

INSTITUTO FEDERAL GOIANO DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
CENTRO DE EXCELÊNCIA EM BIOINSUMOS
COORDENAÇÃO DE CAPACITAÇÃO EM BIOINSUMOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *lato sensu* EM BIOINSUMOS
IF GOIANO CAMPUS CAMPOS BELOS

MARIA SUENIA NUNES DE MORAIS

**CONTROLE DE QUALIDADE DO SISTEMA *ON FARM*: ANÁLISES ESTATÍSTICAS COM
BASE EM LAUDOS TÉCNICOS E AVALIAÇÃO EM CAMPO DO MICRORGANISMO *Bacillus*
*subtilis***

CAMPOS BELOS, GO

2025

MARIA SUENIA NUNES DE MORAIS

**CONTROLE DE QUALIDADE DO SISTEMA *ON FARM*: ANÁLISES ESTATÍSTICAS COM
BASE EM LAUDOS TÉCNICOS E AVALIAÇÃO EM CAMPO DO MICRORGANISMO *Bacillus
subtilis***

Monografia apresentada à Banca
Examinadora do Curso de Pós graduação lato
sensu em Bioinsumos Instituto Federal
Goiano como exigência parcial para obtenção
do título de especialista.

Orientador: Prof. Dr. Romario Victor Pacheco Antero

CAMPOS BELOS, GO

2025

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema Integrado de Bibliotecas do IF Goiano - SIBi**

M828c Morais, Maria Suenia Nunes de
 Controle de Qualidade do Sistema On Farm: Análises Estatísticas
 com Base em Laudos Técnicos e Avaliação em Campo do
 Microrganismo *Bacillus subtilis* / Maria Suenia Nunes de
 Morais. Campos Belos 2025.

 39f. il.

 Orientador: Prof. Dr. Romário Victor Pacheco Antero.
 Monografia (Especialista) - Instituto Federal Goiano, curso de
0630426 - Especialização em Bioinsumos - Campos Belos
(Campus Campos Belos).
 1. Agricultura. 2. Insumos. 3. Microrganismos. 4. Produção. 5.
Sustentável. I. Título.

Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Documentos 175/2025 - UE-CB/GE-CB/CMPCBE/IFGOIANO

Regulamento de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) 3 CEBIO/IF Goiano

ANEXO V - ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Aos doze dias do mês de setembro de dois mil e vinte e cinco, às 17 horas, reuniu-se a Banca Examinadora composta por: **Prof. Dr. Romário Victor Pacheco Antero**, **Dra. Jéssica de Sá Guimarães** e **Prof. Dr. André Lima Ferreira**, para examinar o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado **"Controle de Qualidade do Sistema On Farm: Análises Estatísticas com Base em Laudos Técnicos e Avaliação em Campo do Microrganismo *Bacillus subtilis*"** de **Maria Suenia Nunes de Moraes**, estudante do curso de Especialização em Bioinsumos do IF Goiano – Campus Campos Belos, sob Matrícula nº 2024106304260008. A palavra foi concedida à estudante para a apresentação oral do TC, em seguida houve arguição do candidato pelos membros da Banca Examinadora. Após tal etapa, a Banca Examinadora decidiu pela **APROVAÇÃO** do(a) estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata, que, após apresentação da versão corrigida do TC, foi assinada pelos membros da Banca Examinadora.

(Assinado Eletronicamente)

Prof. Dr. Romário Victor Pacheco Antero | Orientador e Presidente da Banca Examinadora
IF Goiano – Campus Campos Belos

(Assinado Eletronicamente)

Prof. Dr. André Lima Ferreira
IF Goiano – Campus Campos Belos

(Assinado Eletronicamente - Via GovBr)
Dra. Jéssica de Sá Guimarães (membro externa) -
EMBRAPA | Recursos Genéticos e Biotecnologia



Documento assinado eletronicamente
JESSICA DE SA GUIMARAES PEREIRA
CPF: 04.760.083.1421-43-0000
verifique em: <https://verifica.gov.br>

Documento assinado eletronicamente por:

- **Romário Victor Pacheco Antero, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO**, em 14/09/2025 15:48:55.
- **André Lima Ferreira, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO**, em 14/09/2025 16:02:17.

