review. Crit Rev Food Sci Nutr 56(5): 711-721.

## Tabelas e Figuras

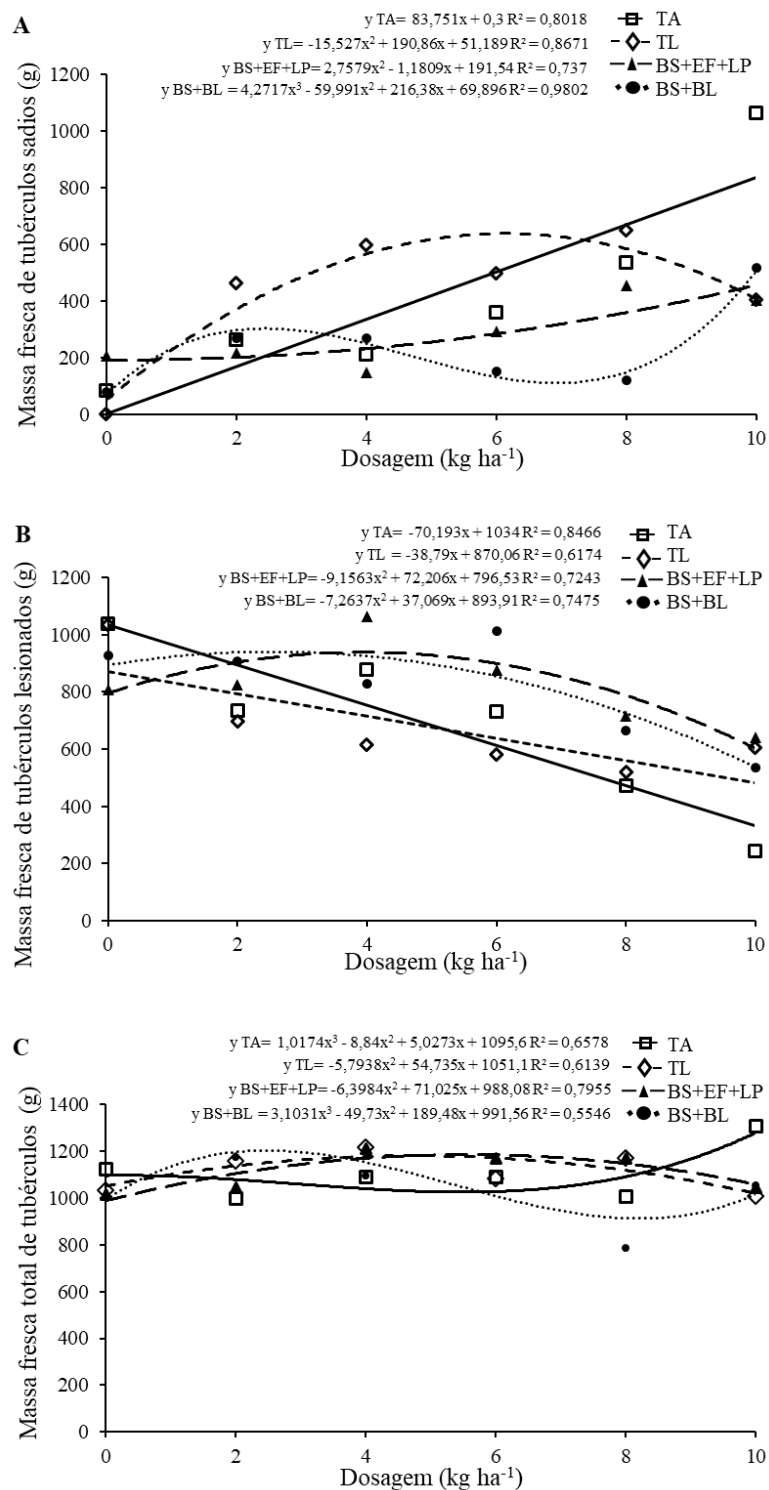
**Tabela 1.** Análise química e física do solo com incidência de *Streptomyces* coletado para realização do experimento no período de inverno e de primavera-verão

Determinação	Valores	
	Inverno	Primavera-verão
pH em H <sub>2</sub> O	5,9	6,0
P (mg dm <sup>-3</sup> )	18	18
K (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,46	0,62
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2,5	2,4
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,1	1,4
Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,0	0,1
H <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2,0	2,4
Na <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	-	-
Soma de bases trocáveis (cmol dm <sup>-3</sup> )	4,1	4,4
CTC efetiva (cmol dm <sup>-3</sup> )	4,1	4,5
CTC a pH 7,0 (cmol dm <sup>-3</sup> )	6,1	6,9
Saturação de bases (%)	67	64
Saturação por alumínio (%)	0	2
Areia grossa: 2-0,20 mm (tfsa g kg <sup>-1</sup> )	350	300
Areia fina: 0,20-0,05 mm (tfsa g kg <sup>-1</sup> )	330	370
Silte: 0,05-0,002 mm (tfsa g kg <sup>-1</sup> )	80	110
Argila: < 0,002 mm (tfsa g kg <sup>-1</sup> )	240	220



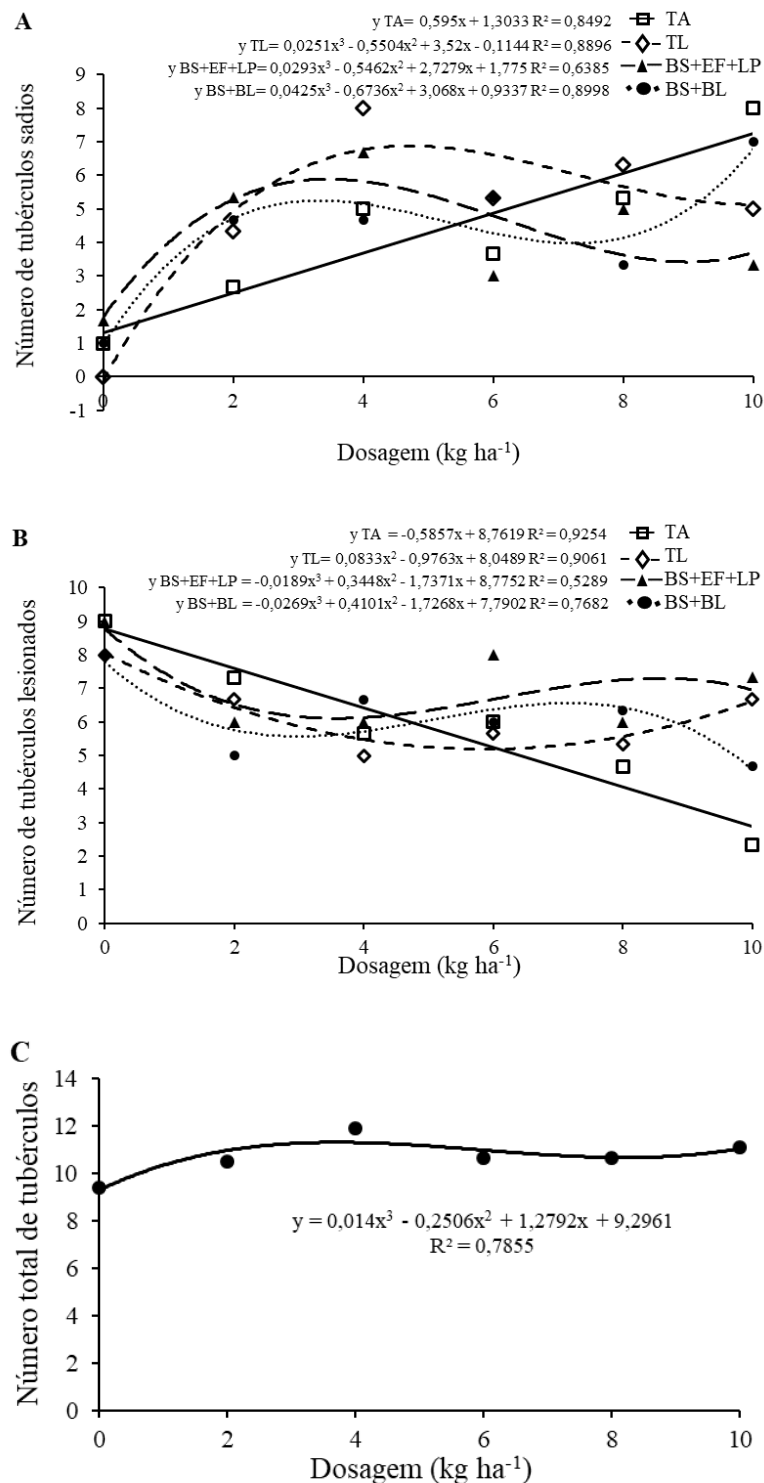
Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia - INMET/Vitória da Conquista, Estado da Bahia (2022).

**Figura 1.** Dados de temperaturas máximas (TEM MÁX), médias (TEM MED) e mínimas (TEM MÍN) no período do experimento de inverno (A) e de primavera-verão (B), em Vitória da Conquista - BA.



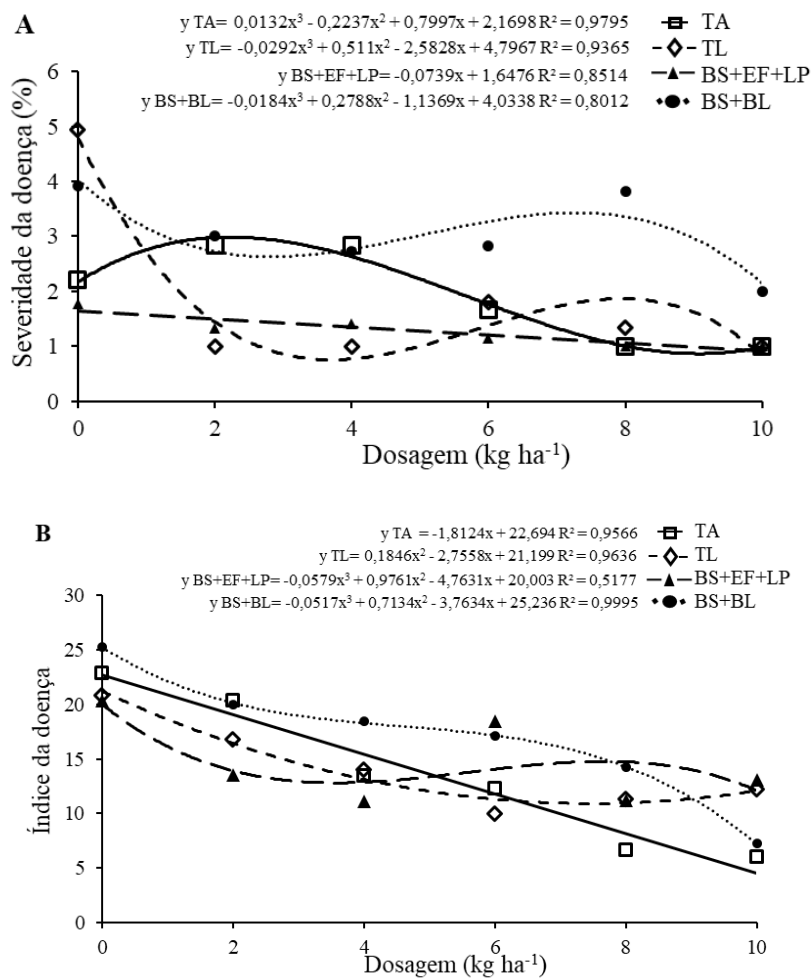
**Figura 2.** Influência da aplicação de diferentes doses de agentes de biocontrole sobre a massa fresca de tubérculos sadios (MFTS) (A), massa fresca de tubérculos lesionados (MFTL) (B) e massa fresca total de tubérculos (MFTT) (C) de batata, no experimento de inverno.

TA: *T. asperellum*. TL: *T. longibrachiatum*. BS+BL: *B. subtilis*+*B. licheniformis*. BS+EF+LP: *B. subtilis*+*E. faecium*+*L. plantarum*.



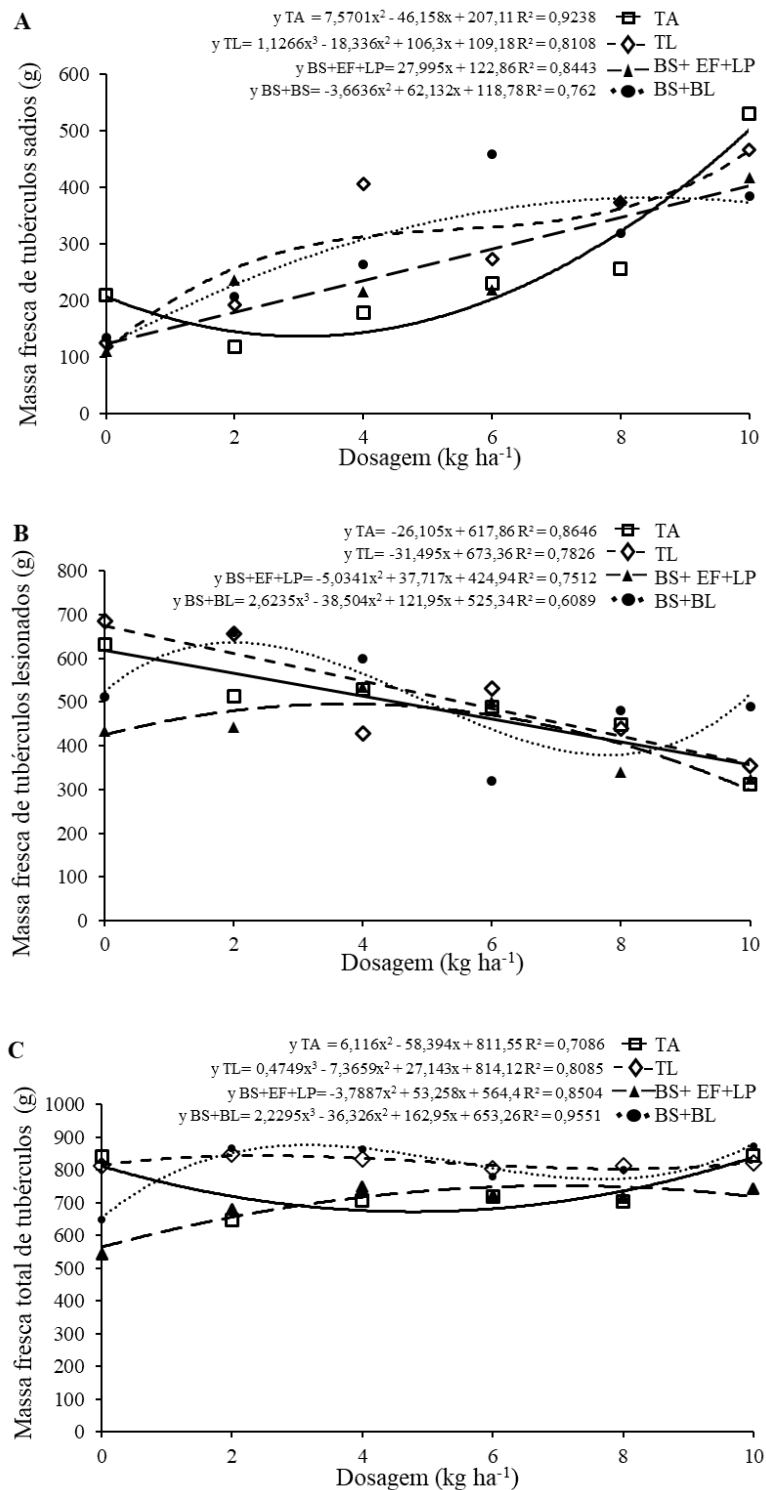
**Figura 3.** Influência da aplicação de diferentes doses de agentes de biocontrole sobre o número de tubérculos sadios (N°TS) (A), número de tubérculos lesionados (N°TL) (B); e número total de tubérculos (N°TT) (C) de batata em função de diferentes doses de agentes de biocontrole, no experimento de inverno.

TA: *T. asperellum*. TL: *T. longibrachiatum*. BS+BL: *B. subtilis*+*B. licheniformis*. BS+EF+LP: *B. subtilis*+*E. faecium*+*L. plantarum*.



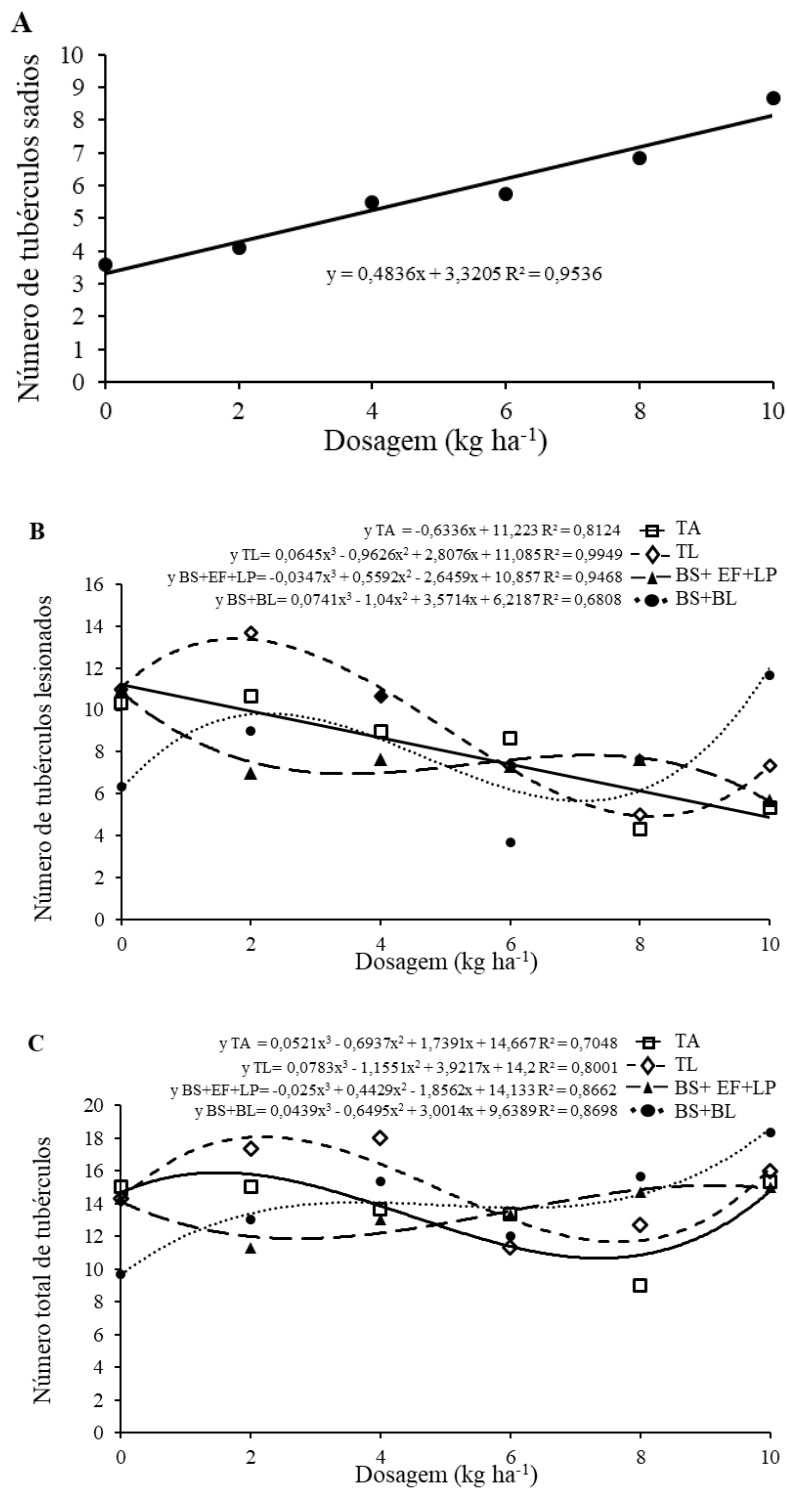
**Figura 4.** Influência da aplicação de diferentes doses de agentes de biocontrole sobre a severidade da doença (SD) (A) e índice da doença (ID) (B), no experimento de inverno. TA: *T. asperellum*. TL: *T. longibrachiatum*. BS+BL: *B. subtilis*+*B. licheniformis*. BS+EF+LP: *B. subtilis*+*E. faecium*+*L. plantarum*.





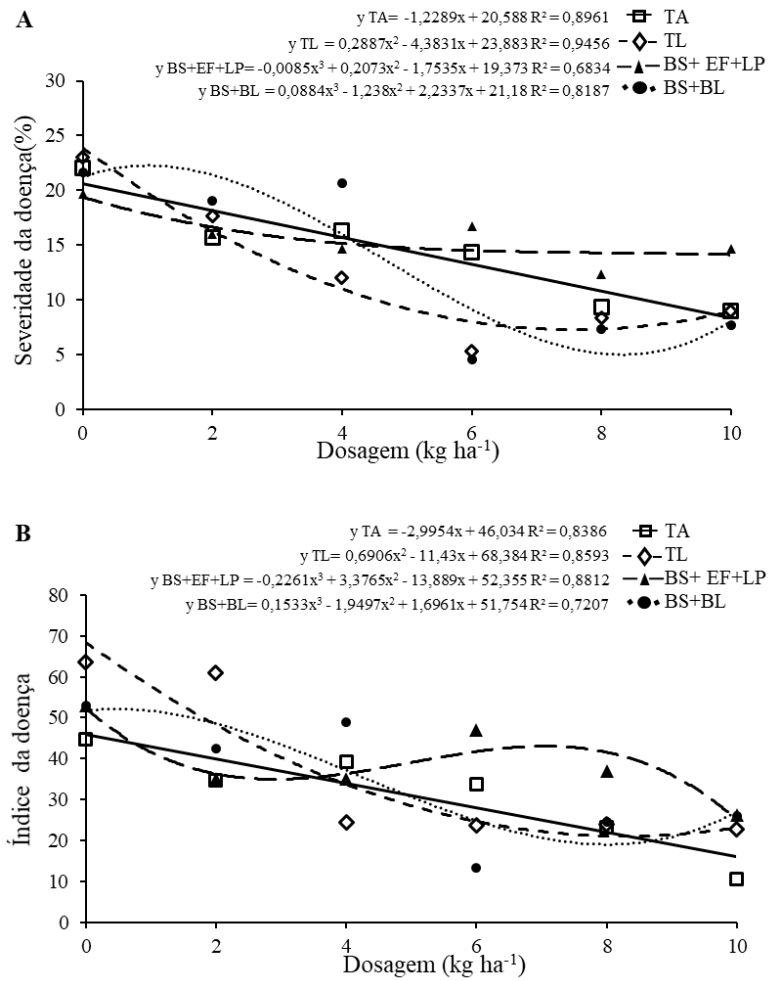
**Figura 5.** Influência da aplicação de diferentes doses de agentes de biocontrole sobre a massa fresca de tubérculos sadios (MFTS) (A), massa fresca de tubérculos lesionados (MFTL) (B) e massa fresca total de tubérculos (MFTT) (C) de batata, no experimento de primavera-verão.

TA: *T. asperellum*. TL: *T. longibrachiatum*. BS+BL: *B. subtilis*+*B. licheniformis*. BS+EF+LP: *B. subtilis*+*E. faecium*+*L. plantarum*.



**Figura 6.** Número de tubérculos sadios (N°TS) (A) de batata em função de diferentes doses de agentes de biocontrole; e Influência da aplicação de diferentes doses de agentes de biocontrole sobre o número de tubérculos lesionados (N°TL) (B) e número total de tubérculos (N°TT) (C) de batata, no experimento de primavera-verão.

TA: *T. asperellum*. TL: *T. longibrachiatum*. BS+BL: *B. subtilis*+*B. licheniformis*. BS+EF+LP: *B. subtilis*+*E. faecium*+*L. plantarum*.



**Figura 7.** Influência da aplicação de diferentes doses de agentes de biocontrole sobre a severidade da doença (SD) (A) e índice da doença (ID) (B), no experimento de primavera-verão.

TA: *T. asperellum*. TL: *T. longibrachiatum*. BS+BL: *B. subtilis*+*B. licheniformis*. BS+EF+LP: *B. subtilis*+*E. faecium*+*L. plantarum*.

**ARTIGO II**

Frequência de aplicação de bioagentes no manejo da sarna comum da batata \*

---

\* **Situação:** não submetido

*Título do trabalho:* Frequência de aplicação de bioagentes no manejo da sarna comum da batata

*Nomes dos autores:* Rosane M. Nascimento, Alcebiádes R. São-José, John S. Porto

*Afiliação:* Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Estrada do Bem Querer, Km 4, s/nº, 45031-900 Vitória da Conquista, Bahia, Brasil.

*Nome do autor correspondente e endereço de e-mail:* Rosane M. Nascimento: ro\_brdrmn@hotmail.com

*Contribuições dos autores:* Projetou o experimento: RMN, ARSJ e JSP. Realizou o experimento e analisou os dados. Redação do manuscrito: RMN. Supervisionou o trabalho: ARSJ. Revisou e editou o manuscrito: RMN, ARSJ e JSP.

*Número de tabelas e figuras:* 9 tabelas e 1 figura.

*Tópico:* Proteção de plantas.

*Financiamento:* Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB)

*Interesses concorrentes:* Os autores declararam que não existem interesses concorrentes.

## Resumo

*Objetivo do estudo:* O uso de bioagentes é uma alternativa sustentável para reduzir os danos diretos nos tubérculos ocasionados por *Streptomyces*. Neste estudo, avaliou-se a eficiência de bioagentes e a frequência de aplicação no manejo da sarna comum da batateira.

*Área de estudo:* Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (Brasil).

*Materiais e métodos:* Foram realizados dois experimentos com batata ('Orchestra'), no período de inverno e primavera-verão, com *Trichoderma asperellum*, *Trichoderma longibrachiatum*, *Bacillus subtilis* + *Bacillus licheniformis* e *Bacillus subtilis* + *Enterococcus faecium* + *Lactobacillus plantarum* e a testemunha, aplicados em quatro frequências: duas vezes na semana, semanalmente, quinzenalmente e mensalmente, em solo contaminado com *Streptomyces*.

*Principais resultados:* No inverno, com a aplicação por duas vezes na semana de *T. asperellum*, houve a maior redução da severidade (81,81%) e do índice da doença (90%), em relação ao controle. Na aplicação semanal, a severidade da doença reduziu em até 61,58% com *T. asperellum*. Na quinzenal, as maiores reduções da severidade foram com *T. asperellum* (54,55%) e *T. longibrachiatum* (39,39%); e do índice da doença com *T. longibrachiatum* (73,08%). Na primavera-verão, a maior redução da severidade (74,28%) e do índice da doença (90,99%) foi aplicando *T. asperellum*, semanalmente; na quinzenal, a severidade e o índice da doença reduziram em até 54,54% e 83,90% com o uso de *T. asperellum*.

*Destaques da pesquisa:* Todos os bioagentes contribuíram para redução da intensidade da doença. Em ambos os experimentos, *T. asperellum* e *T. longibrachiatum* foram mais eficientes no manejo da sarna comum, podendo ser aplicados quinzenalmente.

**Palavras-chave adicionais:** biocontrole; severidade da doença; *Solanum tuberosum* L.; *Streptomyces* sp.; sustentabilidade; *Trichoderma* spp..

**Abreviaturas usadas:** TA (*Trichoderma asperellum*); TL (*Trichoderma longibrachiatum*); BS+BL (*B. subtilis*+*B. licheniformis*); BS+EF+LP (*B. subtilis*+*E. faecium*+*L. plantarum*); DAP (dias após o plantio); MFTS (massa fresca de tubérculos sadios); MFTL (massa fresca de tubérculos lesionados); MFTT (massa fresca total de tubérculos); N°TS (número de tubérculos sadios); N°TL (número de tubérculos lesionados); N°TT (número total de tubérculos); MST (massa seca de tubérculos); MSF (massa seca foliar); ALT (altura); ALT 28 DAP (altura aos 28 dias após o plantio); ALT

42 DAP (altura aos 42 dias após o plantio); ALT 38 DAP (altura aos 38 dias após o plantio); ALT 52 DAP (altura aos 52 dias após o plantio); SD (severidade da doença); ID (índice da doença).

## **Introdução**

Os termos controle biológico ou biocontrole, na fitopatologia, relacionam-se ao uso de antagonistas microbianos para suprimir doenças, por meio da utilização de produtos naturais extraídos ou fermentados a partir de várias fontes biológicas, bem como de parasitas, predadores, ou patógenos capazes de reduzir a população de plantas daninhas (Pal & Gardener, 2006; Silva *et al.*, 2007). O agente de controle biológico pode ser definido como o uso de cepas naturais eficientes de quaisquer microrganismos ou organismos modificados que reduzam a incidência ou gravidade de doenças causadas por fitopatógenos (Gupta *et al.*, 2021). Geralmente são cepas fúngicas ou bacterianas isoladas da filosfera, endosfera ou rizosfera que desempenham um papel importante no controle de organismos fitopatogênicos (Thambugala *et al.*, 2020).

As pesquisas sobre controle biológico utilizando microrganismos estão experimentando e ganhando impulso notável, embora as aplicações no campo ainda sejam limitadas. Os fatores que restringem o uso dos bioagentes no campo incluem a eficiência inconsistente na proteção de plantas em condições de campo, a diminuição da disponibilidade no mercado e a ampla não aceitação dos agentes de biocontrole pelos agricultores, devido à falta de informação sobre como usar o que foi produzido comercialmente (Lahlali *et al.*, 2022).

As perdas na cultura da batata (*Solanum tuberosum* L.), em razão de doenças bacterianas, podem ser diretas e indiretas; algumas com consequências de curto prazo, como perda de rendimento e impossibilidade de comercialização do produto; e outros com consequências de longo prazo, como econômicas, ambientais e sociais. As doenças bacterianas podem apresentar importância nacional e internacional e são fatores limitantes à produção de tubérculos-semente de qualidade, com efeitos consideráveis no comércio, como, por exemplo, a sarna comum da batata (Charkowski *et al.*, 2020). Essa doença afeta o valor comercial e o armazenamento da cultura, resultando em uma redução de 20% a 40% no preço do produto (Shuang *et al.*, 2022).

A sarna comum é uma doença de ocorrência mundial, ocasionada por várias espécies do gênero *Streptomyces*, sendo a principal *Streptomyces scabiei* (Ismail *et al.*,

2020). O patógeno *S. scabies* é um parasita que pode sobreviver indefinidamente em sua forma micelial vegetativa ou na forma de esporos na maioria dos solos, exceto aqueles extremamente ácidos (Sharma *et al.*, 2014).

Os sintomas podem ser observados nas partes subterrâneas da planta, incluindo caules, estolões e tubérculos em desenvolvimento, exceto as raízes. As partes acima do solo das plantas infectadas por *Streptomyces* spp. permanecem saudáveis, a menos que ocorra restrição da condução de água e nutrientes entre raízes e brotos. Os tubérculos jovens, aproximadamente entre 0 a 6 semanas após o início da tuberização, são relatados como os mais vulneráveis ao ataque do patógeno (Khatri *et al.*, 2011; Dess & Wanner, 2012). No início, consistem em manchas pequenas, acastanhadas e ligeiramente elevadas, mas depois podem aumentar, coalescer e tornar-se muito coriáceas. As lesões podem ser superficiais, elevadas ou profundas, e geralmente servem como ponto de entrada para patógenos e saprófitas secundários e oportunistas, que podem resultar na podridão da mercadoria (Goyer *et al.*, 1996; Sharma *et al.*, 2014).

A sarna comum restringiu o desenvolvimento sustentável da indústria da batata, especialmente a indústria de tubérculo-semente (Shuang *et al.*, 2022). O pesticida sintético é o método mais rápido para controlar a doença das plantas, porém é prejudicial ao ser humano e ao meio ambiente, influenciando diretamente a flora e a fauna. Além disso, interfere na quantidade de microrganismos benéficos para o desenvolvimento e crescimento das plantas. Portanto, há a necessidade de se buscar uma fonte alternativa de defensivos químicos para o manejo da doença das plantas, tal como o controle biológico (Tariq *et al.*, 2020).

Dessa forma, com intuito de obter mais informações para os agricultores sobre o uso de agentes de controle biológico na cultura da batata, este estudo teve como objetivo avaliar qual a melhor frequência de aplicação de determinados bioagentes para o manejo da sarna comum da batata.

## **Material e Métodos**

### **Localização e época de plantio**

Foram conduzidos dois experimentos, em viveiro telado com sombrite a 30%, na área experimental da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), *campus* de Vitória da Conquista – Bahia, região Sudoeste do estado, localizado a 14°51' de Latitude Sul e 40°50' de Longitude Oeste, em altitude média de 928 metros.



O primeiro experimento foi desenvolvido na época de inverno (experimento 1), entre os meses de julho de 2021 e setembro de 2021; e o segundo no período primavera-verão (experimento 2), entre os meses de outubro de 2021 e janeiro de 2022.

### **Design e Tratamentos do Experimento**

Primeiramente, foi realizado um estudo sobre o efeito de diferentes doses de produtos biológicos no desenvolvimento da sarna comum em tubérculos de batata, selecionando, assim, a dose mais eficiente de cada bioagente na redução da doença, para realização desta pesquisa, avaliando-se os diferentes intervalos de aplicação dos bioagentes.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 5X4, com quatro repetições, totalizando 80 plantas. Os tratamentos avaliados foram: *Trichoderma longibrachiatum* (TL) cepa FL1 ( $1 \times 10^9$  ufc mL<sup>-1</sup>), de TrichonemateMax®; *Trichoderma asperellum* (TA) cepa FA1 ( $1 \times 10^9$  ufc mL<sup>-1</sup>) de TrichobiolMax®; *Bacillus subtilis* + *Bacillus licheniformis* (BS+BL) ( $1,0 \times 10^{11}$  ufcg<sup>-1</sup>) de Quartzo®, um pó molhável de formulação comercial; e *Bacillus subtilis* + *Enterococcus faecium* + *Lactobacillus plantarum* (BS+EF+LP) ( $3 \times 10^8$  ufc g<sup>-1</sup>) de Compost Aid®, um pó molhável de formulação comercial; e a testemunha (sem aplicação dos bioagentes), aplicados em quatro intervalos distintos: duas vezes na semana, a cada 7 dias (semanalmente), a cada 15 dias (quinzenalmente) e a cada 30 dias (mensalmente).

### **Cultivar utilizada**

Para o plantio, foram utilizadas batata semente de segunda geração da cv. Orchestra. Esta cultivar foi formada através do cruzamento da 'Maradona' com a 'Cupido', sendo originada na Holanda, em 1996 (CFIA, 2021).