Este documento foi emitido pelo SIAP em 14/09/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://sua.ifpb.edu.br/autenticar-documento/> e informe os dados abaixo:

Código Verificador: 744127

Código de Autenticação: e0d300b622



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Campos Belos

Rodovia GO-119 Qd. 1-A Lt. 1 Caixa Postal. 1, Setor Novo Horizonte, CAMPOS BELOS / GO, CEP 73.840-000

(62) 3451-3399

Dedico este trabalho à minha
família, que sempre acreditou
em mim, oferecendo amor,
apoio e força em todos os
momentos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela força, sabedoria e saúde concedidas ao longo desta caminhada.

À minha companheira Sarah Oliveira, que esteve ao meu lado nos momentos bons e nos desafiadores, oferecendo amor, apoio e motivação constantes e minha família em geral.

Agradeço também ao programa de pós-graduação em Bioinsumos, e às instituições de apoio FAPEG, FUNAPE, IF GOIANO e CEBIO, que contribuíram significativamente para minha trajetória acadêmica e profissional.



“Tudo posso naquele que me fortalece.”

Filipenses 4:13

BIOGRAFIA DO ALUNO

Maria Suenia Nunes de Moraes é natural do estado da Paraíba. Tem formação como Técnica em Manutenção e Suporte em Informática pelo Instituto Federal da Paraíba (IFPB), Bacharel em Engenharia de Biotecnologia e Bioprocessos pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campus Sumé – PB, com experiência em Modelagem e Simulação de Processos Fermentativos. Mestra em Engenharia Química (Conceito CAPES 4), pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), com ênfase na implementação da Otimização em Tempo Real em Processos Fermentativos e Bioquímicos, utilizando a Metamodelagem. Experiência no uso de Matlab para modelar e simular processos fermentativos, com ênfase na otimização e no controle de processos fermentativos e bioquímicos. Concluiu a especialização em Análises Químicas Ambientais pela Universidade Federal de Catalão – UFCAT. Atualmente, atua em uma empresa privada no segmento de bioinsumos On Farm, exercendo a função de Consultora de Qualidade. Seus principais interesses de pesquisa concentram-se na interação de bioinsumos, com experiência no setor industrial de biológicos, atuando como Consultora de Qualidade nas culturas de soja e milho, além de possuir conhecimento e prática em bioinsumos e multiplicação On Farm.

RESUMO

O presente estudo avaliou a produção e o controle de qualidade do microrganismo *Bacillus subtilis* em sistema *On Farm*, visando assegurar sua viabilidade, segurança e eficácia agronômica. A abordagem metodológica foi elaborada através do uso de ferramentas estatísticas, como a análise de Regressão múltipla, análise de correlação de *Pearson*, ANOVA, tabelas dinâmicas e análise de frequência, através da coleta de dados envolvendo laudos técnicos e resultados de validações em campo. O controle de qualidade abrangeu desde a análise morfológica ao microscópio, fundamental para confirmar a identidade e a pureza do microrganismo, até o monitoramento de parâmetros microbiológicos e ambientais, como unidades formadoras de colônia (UFC/mL), esporulação, pH, temperatura, presença de contaminação e erros de processo. Os resultados indicaram que a temperatura final e o pH inicial apresentam correlação positiva significativa com a concentração de *B. subtilis*, enquanto falhas operacionais aumentam o risco de contaminação e reduzem a viabilidade do microrganismo. Ensaio em campo demonstraram eficácia no controle de nematoides fitopatogênicos (*Meloidogyne javanica* e *Pratylenchus brachyurus*) e contribuíram para aumento da produtividade de milho e soja, além de melhorar a uniformidade e resistência das plantas. Concluiu-se que o controle de qualidade estruturado do sistema *On Farm* garante desempenho comparável a produtos comerciais, constituindo uma alternativa sustentável, econômica e viável para os agricultores.

Palavras-chave: Agricultura. Insumos. Microrganismos. Produção. Sustentável.