A Orchestra apresenta tubérculos de formato oval, olhos rasos, pele brilhante de excelente qualidade. É uma variedade de ciclo curto a mediano, sendo que o período desde a germinação até a maturidade total varia de 70 a 90 dias, com ramas que se mantêm mais firmes e com coloração verde até as últimas semanas de cultivo. Não é adequada para fritura, mas apresenta uma textura de polpa firme, com matéria seca mediana em torno de 16,2%, sendo adequada ao consumo culinário de várias formas (ABBA, 2015; SEMENA, 2019).

### **Condições do solo e clima**

As análises química e física do solo foram realizadas no Laboratório de Solos da UESB, cuja textura do solo foi classificada como franco argilo arenoso. Os teores de nutrientes no solo estão apresentados na Tabela 1.

O clima, conforme classificação de Köppen, é do tipo Cwa (tropical de altitude), com precipitação média anual de 733,9 mm, concentrada nos meses de novembro a março. A temperatura média anual é de 20,2°C, com a média máxima e mínima variando entre 26,4°C e 16,1°C, respectivamente (SEI, 2013). Os dados de temperatura máximas, médias e mínimas, referentes ao período de condução de experimento, encontram-se na Figura 1 (A e B).

### **Condução dos experimentos e Características avaliadas**

O plantio da batata, nos dois experimentos, foi realizado em vasos de 20 dm<sup>3</sup> em solo contaminado com *Streptomyces* ssp., coletado em área comercial de produção de batata com histórico de ocorrência da doença, no município de Mucugê-BA.

No experimento de inverno, após sete dias do plantio, os antagonistas TA, TL, BS+BL e BS+EF+LP foram aplicados nas doses de, respectivamente, 8 L ha<sup>-1</sup>, 4 L ha<sup>-1</sup>, 8 Kg ha<sup>-1</sup> e 4 Kg ha<sup>-1</sup>. No experimento de primavera-verão, os agentes de biocontrole foram aplicados na dose de 8 L ha<sup>-1</sup> (TA e TL) e 8 Kg ha<sup>-1</sup> (BS+EF e BS+EF+LP), diluídos em água. As aplicações foram realizadas com o auxílio de regador, com intuito de simular o efeito da aplicação via sistema de irrigação em campo. Os vasos foram irrigados conforme a necessidade da cultura.

A amontoa foi realizada aos 42 dias após o plantio (DAP), no experimento de inverno; e aos 40 DAP, no de primavera-verão, adicionando-se mais solo na parte superior do vaso. Todas as outras práticas agrícolas, como adubação e controle de pragas e doenças, foram realizadas conforme recomendado para a produção comercial. Os tubérculos foram colhidos conforme a senescência das plantas, aos 83 DAP, no experimento realizado no período de inverno; e aos 80 DAP, no de primavera-verão.

As características avaliadas, por ocasião da colheita, foram: massa fresca de tubérculos sadios (MFTS), massa fresca de tubérculos lesionados (MFTL), massa fresca total de tubérculos (MFT), número de tubérculos sadios (N°TS), número de tubérculos lesionados (N°TL), número total de tubérculos (N°TT), massa seca de tubérculos (MST), massa seca foliar (MSF), altura (ALT), severidade da doença (SD) (Andrade *et al.*, 2019) e o índice da doença (ID) (Granja *et al.*, 2013), calculado usando a equação:

$$ID = \left[ \frac{(N1 * F1) + (N2 * F2) + (N3 * F3) \dots}{44} \right] * 20$$

$$N1 + N2 + N3$$

Em que, N é a escala diagramática de notas e F é a frequência ou número de tubérculos em cada intervalo de área lesionada.

### **Análise estatística**

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância com nível de 5 % de significância. Quando verificada diferença significativa, procedeu-se a análise de regressão, com auxílio do *software* para cálculos estatísticos Sisvar, versão 5.6 (Ferreira, 2014).

## **Resultados**

### **Experimento realizado no período de inverno**

#### **Massa fresca de tubérculos sadios e lesionados**

Houve efeito da interação agente de biocontrole x frequência para MFTS. Na frequência semanal, os bioagentes TA, TL e BS+BL não diferiram entre si, sendo que o maior acréscimo da MFTS foi de 68,26% com TL, em comparação com a testemunha. Na aplicação dos antagonistas por 2VS, as plantas tratadas com TA apresentaram MFTS superior aos demais tratamentos, com acréscimo de 90,48%, em relação à testemunha. Na frequência quinzenal, as maiores MFTS foram com BS+BL (85,06%) e TL (84,91%). Na aplicação mensal, as menores MFTS foram de TL e da testemunha (Tabela 2).

*T. asperellum* apresentou MFTS superior na frequência de aplicação por 2VS, em comparação com os demais intervalos de aplicação avaliados, com aumento de 52,52% em relação à aplicação mensal. Com TL, a MFTS com a aplicação do antagonista a cada 30 dias foi inferior às demais frequências (Tabela 2).

Na frequência semanal, TA e TL apresentaram a menor MFTL, não diferenciando entre si, com redução de, respectivamente, 45,45% e 60,50%, em relação à testemunha. Na frequência de 2VS, a maior redução na MFTL foi de 90,17% com o bioagente TA. Na aplicação mensal, TL e a testemunha apresentaram as maiores MFTL. Houve diferença significativa entre a aplicação por 2VS e a mensal de TA, sendo que a de 2VS apresentou maior redução da MFTL, com decréscimo de 78,17% em relação à mensal (Tabela 2).

#### **Número de tubérculos sadios e lesionados**

Na aplicação semanal, BS+BL e BS+EF+LP não diferiram da testemunha, com menor N°TS; com TL houve acréscimo de 73,81% no N°TS, em relação à testemunha. Na frequência de 2VS, TA, BS+BL e BS+EF+LP diferiram da testemunha, sendo que maior acréscimo no N°TS foi com BS+EF+LP (88,68%). Na frequência quinzenal, TL e BS+BL não diferiram entre si, com maiores números de N° TS; e na mensal, BS+EF+LP (88,68%) apresentou o maior N°TS (71,74%) (Tabela 2).

*T. asperellum* e *T. longibrachiatum* apresentaram o menor N°TL, com decréscimos de, respectivamente, 71,43% e 78,57%, quando comparado à testemunha, na frequência semanal. Na aplicação por 2VS, TA apresentou o menor N°TL, com redução de 87,88% em relação à testemunha. Na frequência quinzenal, não houve diferença entre os antagonistas; e na mensal, TL e a testemunha não se diferenciaram, com maior N° TL (Tabela 2).

*T. asperellum* apresentou redução do N°TL na frequência por 2VS de 76,47%, em relação à mensal. Não houve diferença do N°TL entre as frequências semanal e quinzenal, com TL. Na aplicação semanal, foi observado maior N°TL do que na quinzenal, essas frequências diferiram entre si, utilizando o bioagente BS+BL. *B. subtilis*+*E. faecium*+*L. plantarum* apresentou maior N° TL na aplicação semanal (Tabela 2).

### **Massa fresca total e massa seca de tubérculos, massa seca foliar e altura aos 28 DAP**

A massa fresca total de tubérculo foi influenciada apenas pela frequência de aplicação. Houve efeito dos antagonistas e das frequências de aplicação sobre a MST e MSF. Não houve diferença significativa entre os fatores agente de biocontrole e frequência para altura aos 28 DAP (ALT 28 DAP). Não houve interação entre o agente de biocontrole x frequência de aplicação para nenhuma dessas características (Tabelas 3).

A menor MST foi verificada com a aplicação de TA. O antagonista TL apresentou maior MSF do que TA e a testemunha, com acréscimo de 15,45% em relação à testemunha. A frequência de aplicação por 2VS apresentou a maior MFTT, independentemente do antagonista, e diferiu significativamente das outras, com acréscimos de 15,46%, 16,62% e 13,41%, em relação às frequências semanal, quinzenal e mensal. Não houve diferença entre a MST e MSF entre as frequências de 2VS, quinzenal e mensal (Tabelas 3).

### **Número total de tubérculos e altura aos 42 DAP**

O número total de tubérculos de batata não diferiu entre os bioagentes e a testemunha nas frequências de aplicação semanal e mensal. Na aplicação por 2VS, BS+EF+LP apresentou N<sup>o</sup>TT superior a TA e TL, com acréscimo de 45,83% em comparação com a testemunha. Na aplicação quinzenal, TL apresentou maior N<sup>o</sup>TT e diferiu do antagonista TA (Tabela 4).

*T. longibrachiatum* apresentou maior N<sup>o</sup>TT na frequência quinzenal, diferindo da semanal e 2VS, com acréscimos de, respectivamente, 26,01% e 31,88%. *B. subtilis* + *E. faecium* + *L. plantarum* apresentou maior N<sup>o</sup>TT na aplicação por 2VS, com acréscimo de 27,78% em relação à aplicação quinzenal (Tabela 4).

Não houve diferença na altura de plantas de batata aos 42 DAP (ALT 42 DAP) entre os bioagentes e a testemunha nas diferentes frequências de aplicação avaliadas (Tabela 9). Com TA, a maior ALT 42 DAP foi na aplicação quinzenal, diferindo-se apenas da semanal, com acréscimo de 21,31% em relação a mesma. *T. longibrachiatum* apresentou ALT 42 DAP na frequência de 2VS superior à quinzenal, com acréscimo de 22,63%. Com BS+BL e BS+EF+LP, a maior ALT 42 DAP também foi na aplicação por 2VS (Tabela 4).

### **Severidade da doença e Índice da doença**

Na frequência semanal, as plantas tratadas com TL apresentaram menor SD do que aquelas com BS+EF+LP e a testemunha, com redução de 67,74% da SD, em relação à testemunha. Na aplicação por 2VS, TA proporcionou maior redução da SD dentre os bioagentes, com decréscimo de 81,81%, quando comparado à testemunha. Na frequência quinzenal, BS+EF+LP apresentou a menor SD, mais diferiu apenas da testemunha, com redução de 61,29% (Tabela 4).

Com TA, a menor SD foi quando o antagonista foi aplicado por 2VS, diferindo-se apenas da aplicação mensal. Não houve diferença entre as frequências semanal, 2VS e quinzenal com o uso de TL. Com BS+EF+LP, a frequência semanal não diferiu da mensal e os tubérculos apresentaram as maiores SD (Tabela 4).

Na frequência semanal, não houve diferença entre TA e TL, com reduções do ID de, respectivamente, 76,67% e 81,11%, em relação à testemunha. Na frequência de 2VS, com TA foi verificado menor ID, com redução de 90 %, quando comparado à testemunha. Na frequência quinzenal, TA, TL, BS+BL e BS+EF+LP diferiram apenas da testemunha, com reduções do ID de, respectivamente, 67,95%, 73,08%, 75,64% e 50%. Na aplicação

mensal, os antagonistas não diferiram entre si, porém a maior redução do ID foi com TL (63,04%) (Tabela 4).

Nas plantas tratadas com TA, o menor ID foi na frequência de aplicação por 2VS, com redução de 76,74% em relação à mensal, não havendo distinção entre as diferentes frequências. Com TL, maior ID dos tubérculos foi na aplicação por 2VS que se distinguiu das frequências semanal e quinzenal. Com BS+BL e BS+EF+LP, não houve dessemelhança entre as frequências de 2VS e, a cada 15 dias, nestas frequências, os tubérculos apresentaram ID superior ao semanal (Tabela 4).

### **Experimento realizado no período de primavera-verão**

#### **Massa fresca de tubérculos sadios, lesionados e total**

Não houve diferença entre TA, TL e BS+BL, na frequência de aplicação semanal, com acréscimo da MFTS de, respectivamente, 62,11%, 51,32% e 58,94%, em relação à testemunha. Quando os antagonistas foram aplicados, 2VS diferiram apenas da testemunha, com acréscimos da MFTS de TA, TL, BS+BL e BS+EF+LP de, respectivamente, 74,06%, 78,67%, 71,79% e 73,68%. *T. asperellum* apresentou maior MFTS, com acréscimo de 70,84%, quando comparado à testemunha, na aplicação quinzenal. Na aplicação mensal, a menor MFTS foi com BS+EF+LP, o qual não se diferiu de TL e da testemunha (Tabela 5).

Com a aplicação de TA, não houve diferença entre as frequências semanal, 2VS e quinzenal, no entanto, houve maior MFTS na quinzenal, com acréscimo de 37,59%, quando comparada à frequência mensal. *T. longibrachiatum* apresentou a maior MFTS na aplicação por 2VS, diferindo-se das demais frequências e com elevação de 59,48% da MFTS em relação à mensal. A aplicação de BS+BL semanalmente se distinguiu da frequência mensal, com acréscimo de 30,44% em relação a esta. A menor MFTS com BS+EF+LP foi na frequência mensal que se divergiu das outras frequências avaliadas (Tabela 5).

Na aplicação semanal e quinzenal, não houve diferença significativa na MFTL entre os antagonistas, porém a maior redução da MFTL foi do bioagente TA, apresentando 70,59% na semanal e 71,00% na quinzenal, em relação à testemunha. *B. subtilis* + *B. licheniformis* e a testemunha apresentaram a maior MFTL e se diferiram de TA, TL e BS+EF+LP, os quais apresentaram redução da MFTL de, respectivamente, 92,31%, 94,26% e 83,19%, em relação à testemunha. Na frequência mensal, as menores MFTL

foi com BS+BL e TL, com decréscimos de, respectivamente, 74,75% e 45,45% (Tabela 5).

Com a aplicação de TA e BS+EF+LP, a maior MFTL foi na aplicação mensal destes antagonistas. A aplicação de TL por 2VS se diferiu das outras frequências e apresentou a menor MFTL, com redução de 87,65% em relação à mensal (Tabela 5).

A massa fresca total de tubérculos não se divergiu entre os antagonistas, na frequência semanal e quinzenal. Na aplicação a cada 15 dias, a MFTT de TA foi superior à de BS+BL, com acréscimo de 24,06% em relação a este bioagente. Na aplicação mensal, TL, BS+BL e BS+EF+LP apresentaram MFTT inferior à testemunha (Tabela 5).

*T. asperellum* apresentou maior MFTT na aplicação quinzenal, que se diferiu da frequência de aplicação por 2VS, com acréscimo de 25,65%. Com TL, BS+BL e BS+EF+LP, não houve diferença entre as frequências semanal, 2VS e quinzenal, sendo verificadas as menores MFTT na aplicação mensal destes bioagentes (Tabela 5).

#### **Massa seca de tubérculos e massa seca foliar**

A massa seca de tubérculos de batata não se diferiu entre os antagonistas TL e BS+BL na frequência semanal, com acréscimo da MST de 13,33%, em relação à testemunha. Na aplicação por 2VS, a maior MST foi da testemunha que não se divergiu com a aplicação de TL. Não houve diferença na MST entre os antagonistas e a testemunha nas frequências quinzenal e mensal (Tabela 5).

*T. longibrachiatum* apresentou a maior MST na aplicação semanal, diferindo-se significativamente da aplicação por 2VS, com acréscimo de 11,67%. As menores MST foram observadas nas frequências de aplicação por 2VS e na mensal com BS+BL, as quais se diferiram da semanal (Tabela 5).

A massa seca foliar das plantas que foi aplicado o antagonista TA, na frequência semanal, foi a maior dentre as outras, e se diferiu da testemunha, com acréscimo de 18,07%. Na frequência quinzenal, maior MSF foi verificada com aplicação de BS+BL, diferindo-se apenas de BS+EF+LP. Na frequência mensal, as plantas com aplicação de BS+BL apresentaram MSF superior àquelas com TA e TL (Tabela 6).

Com a aplicação de TA, a maior MSF foi na frequência semanal, diferindo-se significativamente das demais frequências. Com TL, foi na aplicação por 2VS que se diferiu da mensal. Não houve diferença significativa na MSF entre as frequências avaliadas com a aplicação de BS+BL e BS+EF+LP (Tabela 6).

### **Número de tubérculos sadios e número total de tubérculos**

Na frequência semanal, o maior N°TS foi com a aplicação de TL, porém não houve diferença entre os agentes de biocontrole, todos os antagonistas diferiram da testemunha, com acréscimos de 57,14% (TA), 68,97% (TL), 59,09% (BS+BL) e 60,87% (BS+EF+LP). Na aplicação por 2VS, TA não diferiu da testemunha, sendo o maior N°TS de BS+EF+LP, com acréscimo de 64,29% em comparação com a testemunha. O bioagente BS+EF+LP apresentou N°TS superior à TL, BS+BL e à testemunha, com acréscimo de 77,14%, em relação à testemunha, na frequência quinzenal. Na aplicação mensal, BS+BL apresentou o maior N° TS e se diferiu da testemunha, com acréscimo de 50% (Tabela 6).

Não houve diferença do N°TS entre as frequências de aplicação dos bioagentes TA e BS+BL. A aplicação de TL por 2VS não se diferiu da semanal, com os maiores N°TS. Os menores N°TS foram nas frequências mensal e semanal com a aplicação de BS+EF+LP (Tabela 6).

O número total de tubérculos de batata na frequência semanal foi maior com a aplicação de TL em relação aos outros antagonistas e se diferiu de TA e da testemunha, com elevação de 30,55%, quando comparado à testemunha. Na aplicação dos antagonistas por 2VS, TA apresentou o menor N°TT, diferindo-se de BS+EF+LP. Na frequência quinzenal, BS+EF+LP apresentou maior N°TT, divergindo-se dos demais antagonistas e da testemunha, com acréscimo de 46,94% (Tabela 6).

*T. asperellum* apresentou maior N°TT na frequência quinzenal, diferindo-se da aplicação por 2VS. Nas frequências quinzenal e mensal, foram observados os menores N°TT com TL. A frequência quinzenal diferiu-se das demais com a aplicação de BS+EF+LP e foi a que apresentou o maior N°TT (Tabela 6).

### **Número de tubérculos lesionados, altura aos 38 DAP e aos 52 DAP**

Não houve interação entre os fatores agente de biocontrole x frequência de aplicação para N°TL, altura aos 38 DAP (ALT 38 DAP) e altura aos 52 DAP (ALT 52 DAP) (Tabelas 7), indicando que estas características não são influenciadas simultaneamente pelos dois fatores, no período de primavera-verão.

A testemunha apresentou o maior N°TL, não havendo diferença entre TA, TL e BS+BL, com reduções no N°TL de, respectivamente, 72,39%, 59,40% e 60,79% (Tabela 7).



O número de tubérculos de batata lesionados foi menor nas frequências semanal e 2VS, com reduções de 30,19% e 35,85%, em relação à quinzenal e mensal, as quais apresentaram o mesmo N°TL. A menor ALT 38 DAP foi na aplicação mensal, diferindo-se das outras frequências. A ALT 52 DAP foi maior com a aplicação dos bioagentes por 2VS, diferindo-se da quinzenal e mensal, com acréscimos na ALT 52 DAP, de respectivamente, 6,28% e 10,46%, em relação a essas frequências (Tabela 7).

### **Severidade da doença e índice da doença**

Na frequência semanal, todos os bioagentes diferenciaram-se da testemunha, ocorrendo redução da SD que variou de 79,29% (TA) a 48,57% (BS+BL). Na aplicação por 2VS, BS+BL e a testemunha apresentaram as maiores SD, diferindo-se significativamente dos demais antagonistas. Na frequência quinzenal, TA apresentou a menor SD, mas se divergiu apenas de BS+EF+LP e da testemunha, com redução de 54,54%, em relação ao controle (Tabela 8).

Com TA e TL não houve diferença da SD entre as aplicações por 2VS, semanal e quinzenal. A SD foi menor com a aplicação de BS+BL semanalmente, em relação às outras frequências avaliadas. A menor SD, aplicando o bioagente BS+EF+LP, foi verificada na frequência de 2VS, porém não se diferiu da aplicação semanal (Tabela 8).

O índice da doença diferiu entre a testemunha e os bioagentes para todas as frequências de aplicação. Na semanal, a maior redução do ID foi com TA, seguido por BS+BL, TL e BS+EF+LP, os quais não se diferiram entre si, com decréscimos do ID de, respectivamente, 90,99%, 82,88%, 81,98% e 78,38%, em relação à testemunha. Na frequência de 2VS, TA e TL apresentaram o mesmo ID, com redução de 90,32%. Na quinzenal, a redução do ID variou entre 83,90% (TA) a 67,82% (TL). Na mensal, maiores ID foram da testemunha e BS+EF+LP (Tabela 8).

Nas plantas em que o antagonista TA foi aplicado mensalmente, foi verificado o maior ID, diferindo-se das frequências semanal e 2VS. Com TL, os menores ID foram nas frequências de 2VS e semanal, as quais não diferiram entre si. Nas plantas em que foi aplicado BS+BL, o ID da frequência semanal não se diferiu da quinzenal. Com a aplicação por 2VS de BS+EF+LP, foi observada a maior redução do ID, diferindo-se apenas da mensal (Tabela 8).

## **Discussão**

Com a proibição do uso de alguns compostos químicos, aumentou o interesse pelos agentes de biocontrole no manejo de doenças transmitidas por patógenos de solo, juntamente com a integração de outras práticas agronômicas, como a utilização de variedades resistentes ou tolerantes (Pertot *et al.*, 2015). O método de controle mais desejável da sarna comum da batata seria o uso de cultivares resistentes, no entanto, não há nenhuma cultivar comercial de batata completamente resistente a essa doença, além disso, uma cultivar de batata, resistente à determinada espécie do patógeno, pode não ser resistente a outras (Dess & Warnner, 2012; Clarke *et al.*, 2019). O manejo químico é a segunda melhor opção dentre os métodos de controle de doenças de plantas, todavia, nenhum produto químico eficaz está disponível para a sarna comum (Hosny *et al.*, 2014; Lal *et al.*, 2016). O uso de bioagentes é uma alternativa promissora para o manejo da sarna comum da batata, além de ser uma prática sustentável.

A cultura da batata requer temperaturas amenas para que ocorra tuberização abundante, que garanta boa produtividade, aliada à qualidade de tubérculos. A temperatura ideal para o cultivo da batata está na faixa de 10°C a 22°C, conforme a maioria dos resultados obtidos em várias partes do mundo. Dados mais precisos recomendam a faixa entre 15°C e 18°C, e temperaturas noturnas acima de 22°C reduzem significativamente a produção de tubérculos. Temperaturas elevadas estimulam a planta a um maior desenvolvimento vegetativo, diminuindo a produção (Silva & Lopes, 2015). Essa cultura apresenta todo o seu potencial de produção, quando a média de temperatura diurna é de 20°C a 25°C e as noturnas de 10°C a 16°C (Castro & Campos, 2021).

No experimento de inverno, a temperatura média do ar foi de 18,1°C e as médias das temperaturas mínima e máxima foram 12,9°C e 25,3°C, respectivamente (Figura 1 A). No de primavera-verão, a temperatura média do ar, durante a condução do experimento, foi 21,1°C e a média da temperatura mínima foi 16,7°C e da máxima 26,4°C (Figura 1 B). A maioria das cultivares comerciais tuberizam melhor em temperaturas médias, pouco acima de 15°C (Silva & Lopes, 2015). Dessa forma, no período de inverno, a temperatura foi mais propícia para o cultivo da batata e, conseqüentemente, para a formação de tubérculos, tanto que a média geral da MFTT foi de 1005,75 g e do N°TT foi de 13,49; na primavera-verão, a MFTT foi de 520,81 g e o N°TT foi de 7,26.

A temperatura ideal para o desenvolvimento da sarna comum da batata está entre 20° e 22°C (Sharma *et al.*, 2014), contudo, a infecção pela doença pode ocorrer dentro de uma ampla faixa de temperatura, de 10° a 31°C. O patógeno pode crescer, no entanto, em temperaturas de até 5°C e 40,5°C (RPD, 1988). Durante os experimentos, a temperatura

média do ar, no período de inverno, variou de 22,9°C a 13,6°C; e no de primavera-verão, de 23,5°C a 16,0°C, sendo ambas as temperaturas favoráveis para o desenvolvimento da doença.

É necessária a interação de três fatores para que ocorra a doença de plantas, quais sejam: patógeno virulento, hospedeiro suscetível e ambiente favorável (Agrios, 2005). No experimento de inverno, a média geral da SD e do ID foram de, respectivamente, 5,49% e 11,76; e no de primavera-verão, foi de 5,74% (SD) e 9,81 (ID).

Neste estudo, no experimento realizado no período de inverno, a menor SD (1,50%) e ID (2,50) foi com a aplicação de TA, por 2VS, com reduções de 81,81% da SD e de 90% do ID, quando comparado ao controle (SD- 8,25% e ID- 25,00). E, posteriormente com a aplicação de TL, semanalmente, os tubérculos apresentaram SD de 2,50% e ID de 4,25, com reduções de, respectivamente, 67,74% e 81,11%, em relação ao controle (SD- 7,75% e ID- 22,50). No experimento realizado na primavera-verão, com a aplicação de TA e TL, os tubérculos também apresentaram menores SD e ID.

Porto *et al.* (2022) verificaram a eficiência de TL no controle da sarna comum, em uma área contendo resíduo orgânico de *Brachiaria brizantha*, sendo que os tubérculos tratados com este antagonista apresentaram diminuição da incidência de tubérculos lesionados de 90,2%, redução da SD de 66,64% e do ID de 56,75%, quando comparado ao controle. O antagonista TA, combinado com cobertura de ervilhaca, reduziu a SD para 61% e as perdas causadas pela sarna comum para 38%, em comparação com o controle.

O biocontrole por *Trichoderma* resulta da competição por nutrientes e espaço, bem como por sua capacidade de produzir e/ou resistir a metabólitos que impedem a germinação de esporos, matar as células (antibiose) ou modificar a rizosfera, por exemplo, acidificando o solo, para que os patógenos não possam crescer. O controle biológico também pode resultar da interação direta entre o próprio patógeno e o bioagente, como no micoparasitismo que envolve contato físico e síntese de enzimas hidrolíticas, compostos tóxicos e/ou antibióticos que atuam sinergicamente com as enzimas. Esses bioagentes podem exercer efeitos positivos nas plantas, através do aumento no seu crescimento (biofertilização) e da estimulação dos seus mecanismos de defesa (Benítez *et al.*, 2004).

*Trichoderma* spp. produz mais de 100 metabólitos secundários diferentes, incluindo policetídeos, pironas, terpenos, metabólitos com propriedades antibióticas, fungicidas, bactericidas, micotoxinas, fitotoxinas e reguladores de crescimento. Alguns desses

compostos podem contribuir para a capacidade de *Trichoderma* spp. de atuar como agente de biocontrole contra patógenos de plantas (Raut *et al.*, 2014).

Muitos agentes de biocontrole produzem enzimas hidrolíticas extracelulares que podem interferir no crescimento e nas atividades do patógeno. As enzimas líticas hidrolisam uma ampla variedade de compostos poliméricos, incluindo quitinas, celuloses, hemiceluloses e proteínas. Essas enzimas secretadas por micróbios resultam na supressão das atividades de fitopatógenos (Abd-El-Khair, 2020).

Alguns estudos relatam a eficiência dos bioagentes no manejo de outras doenças da batata. Mohamed *et al.* (2017) verificaram que houve redução da severidade da murcha bacteriana, causada por *Ralstonia solanacearum*, na cultura da batata. A severidade da doença foi de 93,25% nas plantas infectadas apenas com o patógeno; já nas tratadas com os antagonistas *Enterobacter cloacae* PS14 e *T. asperellum* T34, foi de 10,73% e 26,50%. Mutuku *et al.* (2021) observaram que o bioagente TA, em concentrações de 66% e 100%, reduziu a severidade da requeima da batata (*Phytophthora infestans*) em 26% e 27%, respectivamente. Rojas *et al.* (2012) verificaram que *Trichoderma*, nas doses de 1,5 e 2,4 kg ha<sup>-1</sup>, reduziu a incidência e severidade da sarna prateada da batata (*Helminthosporium solani*) em relação ao controle, sendo que, no primeiro caso, a redução da incidência foi de 30% e da severidade 14%; no segundo, foi de respectivamente, 26% e 13%. Vilacundo *et al.* (2020) averiguaram que o antagonista TA reduziu a incidência e a severidade da crosta-negra ocasionada pelo fungo *Rhizoctonia solani* em plantas de batata, em cerca de 60%, sendo esses resultados atribuídos principalmente ao micoparasitismo.

No experimento de inverno, na frequência de aplicação semanal e por 2VS, os antagonistas, respectivamente, TL e TA, apresentaram as maiores reduções da MFTL, N°TL, SD e do ID. Com o aumento do período de tempo de aplicação (quinzenal e mensal), houve menor diferença entre os bioagentes. Na frequência quinzenal, BS+BL apresentou maior redução da MFTL, N° TL e ID, com reduções de, respectivamente, 75,35%, 81,81% e 75,64%, quando comparado ao controle.

O uso do *B. Subtilis*, no controle de doenças de plantas, pode influenciar no sistema planta-ambiente-patógeno por meio da promoção do crescimento da planta, resistência sistêmica induzida, formação de biofilme, competição por nutrientes ou locais de colonização do patógeno, efeitos de lise celular e produção de antibióticos, podendo, dessa forma, interferir no desenvolvimento da planta e no progresso da doença. Nesse sistema, alterações relacionadas à atividade de biocontrole de *B. Subtilis*, de quaisquer mecanismos moleculares (promoção do crescimento da planta, resistência sistêmica

induzida, lise celular, produção de antibióticos e competição por locais de nutrição e colonização), podem influenciar direta ou indiretamente os componentes do triângulo da doença (Wang *et al.*, 2018).

Wang *et al.* (2019) observaram um aumento relativo da abundância de *Proteobacteria* (*Burkholderiales*, *Pseudomonas*, *Achromobacter* e *Agrobacterium*) na rizosfera da batata no estágio inicial de formação e desenvolvimento do tubérculo. A estimulação desses grupos taxonômicos na microbiota rizosférica ocorreu pela aplicação de um produto microbiano, composto por um consórcio de *B. subtilis* e *T. harzianum*, levando à supressão da doença ocasionada por *Streptomyces* spp.

Chen *et al.* (2017) constataram a eficácia do bioagente *Brevibacillus laterosporus* AMCC100017 no manejo da sarna comum da batata, havendo redução do ID de 2,60 para 0,77; inibição da incidência da doença de 100% para 65,57%; e diminuição da SD de 52,00% para 15,33%. *B. laterosporus* AMCC100017 aumentou a população de bactérias totais, as quantidades de bactérias funcionais, como *Bacillus* spp., *Pseudomonas* spp. e actinomicetos no solo da rizosfera, que beneficiaram a batateira contra o patógeno, enquanto que a estreptomicina, controle químico, alterou a diversidade de bactérias e prejudicou as bactérias benéficas do solo da rizosfera da batata.

Mabood e Sanchez (2018) constataram redução da sarna comum de batata em 44-78%, com a aplicação das duas cepas bacterianas isoladamente ou em combinação. Al-Mughrabi *et al.* (2016) observaram que a incidência da sarna comum reduziu 19,20% com a utilização do biopesticida *B. subtilis*, em comparação ao controle. A produção bruta aumentou 4,8%. Lin *et al.* (2018) constataram que, nos ensaios em vasos, a severidade da sarna comum diminuiu de  $55,6 \pm 11,1\%$  para  $4,2 \pm 1,4\%$ , após o tratamento com *Bacillus amyloliquefaciens*. Todavia, este antagonista apenas suprimiu os sintomas de sarna e não promoveu o crescimento da planta de batata ou aumentou o peso do tubérculo. Neste estudo, no período de inverno, a MFTT não foi influenciada pelos antagonistas e, na primavera-verão, a MFTT dos antagonistas não foi superior à da testemunha. Em ambos os experimentos, a ALT de plantas não se diferenciou da testemunha.

Enquanto que Abeer *et al.* (2017) verificaram que a altura de plantas de batata nos tubérculos tratados com *B. subtiles* em combinação com a aplicação no solo de duas espécies de *Trichoderma* (*Trichoderma koningii* e *T. harzianum*) foi de 40,33 cm (primeiro experimento) e 37,0 cm (segundo experimento), sendo superior ao controle, sem nenhum tratamento (34,0 cm no primeiro experimento e 31,0 cm no segundo experimento); Andrianarisoa *et al.* (2015), avaliando o efeito da aplicação de isolados

bacterianos antagonistas no manejo da muchua-bacteriana da batata, constataram que a altura da testemunha foi menor (41,94 cm) em comparação com os tratamentos que foram aplicados aos isolados (48,66 cm-60,75cm), sendo que o acréscimo desta variável alterou entre 16,02% a 44,84%. Song *et al.* (2021) observaram que plantas de batata, tratadas com *Bacillus subtilis* (Bv17), apresentaram maior peso de tubérculo e teor de matéria seca (20,6%) em comparação com o controle (18,4%). Os resultados indicaram que a variação da comunidade microbiana do solo pelo tratamento de *Bacillus subtilis* foi capaz de diminuir as doenças da batata, melhorar a qualidade e a produtividade da cultura.

O limite da superfície do tubérculo lesionado por sarna comum para o mercado é de 5%, no Canadá (Al-Mughrabi *et al.*, 2016). No experimento de inverno, a aplicação quinzenal de TA, TL e BS+EF+LP já foi suficiente para proporcionar a redução da SD para menos de 5%. No de primavera-verão, foi com a aplicação quinzenal de TA e semanal com TL, BS+BL e BS+EF+LP. Em ambos os experimentos, na frequência mensal, os tubérculos apresentaram SD superior a 5%.

Os antagonistas avaliados promoveram a diminuição do ID e a severidade da sarna comum. Provavelmente, promoveram a redução da população de *Streptomyces* spp. presente no solo, por meio da capacidade de colonizar de forma eficiente a rizosfera das plantas e competir por espaço e nutrientes; pela produção de metabólitos voláteis e não voláteis, impedindo o crescimento ou ocasionando a morte da bactéria; pela produção de enzimas degradadoras da parede celular e hiperparasitismo; além de beneficiar o crescimento de microrganismos benéficos no solo.

## Referências

- ABBA - Associação Brasileira da Batata. Brasil - Atuais variedades. 2010. <http://www.abbabatatabrasileira.com.br/site/wp-content/uploads/2016/06/Edicao-28.pdf>
- Abd-El-Khair H, 2020. Biological Control of Phyto-pathogenic Bacteria. In: Cottage Industry of Biocontrol Agents and Their Applications; Abu-hashim M, El-Wakeil N, Saleh M (eds). pp: 299-336. Springer, Cham.
- Andrade MHML, Niederheitmann M, de Paula Ribeiro, SRR, Oliveira LC, Pozza EA, Pinto CABP, 2019. Development and validation of a standard area diagram to assess common scab in potato tubers. Eur J Plant Pathol 154: 739–750.