ABSTRACT

The present study evaluated the production and quality control of the microorganism *Bacillus subtilis* in an on-farm system, aiming to ensure its viability, safety, and agronomic efficacy. The methodological approach was developed using statistical tools such as multiple regression analysis, Pearson's correlation analysis, ANOVA, pivot tables, and frequency analysis, through data collection involving technical reports and field validation results. Quality control ranged from morphological analysis under a microscope, essential for confirming the microorganism's identity and purity, to the monitoring of microbiological and environmental parameters, such as colony-forming units (CFU/mL), sporulation, pH, temperature, contamination, and process errors. The results indicated that final temperature and initial pH have a significant positive correlation with *B. subtilis* concentration, while operational errors increase the risk of contamination and reduce the microorganism's viability. Field trials demonstrated efficacy in controlling plant pathogenic nematodes (*Meloidogyne javanica* and *Pratylenchus brachyurus*) and contributed to increased corn and soybean productivity, in addition to improving plant uniformity and resistance. The conclusion is that the structured quality control of the On Farm system guarantees performance comparable to commercial products, constituting a sustainable, economical, and viable alternative for farmers.

Keyword: Agriculture. Inputs. Microorganisms. Production. Sustainable.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Coeficientes de correlação de Pearson (r) entre variáveis e a concentração de <i>Bacillus subtilis</i> produzidos on farm	31
Tabela 2 - Coeficientes de regressão.....	32
Tabela 3 - Quantificação de Erros Operacionais com Base na Concentração e Presença de Outras Colônias (UFC/mL).....	35

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Relação entre pH e concentração de <i>Bacillus subtilis</i> (UFC/mL), com ajuste por regressão polinomial de segunda ordem.....	34
Figura 2 - Aplicação de <i>Bacillus subtilis</i> no sulco de plantio e efeito na população de nematoides em milho e soja	36

SUMÁRIO

RESUMO	11
ABSTRACT	12
LISTA DE TABELAS	13
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	14
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	16
2. OBJETIVOS	19
3. CAPÍTULO 1.....	21
4. CONCLUSÕES.....	38

1. INTRODUÇÃO GERAL

A demanda por insumos biológicos, ou bioinsumos, vem crescendo no Brasil seguindo uma tendência mundial. Nesse contexto, a produção de microrganismos pelo sistema *on farm* vem se tornando uma alternativa valiosa para o produtor rural. É um método que apresenta diminuição dos custos, devido à produção de bioinsumos dentro da própria fazenda, além da produção em grande escala (LORENCETTI, 2021). Esses microrganismos naturais são utilizados para melhorar a saúde do solo e das plantas. Essa produção se dá por meio da multiplicação de produtos comerciais adquiridos no mercado ou de pré-inóculos preparados e vendidos por empresas especializadas, que também podem comercializar a infraestrutura empregada nesse tipo de produção (EMBRAPA, 2021).

A produção de bactérias e fungos no sistema *on farm* nas fazendas apresenta algumas vantagens em relação a produtos comerciais. Entre elas, destaca-se a redução do uso de insumos químicos, redução de custos com agrotóxicos e fertilizantes, diminuindo assim o impacto ambiental e contribuindo para a preservação do meio ambiente. Além disso, possibilita cultivos agrícolas sustentáveis, a partir de produtos que já existem na natureza. Também promove aumento da produtividade e da segurança alimentar. O mais importante é a diminuição dos custos para o produtor, devido à produção interna, produção em maiores quantidades e à falta de custos de transporte e armazenamento (LORENCETTI, 2021).

A utilização de microrganismos multiplicados diretamente nas fazendas pode aumentar a eficácia da produção e da aplicação na lavoura, deste que seja realizado um controle de qualidade na sua produção e pós-produção. Tal controle visa garantir a eficácia, do produto, minimizando os riscos de contaminação e degradação dos microrganismos durante o transporte e armazenamento. Dessa forma, tem-se um controle mais preciso sobre as condições de produção, ocasionando produtos mais frescos (microrganismos recém produzidos) e adaptados às necessidades da lavoura.

Esse controle mais preciso deve englobar a avaliação morfológica ao microscópio, o monitoramento de parâmetros microbiológicos e ambientais (UFC/mL, pH, temperatura, esporulação e presença de contaminações). Também envolve a adoção de boas práticas de assepsia no processo produtivo e a redução do tempo entre a multiplicação e a aplicação em campo, assegurando a viabilidade e a eficiência

agronômica do microrganismo.