- Andrianarisoa R, Ravelomanantsoa RN, Fienena RV, Andriambelason O, 2015. Biocontrol of potato wilt by selective rhizospheric and endophytic bacteria associated with potato plant. *Afr J Food Agric Nutr Dev* 15(1): 9762-9776.
- Agrios GN (5ed), 2005. Plant pathology. Elsevier Academic Press, Amsterdam. 922p.
- Ali AA, Abd el-kader AES, Ghoneem KHM, 2017. Two *Trichoderma* species and *Bacillus subtilis* as biocontrol agents against rhizoctonia disease and their influence on potato productivity. *Egypt J of Agric Res* 95(2):527-541.
- Al-Mughrabi KI, Vikram A, Poirier R, Jayasuriya K, Moreau G, 2016. Management of common scab of potato in the field using biopesticides, fungicides, soil additives, or soil fumigants. *Biocontrol Sci Technol* 26(1):125–135.
- Benítez T, Rincón AM, Limón MC, Codón AC, 2004. Biocontrol mechanisms of *Trichoderma* strains. *Int microbiol* 7(4): 249-260.
- Castro PRC, Campos GR, 2021. Ecofisiologia da batata. In: *Batata: desafios fitossanitários e manejo sustentável*; Pitelli, AMCM (ed.). pp: 55-71. UPL, São Paulo.
- CFIA - Canadian Food Inspection Agency. Orchestra. 2021. <https://inspection.canada.ca/english/plaveg/pbrpov/cropreport/pot/app00008221e.shtml>
- Charkowski A, Sharma K, Parker ML, Secor GA, Elphinstone J, 2020. Bacterial diseases of potato. In: *The Potato Crop. Its agricultural, nutritional and social contribution to humankind*; Campos H, Ortiz O (eds). pp. 351-388. Springer, Cham.
- Chen S, Zhang M, Wang JVD, Ma Y, Zhou B, Wang B, 2017. Biocontrol effects of *Brevibacillus laterosporus* AMCC100017 on potato common scab and its impact on rhizosphere bacterial communities. *Biol Control* 106: 89–98.
- Clarke CR, Kramer CG, Kotha RR, Wanner LA, Luthria DL, Kramer M, 2019. Cultivar Resistance to Common Scab Disease of Potatoes Is Dependent on the Pathogen Species. *Phytopatho* 109 (9): 1544-1554.
- Dees MW, Wanner LA, 2012. In search of better management of potato common scab. *Potato Res* 55: 249–268, 2012.
- Ferreira DF, 2014. Sisvar: a guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. *Ciênc Agrotec* 38(2): 109-112.
- Goyer C, Otrysko B, Beaulieu C, 1996. Taxonomic studies on streptomycetes causing potato common scab: a review. *Can J Plant Pathol* 18(2): 107–113.
- Granja NP, Hirano E, Silva GO, 2013. Metodologia para avaliação do índice de severidade de doença em amostras de tubérculos de batata. *Hortic Bras* 31: 520-521.

- Gupta M, Topgyal T, Zahoor A, Gupta S, 2021. Rhizobium: Eco-friendly microbes for global food security. In: Microbial Management of Plant Stresses; Kumar A, Droby S (eds). pp. 221-233. Elsevier, Amsterdã.
- Hosny M, Abo-Elyousr KAM, Asran MR, Saeed FA, 2014. Chemical control of potato common scab disease under field conditions. Arch Phytopathol Plant Prot 47 (18): 2193-2199.
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. 2022. <https://portal.inmet.gov.br/>
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. 2022. <http://bancodedados.cptec.inpe.br/>
- Ismail S, Jiang B, Nasimi Z, Inam-ul-Haq M, Yamamoto N, Ofori AD, Khan K, Arshad M, Abbas K, Zheng A, 2020. Investigation of *Streptomyces scabies* causing potato scab by various detection techniques, its pathogenicity and determination of host-disease resistance in potato germplasm. Pathogens 9(9):760.
- Khatri BB, Tegg RS, Brown PH, Wilson CR, 2011. Temporal association of potato tuber development with susceptibility to common scab and *Streptomyces scabiei*-induced responses in the potato periderm. Plant Pathol 60(4): 776–786.
- Lahlali R, Ezrari S, Radouane N, Kenfaoui J, Esmael Q, El Hamss H, Belabess Z, Barka EA, 2022. Biological Control of Plant Pathogens: A Global Perspective. Microorganisms 10(3): 596.
- Lal M, Yadav S, Singh V, Nagesh M, 2016. The Use of Bio-Agents for Management of Potato Diseases. In: Plant Growth; Rigobelo EC (ed). pp: 1-17. IntechOpen, London.
- Lin C, Tsai CH, Chen PY, Wu CY, Chang YL, Yang YL, Chen YL, 2018. Biological control of potato common scab by *Bacillus amyloliquefaciens* Ba01. PLoS ONE 13(4): 1-17.
- Mabood F, Sanchez D, 2018. Biological control of common scab disease of potato. Health Care Curr Ver (6): 52.
- Mohamed BFF, Sallam NMA, Alamri SAM, Abo-Elyousr KAM, Mostafa YS, Hashem M, 2020. Approving the biocontrol method of potato wilt caused by *Ralstonia solanacearum* (Smith) using *Enterobacter cloacae* PS14 and *Trichoderma asperellum* T34. Egypt J Biol Pest Control 30 (61): 1-13.
- Mutuku KJ, Joseph MJ, Wabomba NM, Mwangi KA, 2021. Efficacy of *Trichoderma asperellum* Seed Treatment and Ridomil® Application in Managing Late Blight on Potato. World J Agric Res 9(2): 42-52.
- Pal KK, Gardener BM, 2006. Biological control of plant pathogens. Plant health instr 2: 1117-1142.



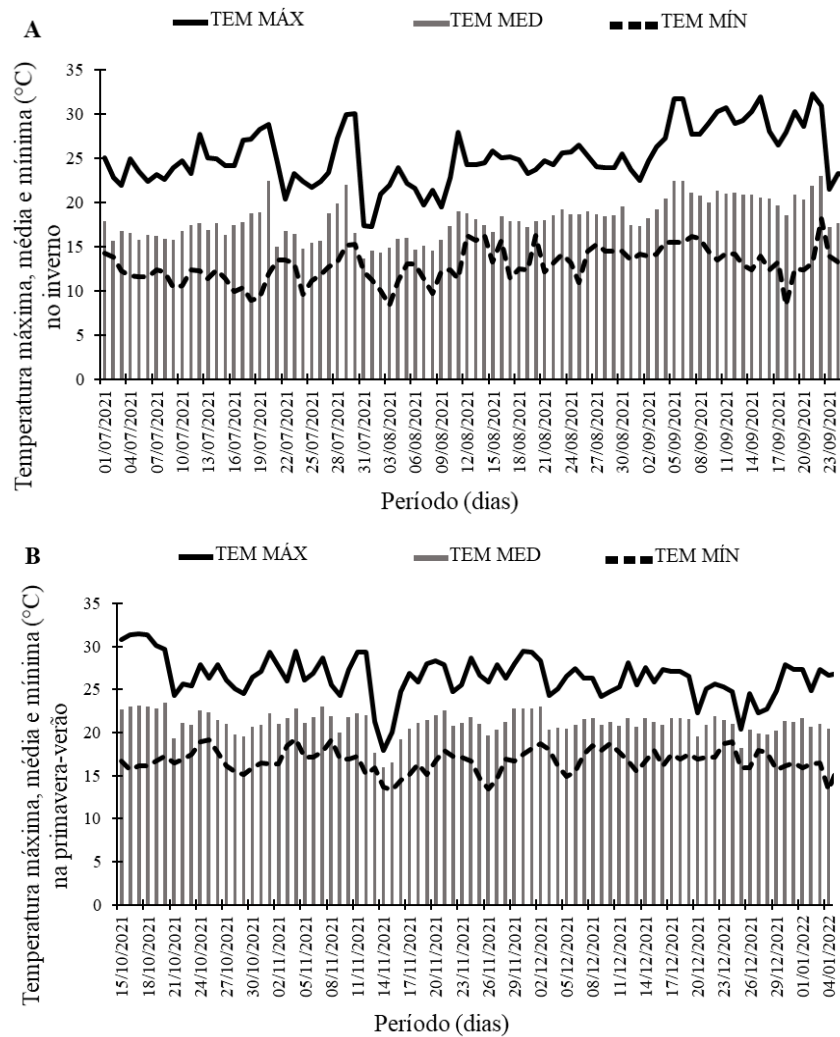
- Pertot I, Alabouvette C, Esteve E H, Franca S, 2015. Mini-paper: The use of microbial biocontrol agents against soil - borne diseases. Eip-Agri, Agriculture & Innovation, Bruselas, Bélgica.
- Porto JS, Rebouças TNH, José ARS, José ARS, Tebaldi ND, Luz JMQ, 2022. Biocontrol of Potato Common Scab Cultivated on Different Soil Mulch. *Agronomy* 12(4):904.
- Raut I, Badea-Doni M, Calin M, Oancea F, Vasilescu G, Sesan TE, Jecu I, 2014. Effect of Volatile and Non-Volatile Metabolites from *Trichoderma* spp. against Important Phytopathogens. *Rev Chim* 65(11): 1285-1288.
- Rojas PM, Villalba, JL, Castro NO, 2012. Uso de microorganismos nativos como promotores de crecimiento y supresores de patógenos en el cultivo de la papa en Bolivia. *Revista latinoamericana de la papa* 17(1): 74-96.
- RPD, 1988. Common Scab of Potato. Reports on Plant Diseases N° 909. Department Of Crop Sciences University Of Illinois At Urbana, Champaign.
- SEI - Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia. Sistema de Informações Municipais: Vitória da Conquista. 2013. <http://www.sei.ba.gov.br/>
- SEMENA. Potato Orchestra. 2019. <http://semenaopt.com/en/Potato/Orchestra/603109/>
- Sharma A, Gautam S, Saxena S, 2014. Streptomyces. In: Encyclopedia of food microbiology; Batt C, Patel P (2 eds.). pp: 560-566. Elsevier, Amsterdã.
- Shuang M, Wang Y, Teng W, Jin G, 2022. Isolation and Identification of an Endophytic Bacteria *Bacillus* sp. K-9 Exhibiting Biocontrol Activity Against Potato Common Scab. *Research Square*, p 1-18.
- Sharma A, Gautam S, Saxena S, 2014. Streptomyces. In: Encyclopedia of food microbiology; Batt C, Patel P (2 eds.). pp: 560-566. Elsevier, Amsterdã.
- Silva AA, Ferreira FA, Ferreira IR, Santos JR, 2007. Métodos de controle de plantas daninhas. In: Tópicos em manejo de plantas daninhas; Silva AA; Silva JF (eds). Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais. pp. 17-62.
- Silva GO, Lopes CA, 2015. Sistema de produção da batata. Embrapa Hortaliças, Brasília, Brasil. 252 p.
- Song J, Kong ZQ, Zhang DD, Chen JY, Dai XF, Ran Li R, 2021. Rhizosphere Microbiomes of Potato Cultivated under *Bacillus subtilis* Treatment Influence the Quality of Potato Tubers. In *Mol Sci* 22(21): 12065.
- Tariq M, Khan A, Asif M, Khan F, Ansari T, Shariq M, Siddiqui MA, 2020. Biological control: a sustainable and practical approach for plant disease management. *Acta Agric Scand B Soil Plant Sci* 70(6): 507-524.

- Thambugala KM, Daranagama DA, Phillips AJL, Kannangara SD, Promputtha I, 2020. Fungi vs. Fungi in Biocontrol: An Overview of Fungal Antagonists Applied Against Fungal Plant Pathogens. *Front Cell Infect Microbiol*, 10: 1-19.
- Vilcacundo E, Trillas MI, Carrillo W. *Trichoderma asperellum* Strain T34 used as biocontrol agent against *Rhizoctonia solani* in potato plants, 2020. *Plant Pathol J* 19(2):89-97.
- Wang XQ, Zhao DL, Shen LL, Jing CL, Zhang CS, 2018. Application and Mechanisms of *Bacillus subtilis* in Biological Control of Plant Disease. In: Role of rhizospheric microbes in soil; Meena V (eds.). pp: 225-250. Springer, Singapore.
- Wang YZ, Li Y, Zhuang L, Yu, Y, Liu J, Zhang L, Gao Z, Wu Y, Gao W, Ding C, Wang Q, 2019. A Rhizosphere-Derived Consortium of *Bacillus subtilis* and *Trichoderma harzianum* Suppresses Common Scab of Potato and Increases. *Comput Struct Biotechnol J*, 17: 645–653.

## Figuras e Tabelas

**Tabela 1.** Análise química do solo coletado, com incidência de *Streptomyces*, para realização do experimento no período de inverno e de primavera-verão

Determinação	Valores	
	Inverno	Primavera-verão
pH em H <sub>2</sub> O	5,8	6,2
P (mg dm <sup>-3</sup> )	90	78
K (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,49	0,23
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2,3	2,1
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,1	1,0
Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,1	0,0
H <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2,3	2,1
Na <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	-	-
Soma de bases trocáveis (cmol dm <sup>-3</sup> )	3,9	3,3
CTC efetiva (cmol dm <sup>-3</sup> )	4,0	3,3
CTC a pH 7,0 (cmol dm <sup>-3</sup> )	6,3	5,4
Saturação de bases (%)	62	61
Saturação por alumínio (%)	3	0



Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia – INMET e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/Vitória da Conquista, Estado da Bahia (2022).

**Figura 1.** Dados de temperaturas máximas (TEM MÁX), médias (TEM MED) e mínimas (TEM MÍN) no período do experimento de inverno (A) e de primavera-verão (B), em Vitória da Conquista - BA.

**Tabela 2.** Massa fresca de tubérculos sadios (MFTS) (g), massa fresca de tubérculos lesionados (MFTL) (g), número de tubérculos sadios (N° TS) e número de tubérculos lesionados (N° TL) de batata, em função da frequência de aplicação de agentes de biocontrole, no período de inverno

TA: *T. asperellum*. TL: *T. longibrachiatum*. BS+BL: *B. subtilis*+*B. licheniformis*.

Agentes de biocontrole	Semanal	2VS	Quinzenal	Mensal
Massa fresca de tubérculos sadios (MFTS) (g)				
TA	646,25 Ab	1090,00 Aa	673,75 Ab	517,50 ABb
TL	732,50 Aa	516,25 Ca	728,75 Aa	215,00 Cb
BS+BL	477,50 ABa	701,25 BCa	736,25 Aa	626,25 Aa
BS+EF+LP	340,0 Bb	845,00 Ba	486,25 Ab	785,00 Aa
Testemunha	232,50 Ba	103,75 Da	110,00 Ba	283,75 BCa
Massa fresca de tubérculos lesionados (MFTL) (g)				
TA	362,50 ABab	92,50 Aa	352,50 Aab	423,75 ABb
TL	262,50 Aa	610,00 Bb	242,50 Aab	810,00 Cab
BS+BL	566,25 BCb	383,25 Bab	200,00 Aa	335,00 Aab
BS+EF+LP	553,75 BCb	391,25 Bab	390,00 Aab	241,25 Aa
Testemunha	664,50 Ca	941,25 Cb	811,50 Ba	676,25 BCb
Número de tubérculos sadios (N° TS)				
TA	10,25 Aab	12,25 Aa	8,50 Bab	7,50 ABCb
TL	10,50 Aa	5,50 BCb	13,50 Aa	5,00 BCb
BS+BL	5,25 Bb	10,00 ABa	12,25 ABa	9,5 ABab
BS+EF+LP	6,50 Abc	13,25 Aa	8,50 Bbc	11,50 Aab
Testemunha	2,75 Ba	1,50 Ca	2,50 Ca	3,25 Ca
Número de tubérculos lesionados (N° TL)				
TA	3,00 ABab	1,00 Aa	2,7 Aab	4,25 Ab
TL	2,25 Aa	6,25 BCbc	3,75 Aab	9,00 Bc
BS+BL	6,25 BCb	3,75 ABab	2,00 Aa	5,00 Aab
BS+EF+LP	8,25 CDb	4,75 Ba	4,50 Aa	3,75 Aa
Testemunha	10,50 Da	8,25 Ca	11,00 Ba	9,00 Ba

BS+EF+LP: *B. subtilis*+*E. faecium*+*L. plantarum*. 2VS: 2 vezes na semana. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey (p<0,05).

**Tabela 3.** Massa fresca total de tubérculo (MFTT) (g), massa seca de tubérculos (MST) (g), massa seca foliar (MSF) (g) e altura aos 28 dias após o plantio (cm) (ALT 28 DAP) de batata, em função de agentes de biocontrole e da frequência de aplicação, no período de inverno

Agentes de biocontrole	MFTT	MST	MSF	ALT 28 DAP
TA	1039,69 a	15,25 c	35,00 b	18,06 a
TL	1029,38 a	15,43 ab	41,81 a	18,06 a
BS+BL	1006,44 a	15,50 ab	36,25 ab	20,63 a
BS+EF+LP	1008,12 a	17,00 a	38,38 ab	21,38 a
Testemunha	955,88 a	15,81 ab	35,38 b	22,50 a
Frequência de aplicação	MFTT	MST	MSF	ALT 28 DAP
Semanal	959,40 b	15,10 b	34,25 b	21,05 a
2VS	1134,9 a	15,50 ab	40,25 a	19,45 a
Quinzenal	946,30 b	16,65 a	35,80 ab	20,80 a
Mensal	982,75 b	15,95 ab	39,15 ab	19,20 a

TA: *T. asperellum*. TL: *T. longibrachiatum*. BS+BL: *B. subtilis*+*B. licheniformis*. BS+EF+LP: *B. subtilis*+*E. faecium*+*L. plantarum*. 2VS: 2 vezes na semana. DAP: dias após o plantio. Médias seguidas de mesma letra não difere entre si na coluna pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 4.** Número total de tubérculos (N° TT), altura aos 42 DAP (cm) (ALT 42 DAP), severidade da doença (SD) e índice da doença (ID) de batata, em função da frequência de aplicação de agentes de biocontrole, no período de inverno

Agentes de biocontrole	Semanal	2VS	Quinzenal	Mensal
Número total de tubérculos de batata (N° TT)				
TA	13,50 Aa	13,25 Ba	11,25 Ba	12,25 Aa
TL	12,75 Ab	11,75 Bb	17,25 Aa	14,00 Aab
BS+BL	11,50 Aa	13,75 ABa	14,25 ABa	14,50 Aa
BS+EF+LP	14,75 Aab	18,00 Aa	13,00 ABb	15,25 Aab
Testemunha	13,25 Aa	9,75 Ba	13,50 ABa	12,25 Aa
Altura aos 42 DAP (cm)				
TA	36,00 Ab	43,25 Aab	45,75 Aa	36,25 Aab
TL	39,00 Aab	47,50 Aa	36,75 Ab	44,25 Aab
BS+BL	42,75 Aab	48,25 Aa	40,00 Aab	37,25 Ab
BS+EF+LP	38,25 Ab	48,75 Aa	42,25 Aab	44,75 Aab
Testemunha	37,25 Aa	38,75 Aa	44,50 Aa	43,25 Aa
Severidade da doença (SD)				
TA	3,00 Aab	1,50 Aa	3,50 ABab	6,25 Ab
TL	2,50 Aa	6,50 BCab	4,25 ABab	8,00 Ab
BS+BL	6,00 ABa	3,00 ABa	6,25 ABa	5,50 Aa
BS+EF+LP	8,25 Bb	3,00 ABa	3,00 Aa	8,00 Ab
Testemunha	7,75 Ba	8,25 Ca	7,75 Ba	7,50 Aa
Índice da doença (ID)				
TA	5,25 Aa	2,50 Aa	6,25 Aa	10,75 Aa
TL	4,25 Aa	15,75 Bb	5,25 Aa	8,50 Aab
BS+BL	16,50 Bb	6,50 Aa	4,75 Aa	11,00 Aab
BS+EF+LP	20,00 Bb	6,00 Aa	9,75 Aa	12,25 Aab
Testemunha	22,50 Ba	25,00 Ca	19,50 Ba	23,00 Ba

TA: *T. asperellum*. TL: *T. longibrachiatum*. BS+BL: *B. subtilis*+*B. licheniformis*. BS+EF+LP: *B. subtilis*+*E. faecium*+*L. plantarum*. 2VS: 2 vezes na semana. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 5.** Massa fresca de tubérculos sadios (MFTS) (g), massa fresca de tubérculos lesionados (MFTL) (g), massa fresca total de tubérculos (MFTT) (g) e massa seca de tubérculos (MST) de batata, em função da frequência de aplicação de agentes de biocontrole, no período de primavera-verão

Agentes de biocontrole	Semanal	2VS	Quinzenal	Mensal
Massa fresca de tubérculos sadios (MFTS) (g)				
TA	485,00 Aa	433,75 Aab	518,75 Aa	323,75 Ab
TL	377,50 ABb	527,50 Aa	400,00 BCb	213,75 Abc
BS+BL	447,50 ABa	398,75 Aab	366,25 Bab	311,25 Ab
BS+EF+LP	315,00 BCa	427,50 Aa	421,25 BCa	154,25 Bb
Testemunha	183,75 Ca	112,50 Ba	151,25 Ca	217,50 ABa
Massa fresca de tubérculos lesionados (MFTL) (g)				
TA	93,75 Aa	33,75 Aa	108,75 Aab	208,75 Bb
TL	138,75 Ab	25,00 Aa	151,25 Ab	202,50 ABb
BS+BL	152,50 Aa	188,75 Ba	110,00 Aa	93,75 Aa
BS+EF+LP	147,50 Aab	73,75 Aa	121,25 Aa	253,75 Bb
Testemunha	318,75 Ba	438,75 Cb	375,00 Bab	371,25 Cab
Massa fresca total de tubérculos (MFTT) (g)				
TA	580,00 Aab	467,50 Ab	628,75 Aa	532,50 ABab
TL	516,25 Aab	552,50 Aa	551,25 ABa	417,50 Bb
BS+BL	598,75 Aa	587,50 Aa	477,50 Bab	405,75 Bb
BS+EF+LP	460,00 Aab	501,25 Aab	542,50 ABa	408,75 Bb
Testemunha	511,25 Aa	560,00 Aa	528,75 ABa	588,75 Aa
Massa seca de tubérculos (MST) (g)				
TA	13,00 Ba	12,75 Ba	13,50 Aa	13,00 Aa
TL	15,00 Aa	13,25 ABb	14,50 Aab	13,50 Aab
BS+BL	15,00 Aa	13,00 Bb	13,75 Aab	13,00 Ab
BS+EF+LP	12,75 Ba	13,00 Ba	12,75 Aa	11,75 Aa
Testemunha	13,00 Bb	15,00 Aa	14,25 Aab	12,75 Ab

TA: *T. asperellum*. TL: *T. longibrachiatum*. BS+BL: *B. subtilis*+*B. licheniformis*. BS+EF+LP: *B. subtilis*+*E. faecium*+*L. plantarum*. 2VS: 2 vezes na semana. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).



**Tabela 6.** Massa seca foliar (MSF) (g), número de tubérculos sadios (N° TS) e número total de tubérculos (N° TT) de batata em função da frequência de aplicação de agentes de biocontrole, no período de primavera-verão

Agentes de biocontrole	Semanal	2VS	Quinzenal	Mensal
Massa seca foliar (MSF) (g)				
TA	20,75 Aa	16,75 Ab	17,00 ABb	16,00 Bb
TL	18,75 ABab	19,00 Aa	17,00 ABab	15,75 Bb
BS+BL	18,50 ABa	18,00 Aa	20,25 Aa	19,75 Aa
BS+EF+LP	17,50 ABa	19,25 Aa	16,75 Ba	17,75 ABa
Testemunha	17,00 Ba	17,75 Aa	17,00 ABa	17,75 ABa
Número de tubérculos sadios (N° TS)				
TA	5,25 Aa	4,75 ABa	7,00 ABa	4,75 ABa
TL	7,25 Aa	6,50 Aa	4,00 CDb	3,75 ABb
BS+BL	5,50 Aa	5,50 Aa	5,50 BCa	6,00 Aa
BS+EF+LP	5,75 Abc	7,00 Aab	8,75 Aa	4,00 Abc
Testemunha	2,25 Ba	2,50 Ba	2,00 Da	3,00 Ba
Número total de tubérculos (N° TT)				
TA	6,00 Bab	5,50 Bb	8,50 Ba	6,50 Aab
TL	9,00 Aa	7,00 ABab	6,25 Bb	6,25 Ab
BS+BL	6,75 ABa	7,25 ABa	7,00 Ba	8,25 Aa
BS+EF+LP	7,25 ABb	8,25 Ab	12,25 Aa	6,25 Ab
Testemunha	6,25 Ba	6,75 ABa	6,50 Ba	7,50 Aa

TA: *T. asperellum*. TL: *T. longibrachiatum*. BS+BL: *B. subtilis*+*B. licheniformis*. BS+EF+LP: *B. subtilis*+*E. faecium*+*L. plantarum*. 2VS: 2 vezes na semana. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 7.** Número de tubérculos lesionados (N° TL), altura aos 38 dias após o plantio (cm) (ALT 38 DAP) e aos 52 dias após o plantio (ALT 52 DAP) de batata, em função de agentes de biocontrole e da frequência de aplicação, no período de primavera-verão

Agentes de biocontrole	N° TL	ALT 38 DAP	ALT 52 DAP
TA	1,19 a	47,56 a	56,19 a
TL	1,75 ab	47,69 a	54,88 a
BS+BL	1,69 ab	49,00 a	56,88 a
BS+EF+LP	2,13 b	46,63 a	57,00 a
Testemunha	4,31 c	49,00 a	57,81 a
Frequência de aplicação	N° TL	ALT 38 DAP	ALT 52 DAP
Semanal	1,85 a	52,60 a	56,95 ab
2VS	1,70 a	46,75 b	59,75 a
Quinzenal	2,65 b	51,60 a	56,00 b
Mensal	2,65 b	40,95 c	53,50 b

TA: *T. asperellum*. TL: *T. longibrachiatum*. BS+BL: *B. subtilis*+*B. licheniformis*. BS+EF+LP: *B. subtilis*+*E. faecium*+*L. plantarum*. 2VS: 2 vezes na semana. DAP: dias após o plantio. Médias seguidas de mesma letra não difere entre si na coluna pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 8.** Severidade da doença (SD) e índice da doença (ID), em função da frequência de aplicação de agentes de biocontrole, no período de primavera-verão

Agentes de biocontrole	Semanal	2VS	Quinzenal	Mensal
Severidade da doença (SD)				
TA	2,25 Aa	2,25 Aa	3,75 Aa	7,50 Ab
TL	3,00 Aa	2,25 Aa	5,00 ABa	8,25 Ab
BS+BL	3,25 Aa	7,50 Bb	5,50 ABCab	8,25 Ab
BS+EF+LP	4,50 Aab	3,25 Aa	7,25 BCbc	8,00 Ac
Testemunha	8,75 Ba	8,00 Ba	8,25 Ca	8,00 Aa
Índice da doença (ID)				
TA	2,50 Aa	2,25 Aa	3,50 Aab	7,25 Ab
TL	5,00 Aab	2,25 Aa	7,00 Abc	10,00 Abc
BS+BL	4,75 Aa	11,25 Bc	6,25 Aab	8,75 Abc
BS+EF+LP	6,00 Aa	5,25 Aa	6,50 Aa	13,00 Bb
Testemunha	27,75 Bb	23,25 Ca	21,75 Ba	22,00 Ca

TA: *T. asperellum*. TL: *T. longibrachiatum*. BS+BL: *B. subtilis*+*B. licheniformis*. BS+EF+LP: *B. subtilis*+*E. faecium*+*L. plantarum*. 2VS: 2 vezes na semana. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).

**Periódico Científico:** Egyption Journal of Biological Pest Control – A3

**ARTIGO III**

Agentes de biocontrole e químico no manejo de nematoides na cultura da batata\*

---

\* **Situação:** submetido

## **Agentes de biocontrole e químico no manejo de nematoides na cultura da batata**

Rosane Mendonça do Nascimento<sup>1\*</sup>, Adriana de Abreu Silva<sup>1</sup>, John Silva Porto<sup>1</sup>, Ivan Vilas Bôas Souza<sup>1</sup>, Alcebíades Rebouças São José<sup>1</sup>, Quelmo Silva de Novaes<sup>1</sup>, Adriana Dias Cardoso<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratório Biofábrica Pesquisa e Produção de Microrganismos, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Estrada do Bem Querer, Km 4, s/nº, Vitória da Conquista – BA, CP 45031-900, Brazil

\*Corresponding author. E-mail address: ro\_brdrmn@hotmail.com

### **RESUMO**

**Antecedentes:** Os nematoides acarretam sérios danos à cultura da batata, pois estão em contato direto com os tubérculos, deformando-os e afetando sua comercialização. Métodos alternativos ao químico, como o controle biológico, vêm sendo empregados para suprimir nematoides fitopatogênicos, reduzindo os riscos ambientais e proporcionando sustentabilidade à produção agrícola. Diante disso, objetivou-se avaliar a eficiência de diferentes bioagentes, nematicida químico e fertilizante na supressão populacional de nematoides em batata.

**Resultados:** No tratamento *B. subtilis*+*L. plantarum*+*T. Longibrachiatum*, observou-se as maiores reduções do número de fitonematoides adultos vivos (82,2%) e juvenis vivos (67,70%). O fertilizante organomineral também proporcionou alta redução populacional do número de adultos e juvenis vivos, de 81,2% e 43,10%, respectivamente. O antagonista *T. longibrachiatum* obteve maior eficácia na mortalidade de nematoides adultos, com acréscimo de 61,65%. Os tratamentos mais eficazes nas mortalidades de juvenis foram o *T. longibrachiatum* e *T. asperellum*, com acréscimos na mortalidade de 62,50% e 61,90%, respectivamente. No tratamento com *T. Asperellum*, foi observado o menor número de ovos no solo, com redução de 75,49%, quando comparado com a testemunha.

**Conclusão:** Foi possível observar que os microrganismos utilizados como agentes de biocontrole foram eficientes na redução populacional de nematoides juvenis e adultos, e dos seus ovos. Produtos biológicos à base de *T. asperellum*, *T. longibrachiatum*, *B. subtilis*, *L. plantarum* e *E. faecium*, bem como o fertilizante organomineral, apresentam potencial para o controle de fitonematoides na cultura da batata.

**Palavras-chave:** Controle biológico. Sustentabilidade. *Thichoderma* spp.. Fitonematoide. *Solanum tuberosum* L..

## Antecedentes

A batata (*Solanum tuberosum* L.) é a terceira cultura alimentar de maior importância para o consumo humano, após o trigo e o arroz. É cultivada em cerca de 19 milhões de hectares de terras agrícolas, com produção mundial de 378 milhões de toneladas. Apresenta grande relevância econômica e social, contribuindo para a diminuição da fome e para a garantia de emprego no campo, principalmente nos países em desenvolvimento da Ásia, África e América Latina (Devaux *et al.*, 2020).

No âmbito nacional, em 2020, o estado de Minas Gerais foi o maior produtor de batata, seguido do Paraná, São Paulo, Bahia e Rio Grande do Sul. Neste mesmo ano, a produção do Brasil foi de 3,77 milhões de toneladas, com produtividade média de 32,1 mil Kg ha<sup>-1</sup>. A cultura tem-se desenvolvido através dos ganhos de produtividade obtidos nos últimos 10 anos, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2022). No entanto, a bataticultura é acometida por diversos problemas fitossanitários que, de acordo com os fatores climáticos e de manejo, reduzem substancialmente a produtividade, além de influenciar na qualidade dos tubérculos, desacelerando o crescimento dessa atividade agrícola.

Dentre os principais problemas que causam maiores prejuízos à cultura, podemos destacar a requeima (*Phytophthora infestans* Mont.), pinta-preta (*Alternaria solani*), murcha bacteriana (*Ralstonia solanacearum*), rizoctoniose (*Rhizoctonia solani*), murcha de fusário (*Fusarium solani*), sarna pulverulenta (*Spongospora subterrânea*) (Töfoli *et al.*, 2012), sarna comum (*Streptomyces* spp.) (Al-Mughrabi *et al.*, 2016) e os sérios danos causados pelos fitonematoídeos. Os nematoídeos mais comuns na cultura da batata são o nematoíde-das-galhas (*Meloidogyne* spp.) e o nematoíde-das-lesões-radiculares (*Pratylenchus* spp.), podendo afetar até 100% da produção (Pinheiro *et al.*, 2015).

Tradicionalmente são utilizados nematicidas químicos para o manejo dos fitonematoídeos. No entanto, a eficiência desse método não é considerada satisfatória, além de apresentar riscos ao meio ambiente, pela contaminação dos lençóis freáticos, lagos, rios e pela contaminação dos solos, o que interfere em sua biota. Produtos formulados com agentes biológicos ativos estão sendo utilizados como método alternativo ao químico, com o intuito de não agredir o meio ambiente e tornar a supressão efetiva (Lopes *et al.*, 2018).

O controle biológico é baseado na utilização de organismos vivos, capazes de reduzir a população infestante de outro organismo vivo por meio de efeito antagônico ou parasitário, em cujo processo dinâmico fungos e rizobactérias são muito requeridos. Esse

método é considerado promissor, pois apresenta especificidade ao alvo e pode ser obtido em diferentes tipos de interação entre os microrganismos, como a predação, a antibiose e o parasitismo, dentre outros. Além de não deixar resíduos, pode ser adquirido a baixo custo e é considerado de fácil aplicação (Pal e Gardener, 2006; Souza *et al.*, 2014; Soares *et al.*, 2017).

O *Trichoderma* é um fungo endofítico e simbiote amplamente comercializado no Brasil e em outros países como princípio ativo de biofungicidas e promotores de crescimento das plantas e, por estas características, vem se destacando como organismo bioprotetor (Chagas *et al.*, 2017). *Bacillus subtilis* e *Bacillus licheniformis* são utilizados como controle biológico de doenças fúngicas, bacterianas e nematoides em diferentes culturas de interesse agrícola, pois têm a capacidade de sobreviver no solo sob condições adversas, como variação de temperatura e ausência de nutrientes (Alves, 2018).

Outra alternativa que pode contribuir para a redução do uso dos produtos químicos no manejo dos fitonematoides é a utilização de fertilizantes orgânicos e organominerais. A aplicação de corretivo de solo, na forma de adubo orgânico, estimula a multiplicação de microrganismos benéficos. Além disso, as alterações orgânicas melhoram a fertilidade e as propriedades físicas, o que, por sua vez, pode afetar negativamente o comportamento dos nematoides (Renčo, 2013; Oka, 2010).

Diante do efeito nocivo dos nematoides e no intuito de tornar mais amplo o conhecimento da cultura da batata, objetivou-se, com a presente pesquisa, avaliar a eficiência de agentes de biocontrole e químico na supressão populacional de nematoides fitopatogênicos.

## **Material e Métodos**

### **Coleta de solo contaminado com fitonematoides**

O experimento foi conduzido na cidade de Vitória da Conquista, Bahia (14°51' S, 40°50' W), em viveiro telado com sombrite a 30%. Os tubérculos-semente utilizados foram da cultivar Ágata Geração 2 Tipo 1, os quais foram plantados em vasos de 20 dm<sup>3</sup>, contendo solo contaminado com população inicial de fitonematoides de 10 adultos por cm<sup>3</sup>. O solo foi coletado em uma área de produção comercial de batata, localizada no município de Mucugê-BA (lat 13° 02 '7,92" and long 41° 27 '36.91"), com histórico de ocorrência dos mesmos.

### **Design e Tratamentos do Experimento**

Foi utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado, com 9 tratamentos: 1. Testemunha (água); 2. Nematicida químico – Cadusafós (testemunha positiva); 3. *Trichoderma asperellum* (TA) (TrichobiolMax®); 4. *Trichoderma longibrachiatum* (TL) (TrichonemateMax®); 5. Fertilizante organomineral foliar (FOMF) (Soil-set™); 6. *Bacillus subtilis*+*Lactobacillus plantarum*+*Trichoderma longibrachiatum* (BS+LP+TL) (Nem Out™); 7. BS+LP+TL + fertilizante orgânico foliar (FOF) (Nem Out™+ Soil Plex Active); 8. *Bacillus subtilis*+*Enterococcus faecium*+*Lactobacillus plantarum* (BS+EF+LP) (Compost Aid™); 9. BS+EF+LP + FOF (Compost Aid™ + Soil Plex Active), com três repetições, sendo uma planta por repetição.

### **Condução do experimento e Extração de nematoides presentes no solo**

Os agentes de biocontrole foram aplicados semanalmente, na dosagem de 1 g/vaso de produto, até os 80 dias após plantio - DAP. As aplicações foram feitas com o auxílio de regador, com intuito de simular o efeito da aplicação via sistema de irrigação em campo. Já aplicação do nematicida químico foi feita misturando-se 3g ao solo, antes do plantio. A colheita foi realizada aos 90 dias após o plantio.

A extração dos nematoides do solo foi realizada através da técnica do peneiramento, seguida de centrifugação em solução de sacarose (Jenkis, 1964), como descrito a seguir:

Amostras do solo (300 gramas) de todas as plantas de cada tratamento foram coletadas individualmente e acondicionadas em sacos plásticos, previamente identificados, e encaminhados ao Laboratório. As amostras foram depositadas em um balde e, em seguida, foram adicionados dois litros de água, então, foi realizada uma mistura do solo com a água, a fim de deixar a solução bem homogênea, eliminando todos os torrões. Após isto, deixou-se descansar por 15 segundos, para a fração mais pesada do solo se depositar no fundo do recipiente. Em seguida, a suspensão foi filtrada sobre duas peneiras granulométricas acopladas, de 20 e 100 mesh em uma bacia. A solução coletada na bacia foi filtrada em peneira de 500 mesh, lavando-se o excesso e recuperando em um béquer os 40 ml finais.

Desse modo, os materiais peneirados obtidos foram transferidos para os tubos de ensaio da centrífuga para serem balanceados e centrifugados. A centrifugação ocorreu por 5min, a 1750 rpm, e, após esse período, o sobrenadante foi descartado e ao resíduo foi adicionada a solução de sacarose. Os tubos de ensaio foram centrifugados novamente, na mesma velocidade, por 1min, e o sobrenadante foi vertido na peneira de 500 mesh. O



resíduo dessa peneira foi recolhido com auxílio de jatos de água, de uma pisseta para um Becker (20 ml da amostra), e transferido para o tubo de ensaio, com lavagem das paredes do béquer com água destilada.

Posteriormente, os tubos de ensaio foram colocados na geladeira e, após 24 horas da extração, foi realizada a contagem dos nematoides adultos vivos e mortos, juvenis vivos e mortos (segundo estágio – J2) e dos ovos presentes no solo.

### **Análise estatística**

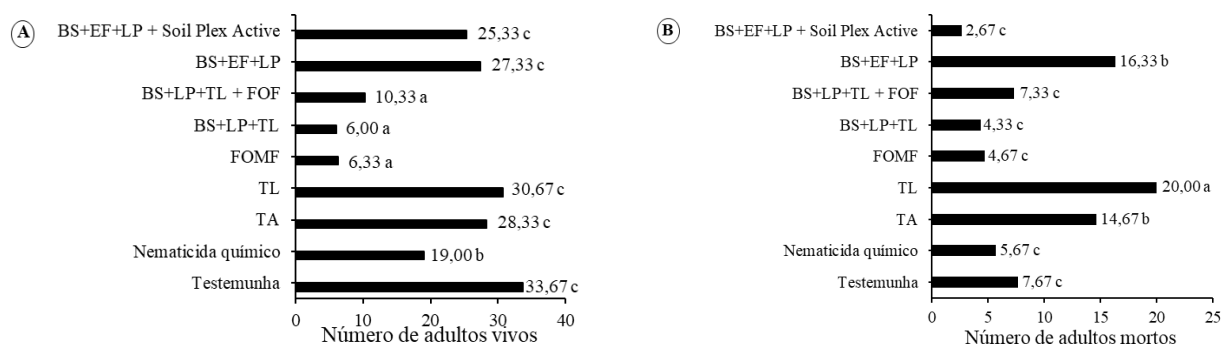
Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas entre si com base no teste de Scott-Knott, com nível de 5% de significância, por meio do programa estatístico Sisvar, versão 5.7 (Ferreira, 2014).

### **Resultados**

#### **Número de adultos vivos e mortos de nematoides**

Os resultados da contagem de fitonematoides adultos vivos, assim como adultos mortos, estão apresentados na Figura 1. Constatou-se nesta pesquisa que os tratamentos BS+LP+TL, FOMF e BS+LP+TL + FOF foram os que melhor representaram a redução de adultos vivos nas amostras de solo, com diminuição de, respectivamente, 82,2%, 81,2% e 69,3%, em relação à testemunha (Figura 1 A). Portanto, esses produtos à base de *Trichoderma*, *B. subtilis*, fertilizante organomineral e orgânico foram os mais eficientes na supressão populacional de nematoides adultos vivos.

Os bioprodutos à base de TL, BS+EF+LP e TA apresentaram potencial nematicida superior ao químico, com aumento no número de adultos mortos de, respectivamente, 71,65%, 65,27% e 61,34% (Figura 1 B).



**Figura 1** - Número de adultos vivos (A) e mortos (B) de nematoides, presentes no solo, em plantas de batata tratadas com diferentes produtos biológicos.

TA: *T. asperellum*; TL: *T. longibrachiatum*; BS+LP+TL: *B. subtilis*+*L. plantarum*+*T. longibrachiatum*; BS+EF+LP: *B. subtilis*+*E. faecium*+*L. plantarum*; FOF: fertilizante orgânico foliar; FOMF: fertilizante organomineral foliar. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

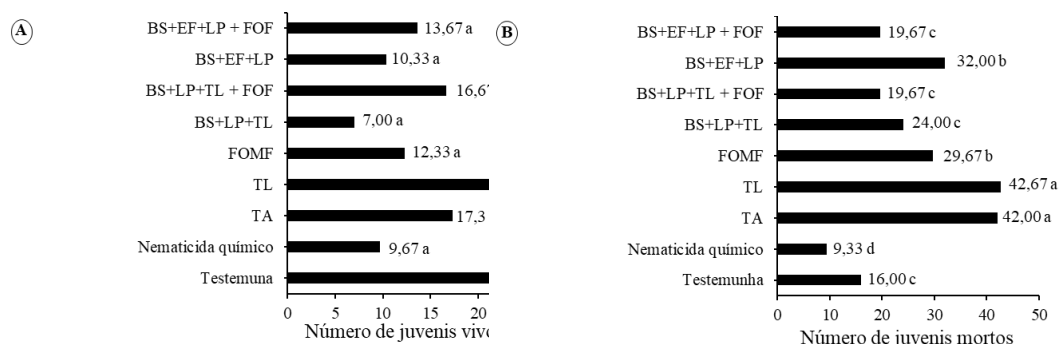
### Número de juvenis vivos e mortos de nematoides

Os tratamentos Testemunha, Tricobiol, Triconemate e Nem Out<sup>TM</sup> + Soil Plex Active apresentaram o maior número de juvenis vivos e não diferiram entre si (Figura 2A).

Dentre os produtos avaliados, o menor número de juvenis vivos foi verificado no tratamento BS+LP+TL, com redução de 67,70%, quando comparado à testemunha, seguido pelos tratamentos nematicida químico (55,37%), BS+EF+LP (52,33%), FOMF (43,10%) e BS+EF+LP + FOF (36,92%), os quais não diferenciaram entre si (Figura 2 A). A aplicação dos produtos BS+LP+TL (82,2%) e FOMF (81,2%) também proporcionaram reduções significativas do número de adultos vivos (Figura 1 A).

No entanto, quanto ao número de juvenis mortos (Figura 2 B), observa-se a superioridade dos tratamentos TrichonemateMax® e TrichobiolMax®, utilizando os agentes *T. longibrachiatum* e *T. asperellum*, respectivamente. Nestes tratamentos, ocorreu um aumento de 62,50% e 61,90%, respectivamente, da morte dos juvenis de segundo instar (J2) presentes no solo, em comparação com a testemunha. O controle biológico com esses bioagentes foi mais eficiente do que o controle químico, com acréscimo na mortalidade dos juvenis de 78,13% (TL) e 77,78% (TA), em comparação ao manejo com nematicida químico.

A utilização dos bioagentes BS+EF+LP e o FOMF proporcionaram acréscimos na mortalidade de juvenis (J2) de, respectivamente, 50,00% e 45,5%, em relação à testemunha, os quais foram superiores aos produtos BS+LP+TL, BS+EF+LP + FOF, BS+LP+TL + FOF e o nematicida químico.



**Figura 2** – Número de nematoides juvenis vivos (A) e mortos (B) presentes no solo.

TA: *T. asperellum*; TL: *T. longibrachiatum*; BS+LP+TL: *B. subtilis*+*L. plantarum*+*T. longibrachiatum*; BS+EF+LP: *B. subtilis*+*E. faecium*+*L. plantarum*; FOF: fertilizante orgânico foliar; FOMF: fertilizante organomineral foliar. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

### Número de ovos de nematoides

A Tabela 1 indica o número de ovos encontrados nas amostras de cada tratamento, cujos resultados encontrados não diferem entre si, apenas da testemunha. Portanto, os produtos avaliados foram igualmente eficientes para a redução do número de ovos presentes nas amostras.

No tratamento com TrichobiolMax® (*T. asperellum*), foi observado o menor número de ovos no solo, com redução de 75,49%, quando comparado com a testemunha.

**Tabela 1** - Ovos de nematoides, presentes no solo, em plantas de batata tratadas com diferentes produtos

Tratamentos	Número de ovos
1. Testemunha	17,67 b
2. Nematicida químico	5,33 a
3. TA	4,33 a
4. TL	8,33 a
5. FOMF	6,67 a
6. BS+LP+TL	6,63 a
7. BS+LP+TL + FOF	7,09 a

8. BS+EF+LP	7,00 a
9. BS+EF+LP + FOF	5,00 a
CV (%)	42,89

TA: *T. asperellum*; TL: *T. longibrachiatum*; BS+LP+TL: *B. subtilis*+*L. plantarum*+*T. longibrachiatum*; BS+EF+LP: *B. subtilis*+*E. faecium*+*L. plantarum*; FOF: fertilizante orgânico foliar; FOMF: fertilizante organomineral foliar. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

## Discussão

Os maiores decréscimos do número de fitonematoides adultos e juvenis vivos, presentes no solo, foram observados com o uso de BS+LP+TL (Nem Out<sup>TM</sup>).

A colonização das raízes por *B. subtilis*, microrganismo presente no produto Nem Out<sup>TM</sup>, é benéfica tanto para a bactéria quanto para a planta hospedeira. Essa colonização fornece uma fonte de nutrientes e, em troca, as plantas são receptoras de compostos e atividades bacterianas que estimulam seu crescimento e fornecem proteção ao estresse para seus hospedeiros. *B. subtilis* forma uma fina película biológica nas raízes para colonização da rizosfera a longo prazo. A formação de biofilme fornece ao sistema radicular da planta uma barreira protetora contra o ataque de organismos patogênicos (Hashem *et al.*, 2019).

Os mecanismos envolvidos na atividade de biocontrole de *B. subtilis* contra os fitopatógenos incluem a promoção de crescimento de plantas, a formação de biofilme, a competição por nutrientes e locais de colonização, a capacidade de induzir lise celular, a resistência sistêmica induzida e a produção de antibióticos (Wang *et al.*, 2018).

Araújo *et al.* (2018), ao estudarem o efeito de produto à base de *B. subtilis* em mudas de bananeira, puderam constatar que houve reduções de 99,93% e 99,96%, quando se utilizou as doses de 200 e 250 mL/10 L de água, respectivamente, da população inicial de fitonematoides presentes na raiz, rizoma e no solo, com eficiência equiparada ao nematicida químico, ratificando a importância da utilização de produtos biológicos que atuam no ambiente sem gerar resíduos tóxicos.

O FOMF (Soil Set<sup>TM</sup>) é composto por extratos vegetais enriquecidos com enxofre (3,75%), cobre (2%), zinco (3,2%), manganês (0,8%), ferro (1,6%) e carbono orgânico (7,52%) (Silva, 2016), os quais participam do metabolismo vegetal e propiciam a formação de compostos químicos que inibem a infecção por patógenos. Os

micronutrientes são fundamentais no metabolismo vegetal, atuando no conteúdo de fenol e lignina, bem como na estabilidade da membrana (Marschner e Darwesh, 2012).

Os nutrientes minerais podem tanto elevar como reduzir a resistência das plantas aos patógenos. A resistência pode ser aumentada por modificações na anatomia (células da epiderme mais grossas, lignificadas e ou silicificadas) e nas propriedades fisiológicas e bioquímicas (produção de substâncias inibidoras ou repelentes). O aumento da resistência pode ocorrer pela alteração nas respostas das plantas aos ataques de parasitas, aumentando as barreiras mecânicas (lignificação) que tornariam as plantas menos vulneráveis à degradação por enzimas produzidas pelos patógenos, e a síntese de compostos tóxicos (Zambolim *et al.*, 2005).

Os nematoides penetram a parede celular do vegetal através do estilete, o qual também é utilizado para injetar secreções dentro da célula hospedeira e retirar nutrientes do citoplasma. Dessa forma, a parede da célula vegetal constitui a primeira barreira encontrada pelo fitonematoide, além da força mecânica exercida pelo estilete durante seu contínuo movimento para o interior da célula, onde os fitonematoides secretam enzimas hidrolíticas para degradação dessa parede (Faria *et al.*, 2003).

A redução populacional do número de adultos e juvenis vivos, verificada no tratamento FOMF, neste estudo, dentre outros fatores, pode estar relacionada por interferir na reprodução dos nematoides, já que, como citado acima, os fitonematoides utilizam força mecânica e enzimática para degradar a parede celular vegetal no processo de penetração, movimento no parênquima cortical e alimentação. No caso de uma parede celular mais lignificada, essas atividades exigirão maior gasto energético, reduzindo a atividade do nematoide e, possivelmente, a reprodução (Toniato *et al.*, 2019). Além dos micronutrientes (Cu, Fe, S, Mn e Zn), os extratos vegetais também podem ter contribuído para a redução de juvenis e adultos, por proporcionar a formação de compostos químicos que inibem a infecção por nematoides.

Os efeitos supressivos da correção do solo com resíduos vegetais para o manejo de fitonematoides têm sido atribuídos à liberação de constituintes fitoquímicos (compostos nematotoxicos, quininos, flavanoides) durante a decomposição no solo (Mohamed e Darwesh, 2017).

O FOMF (Soil Set<sup>TM</sup>) e o FOF (Soil Plex Active) são compostos de extratos vegetais, os quais melhoram as condições biológicas do solo e possuem em sua composição materiais orgânicos oriundos de processo de fermentação natural (Silva, 2016), contribuindo para o desenvolvimento dos microrganismos benéficos.

Aplicação de corretivo de solo, na forma de adubos orgânicos, estimula a multiplicação de microrganismos como fungos e bactérias. Alguns dos microrganismos são parasitas de nematoides. Os microrganismos causam a supressão de nematoides parasitas no solo e promovem o crescimento e desenvolvimento da planta. Além disso, as alterações orgânicas do solo melhoram a fertilidade, as propriedades físicas do solo, a retenção e infiltração de água, a permeabilidade, a aeração e o crescimento da planta. Por isso, a utilização de fertilizantes orgânicos como ferramenta de controle de nematoides parasitas e outros patógenos do solo são benéficos porque são um material natural, a partir do qual nutrientes e substâncias nematicidas são liberados gradativamente ao longo de todo o período de vegetação (Renčo, 2013).

Os materiais orgânicos podem alterar as propriedades físicas do solo (pH, salinidade, concentrações de dióxido de carbono e oxigênio, potencial redox e estrutura do solo), o que, por sua vez, pode afetar negativamente os comportamentos dos nematoides, como incubação, movimento e sobrevivência. O tamanho maior dos poros, como resultado da agregação do solo, pode permitir que grandes inimigos naturais, como colêmbolos, enchytraeids, ácaros, tardígrados, turbelários e nematoides predadores, se movam no solo e ataquem os nematoides (Oka, 2010).

O tratamento TrichonemateMax® foi o que obteve maior eficácia na mortalidade de nematoides adultos. Este bioproduto à base de *T. longibrachiatum* não foi muito eficiente na redução do número de adultos vivos, devido, provavelmente, ao seu modo de ação. Quando os esporos de *Trichoderma* são adicionados ao solo, eles colonizam a superfície da raiz e produzem enzimas que degradam a parede celular do patógeno (Srivastava *et al.*, 2015). Esses fungos também produzem toxinas e antibióticos como malformina, hadacidina, gliotoxina, viridian e penicilina, que podem contribuir para a inatividade e imobilidade dos nematoides (Chanu *et al.*, 2015).

A competição é um dos principais mecanismos de ação do *Trichoderma* que tem uma capacidade superior de mobilizar e absorver os nutrientes do solo em comparação com outros organismos. Este fungo obtém ATP a partir do metabolismo de diferentes açúcares pela produção de diferentes enzimas (celulose, glucanase, quitina), convertidas como glicose e usada como fonte de carbono e energia, o que os tornam fortes competidores. A limitação de nutrientes na rizosfera resulta em inanição, que é a causa mais comum de morte de outros microrganismos. Outro mecanismo antagônico empregado pelas espécies de *Trichoderma* sobre os patógenos vegetais é o micoparasitismo. Os fungos parasitas têm um crescimento quimiotrófico positivo em

relação ao seu hospedeiro, enrolando-os (Akter *et al.*, 2019), apresentando, dessa forma, potencial nematicida, provavelmente, pela produção de compostos tóxicos, competição e parasitismo, e ocasionando o acréscimo na mortalidade de nematoides adultos e juvenis, como foi verificado neste estudo.

Os nematoides são direcionados para a fonte de alimento em resposta aos sinais químicos emitidos pela planta hospedeira na forma de exsudatos. A habilidade que os fitonematoides possuem para detectar e discriminar os sinais químicos do hospedeiro é um dos importantes eventos iniciais da interação nematoide-planta (Faria *et al.*, 2003).

A presença de *B. subtilis* na rizosfera induz à degradação de exsudatos radiculares, fazendo com que os mesmos não sejam reconhecidos pelos nematoides, inibindo a eclosão e motilidade de juvenis e, conseqüentemente, reduzindo a migração em direção ao sistema radicular, por interferir na orientação dos nematoides, não permitindo o reconhecimento do estímulo quimiotrópico emitido pelas raízes (Araújo *et al.*, 2002), interferindo, dessa forma, no ciclo de vida do nematoide, pois irá reduzir a penetração dos nematoides nas raízes, afetando de forma negativa a sua reprodução. Os tratamentos Nem Out e Compost Aid apresentam, em sua composição, o bioagente *B. subtilis*, sendo assim, o aumento da mortalidade de adultos e juvenis pode ter sido devido a interferências nos processos de orientação dos nematoides, desorientando-os até a morte e, conseqüentemente, afetando o número de adultos e juvenis vivos, por reduzir a penetração dos nematoides nas raízes, afetando de forma negativa a sua reprodução.

Zhang *et al.* (2015), avaliando o potencial de biocontrole de *T. longibrachiatum* no manejo de *Meloidogyne incognita*, verificaram que as maiores concentrações deste bioagente aumentaram as taxas de mortalidade dos juvenis de segundo estágio. Provavelmente, existem dois mecanismos principais de inibição envolvidos no controle de *M. incognita*, sendo eles: as diminuições diretas dos números dos nematoides pelos efeitos parasitários e letais de *T. longibrachiatum* sobre os juvenis de segundo estágio e o aumento do crescimento da planta que melhora a resistência desta à infecção por *M. incognita*.

Todos os tratamentos contribuíram para a redução do número de ovos, porém, maior decréscimo foi verificado com o uso de *T. asperellum* (TrichobiolMax®).

Khan *et al.* (2018), avaliando o efeito dos exsudatos produzidos por diferentes espécies de *Trichoderma* no controle de *M. incognita* em tomateiro, verificaram que os metabólitos produzidos pelo fungo, ao crescer em cultura líquida, teve efeito direto sobre *M. incognita*, pois diminuiu significativamente a eclosão dos ovos e aumentou a

mortalidade dos juvenis de segundo estágio. A aplicação da suspensão de cultura no solo, contendo os esporos do fungo, afetou mais negativamente a população dos juvenis, além de aumentar o crescimento das plantas de forma mais eficaz do que os exsudatos fúngicos, pois o filtrado da cultura continha apenas os metabólitos que causavam toxicidade aos ovos e juvenis, sem qualquer infecção para eles; enquanto que os tratamentos da suspensão de cultura continham os esporos do fungo que, além de infectar o nematoide, também teriam produzido metabólitos tóxicos após a aplicação.

Os bioagentes *T. longibrachiatum* (TrichonemateMax®) e *T. asperellum* (TrichobiolMax®) promoveram o aumento da mortalidade de juvenis e adultos superior ao controle químico.

A aplicação de agrotóxicos leva à diminuição da qualidade da matéria orgânica do solo, com isso, a diversidade de microrganismos presentes pode ser afetada. Como esses microrganismos estão associados a vários processos de reciclagem e transformação de nutrientes, qualquer alteração em seu número ou parte pode influenciar na fertilidade do solo. Os pesticidas afetam os microrganismos interferindo em processos essenciais, como crescimento e divisão celular, composição molecular, fotossíntese, respiração e reações biossintéticas (Singh *et al.*, 2020).

Além disso, segundo Mandal *et al.* (2020), o uso inadequado de agroquímicos pode contribuir significativamente para o processo de degradação do solo. Esses produtos químicos podem influenciar várias propriedades físico-químicas do mesmo, como umidade, pH e carbono orgânico. Há evidências que a utilização de altas doses de fertilizantes, de forma prolongada, pode fazer com que os solos se tornem mais ácidos, gerando sérias implicações em termos de produtividade econômica do solo, a longo prazo. É importante ressaltar que o uso desequilibrado ou excessivo de agroquímicos é a causa mais importante da poluição das águas subterrâneas ou corpos d'água de superfície. Muitos agroquímicos são contaminantes persistentes do solo, cujo impacto pode durar décadas e impactar negativamente o esforço de conservação sustentável do solo (Mandal *et al.*, 2020).

O escoamento de compostos sintéticos, contendo nitratos e fosfatos para os recursos hídricos, promove o crescimento de algas que dão origem ao problema de eutrofização e causam a morte de organismos no corpo d'água (Singh *et al.*, 2020).

Os agroquímicos são utilizados para reduzir as pragas com o intuito de elevar a produtividade, no entanto, o uso excessivo desses produtos químicos pode afetar o meio ambiente. Os pesticidas têm impactos negativos sobre os organismos não-alvo, como



plantas e animais, incluindo os microrganismos do solo, insetos, peixes, pássaros e a vida selvagem (Mandal *et al.*, 2020; Singh *et al.*, 2020). Dessa forma, é necessária a adoção de alternativas agrícolas mais sustentáveis e responsáveis, visando reduzir o uso dessas substâncias e os danos à saúde humana e ao meio ambiente (Lorenzatto *et al.*, 2020).

Novas pesquisas devem ser realizadas a fim de se conhecer o comportamento dos microrganismos de biocontrole na cultura da batata para que se obtenha material idôneo e promissor, visando a redução dos fitonematoides e a preservação do sistema solo-planta.

## **Conclusões**

Neste estudo, foi possível observar que os produtos biológicos contendo os agentes de biocontrole, como *T. longibrachiatum*, *B. subtilis*, *E. faecium* e o fertilizante organomineral, foram capazes de reduzir a população de nematoides de segundo instar (J2) no solo. Os bioagentes *T. longibrachiatum* e *T. asperellum*, quando aplicados isolados; e o *B. subtilis*+*E. faecium*+*L. plantarum* foram mais eficientes na redução de adultos e juvenis mortos. Todos os tratamentos, exceto a testemunha, proporcionaram a redução do número de ovos presentes no solo. Contudo, é importante que outras pesquisas sejam realizadas em ambiente controlado e em campo, a fim de se obter mais resultados da supressão populacional e de ovos de nematoides na cultura da batata.

## **Abreviações**

TA: *T. asperellum*; TL: *T. longibrachiatum*; BS+LP+TL: *B. subtilis*+*L. plantarum*+*T. longibrachiatum*; BS+EF+LP: *B. subtilis*+*E. faecium*+*L. plantarum*; FOF: fertilizante orgânico foliar; FOMF: fertilizante organomineral foliar.

## **Agradecimentos**

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB), pela concessão da bolsa de estudo.

## **Contribuições dos autores**

Projeto do experimento: RMN, ARSJ e JSP. Realizou o experimento e analisou os dados. Redação do manuscrito: RMN. Supervisionou o trabalho: ARSJ. Revisou e editou o manuscrito: RMN, ARSJ e JSP. Todos os autores leram e aprovaram a versão final do manuscrito.

## **Financiamento**

Os autores não receberam financiamento.

## **Aprovação ética e consentimento para participar**

Não aplicável.

### **Consentimento para publicação**

O manuscrito não foi publicado completamente ou em parte em outro lugar.

### **Interesses competitivos**

Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

### **Referências**

- Alves KCS, Almeida MEM, Glória JC, Pereira KD, Castro DP, Mariúba LAM (2018). *Bacillus subtilis*: uma versátil ferramenta biotecnológica. *Sci Amazon* 7(2):15-23.
- Akter F, Ahmed GU, Alam MF (2019). *Trichoderma*: a complete tool box for climate smart agriculture. *Madridge J Agri Environ Sci* 2(1):40-43. doi: 10.18689/mjaes-1000107.
- Al-Mughrabi KI, Vikram A, Poirier R, Jayasuriya K, Moreau G (2016). Management of common scab of potato in the field using biopesticides, fungicides, soil additives, or soil fumigants. *Biocontrol Science and Technology* 26(1)1: 125–135. doi: 10.1080/09583157.2015.1079809
- Araújo FF, Silva JFV, Araújo ASF (2002). Influência de *Bacillus subtilis* na eclosão, orientação e infecção de *Heterodera glycines* em soja. *Cienc rural* 32(2):97-203. doi: 10.1590/S0103-84782002000200003.
- Araújo JJS, Muniz MFS, Filho GM, Rocha FS, Cunha e Castro, JM (2018). *Bacillus subtilis* no tratamento de mudas de bananeira infectadas por fitonematoides. *Rev Ceres* 65(1): 099-103. doi: 10.1590/0034-737X201865010013.
- Chagas LFB, Chagas Junior AF, Soares LP, Fidelis RR. (2017). *Trichoderma* na promoção do crescimento vegetal. *Revista de Agricultura Neotropical* 4(3):97-102. doi:10.32404/rean.v4i3.1529
- Chanu LB, Mohilal N, Shah MM (2015). Evaluation of the Efficiency of Some Antagonistic *Trichoderma* spp. in the Management of Plant Parasitic Nematodes. In: Shah MM (ed) *Microbiology in Agriculture and Human Health*. IntechOpen, London.
- Devaux A, Goffart JP, Petsakos A, Kromann P, Gatto M, Okello J, Suarez V, Hareau G (2020). Global Food Security, Contributions from Sustainable Potato Agri-Food Systems. In: Campos H, Ortiz O. (Eds.). *The Potato Crop*, 1<sup>a</sup> ed. Springer, Cham.

- Faria CMDR, Salgado SML, Campos HD, Resende MLV, Campo VP, Coimbra JL (2003). Mecanismos de ataque e defesa na interação nematoide-planta. RAPP 11:373-410.
- Ferreira DF (2014). Sisvar: a guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. Ciên Agrotec 38(2): 109-112.
- Hashem A, Tabassum B, Abd-Allah EF (2019). *Bacillus subtilis*: A plant-growth promoting rhizobacterium that also impacts biotic stress. Saudi J Biol Sci 26: 1291–1297. doi: 10.1016/j.sjbs.2019.05.004
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA. 2022. <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda>
- Jenkins WR (1964). A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. Plant Dis Rep 48:692.
- Khan MR, Ahmad I, Ahamad F (2018). Effect of pure culture and culture filtrates of *Trichoderma* species on root-knot nematode, *Meloidogyne incognita* infesting tomato. Indian Phytopathol 71:265–274. 10.1007/s42360-018-0031-1
- Lopes CA, Melo PE, Rossato M, Pereira AS (2018). Breeding potatoes for resistance to bacterial blight in Brazil: a quick review in face of a more effective screening protocol. Horti bras 36:6-12. doi:10.1590/S0102-053620180102.
- Lorenzatto L, Silva MI, Roman Junior W, Rodrigues Junior S, De Sá C, Corralo V (2020). Rural workers exposure to organophosphates and carbamates. Rev Bras Cien Ambient 55(1):19-31. doi: 10.5327/Z2176-947820200528.
- Mandal A, Sarkar B, Mandal S, Vithanage M, Patra AK, Manna MC (2020). Impact of agrochemicals on soil health. In: Prasad MNV (Eds) Agrochemicals Detection, Treatment and Remediation, 1ªed. Hyderabad, India.
- Marschner P (2012). Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, London.
- Mohamed SK, Darwesh DM (2017). Soil amendments the alternative approach in modern agriculture. Agri Res Tec: Open Access J 4(5):555646. doi: 10.19080/ARTOAJ.2017.04.555646
- Oka Y (2010). Mechanisms of nematode suppression by organic soil amendments-a review. Appl Soil Ecol 44(2):101-115. doi:10.1016/j.apsoil.2009.11.003.
- Pinheiro JB, Silva GO, Pereira RB. Nematoides na cultura da batata. Circular Técnica n. 143, Embrapa Hortaliças, 2015.
- Renčo M (2013). Organic amendments of soil as useful tools of plant parasitic nematodes control. Helminthologia 50(1):3-14. doi:10.2478/s11687-013-0101-y

- Silva JO (2016). Catálogo de insumos naturais e biológicos para uso na agropecuária: representantes e revendas no Distrito Federal e Entorno. EMATER, Brasília.
- Singh D, Singh SK, Modi A, Singh PK, Zhimo VY, Kumar A (2020). Impacts of agrochemicals on soil microbiology and food quality. In: Prasad MNV (ed) Agrochemicals Detection, Treatment and Remediation, 1ª ed. Hyderabad, India.
- Srivastava M, Pandey S, Shahid M, Kumar V, Singh A, Trivedi S, Srivastava YK (2015). *Trichoderma*: a magical weapon against soil borne pathogens. Afr J Agric Res 10(10): 4591-4598. doi: 10.5897/AJAR2015.10192.
- Töfoli JG, Domingues RJ, Ferrari JT, Nogueira EMC (2012). Doenças fúngicas da cultura da batata: Sintomas, etiologia e manejo. Arq Inst Biol 74(1):63-73.
- Toninato BO, Souza DHG, Pontalti PR, Lopes APM, Dias-Arieira CR (2019). *Meloidogyne javanica* control in lettuce with fertilizers applied isolated or associated with biological product. Horticult Bras 37(4): 384-389. doi: 10.1590/S0102-053620190404
- Wang XQ, Zhaol DL, Shen LL, Jing CL, Zhang CS (2018). Application and mechanisms of *Bacillus subtilis* in biological control of plant disease. In: Meena VS (ed.) Role of Rhizospheric Microbes in Soil. Springer Natures, Singapore.
- Zambolim L, Costa H, Vale FXR (2005). Nutrição mineral e patógenos radiculares. In: Michereff SJ, Domingos EGT, Andrade MM (rds.) Ecologia e manejo de patógenos radiculares em solos tropicais, 1ª ed. UFRPE Imprensa Universitária, Pernambuco.
- Zhang S, Gan Y, Xu B (2015). Biocontrol potential of a native species of *Trichoderma longibrachiatum* against *Meloidogyne incognita*. Appl Soil Ecol 94:21–29. doi:10.1016/j.apsoil.2015.04.010
- Zhang S, Gan Y, Ji W, Xu B, Hou B, Liu J (2017). Mechanisms and Characterization of *Trichoderma longibrachiatum* T6 in Suppressing Nematodes (*Heterodera avenae*) in Wheat. Front Plant Sci 8:1-20. doi: 10.3389/fpls.2017.01491.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Os resultados desta pesquisa acerca do uso de agentes de controle biológico no manejo da sarna comum (*Streptomyces* spp.) e nematoides na cultura da batata confirmaram que os bioagentes são uma alternativa sustentável para reduzir os danos diretos e indiretos ocasionados pela sarna, bem como possibilitam a diminuição da população de nematoides presentes no solo. Além disso, foi possível obter mais informações sobre a utilização desses bioagentes para que os produtores tenham maior clareza sobre a eficiência dos bioprodutos e a frequência de aplicação que lhes permitam ter resultados favoráveis no controle da doença.

É essencial que outros estudos sejam desenvolvidos para avaliar a eficácia desses bioagentes em condições de campo, em locais diversos; bem como sobre a aceitação e forma de aplicação dos pequenos, médios e grandes produtores dos produtos biológicos, minimizando, dessa forma, a utilização dos produtos químicos durante a produção de tubérculos e contribuindo com a sustentabilidade ambiental e segurança alimentar.