Para assegurar que os microrganismos produzidos funcionem bem e sejam seguros, o controle de qualidade é essencial. Através dele, pode-se confirmar se os produtos não possuem impurezas, se estão viáveis e se suas propriedades biológicas foram mantidas. Garante também que os microrganismos conservem sua capacidade de ação e de adaptação, evitando perdas durante o transporte, armazenamento ou aplicação na lavoura.

Para minimizar essas perdas, é importante controlar a temperatura e proteger os produtos da luz direta e do oxigênio excessivo, reduzir o tempo entre produção e aplicação, utilizando equipamentos adequados que permitam sua aplicação imediata, evitando armazenamento em recipientes improvisados ou manuseio inadequado. Assim, o agricultor consegue ter acesso a produtos mais seguros, uniformes e eficientes, elevando a produção reduzindo riscos e promovendo práticas agrícolas sustentáveis (SOUSA, 2023).

Segundo Sousa (2023), a produção de microrganismos benéficos *on farm* envolve desafios que vão desde a higienização correta dos equipamentos, geralmente realizada com reagentes químicos, até a aplicação final no campo. A assepsia precisa ser conduzida de forma adequada para garantir a limpeza do processo e evitar riscos à saúde dos trabalhadores e ao meio ambiente; da mesma forma, a matéria-prima deve ser rigorosamente higienizada antes do uso, prevenindo contaminações. Além disso, é essencial manter um controle rigoroso de todo o processo de produção e aplicação, já que a utilização de doses insuficientes pode reduzir a eficácia no combate a pragas e doenças, comprometendo a produtividade da lavoura. Esses obstáculos, contudo, podem ser superados por meio da qualificação profissional, investimentos em pesquisa, adoção de protocolos de segurança e cumprimento de normas específicas, assegurando tanto a qualidade do bioinsumo quanto a sustentabilidade da prática. Os tais desafios podem ser resolvidos por meio da qualificação profissional, estudos na área, protocolos de segurança e normas apropriadas.

Este estudo tem como foco a avaliação da qualidade do *Bacillus subtilis* produzido no sistema *On Farm*, considerando tanto análises laboratoriais quanto observações de campo. A pesquisa buscou verificar a capacidade de sobrevivência, crescimento e estabilidade do microrganismo em condições reais de produção, analisando variáveis como temperatura, pH, procedimentos operacionais, fatores externos (como quedas de energia e falhas de limpeza) e possíveis contaminações. Para isso, foram utilizados laudos

técnicos e ferramentas estatísticas, de modo a garantir a consistência e a confiabilidade dos resultados. Tendo como hipótese se o controle de qualidade estruturado no sistema *On Farm* pode garantir a viabilidade e eficácia do *Bacillus subtilis* comparável a produtos comerciais.

2. OBJETIVOS

Geral:

O objetivo geral deste projeto é avaliar o controle de qualidade do *Bacillus subtilis* em sua produção *on farm*, utilizando laudos técnicos e observações realizadas no campo para construção de uma base de dados, aplicando análise estatística, para garantir a consistência e eficácia das práticas de produção.

ESPECÍFICOS:

Coletar laudos técnicos de várias fazendas que utilizam o sistema *on farm*, da produção do *Bacillus subtilis*, esses laudos foram obtidos por meio de um aplicativo que disponibiliza os resultados técnicos das produções, permitindo a formação de uma base de dados.

Avaliar as condições de cultivo e manejo do *Bacillus subtilis* em diferentes fazendas;

Utilizar análise estatística para comparar os dados de produção;

Estabelecer uma metodologia de controle de qualidade para ser aplicada de forma padronizada nas fazendas, baseada em laudos e testes estatísticos.

Fornecer recomendações baseadas nos dados estatísticos para otimizar a produção e melhorar a consistência da qualidade do *Bacillus subtilis* nas fazendas.

FOLHA DE ROSTO

Controle de Qualidade do Sistema *On Farm*: Análises Estatísticas com Base em Laudos Técnicos e Avaliação em Campo do Microrganismo *Bacillus subtilis*

MORAIS, Maria Suenia Nunes de¹; ANTERO, Romario Victor Pacheco²

VINCULO INSTITUCIONAL

¹ Discente do Programa de Pós-Graduação lato sensu em Bioinsumos, Instituto Federal Goiano - Campus Campos Belos (IF Goiano - CBE)

² Docente do Programa de Pós-Graduação lato sensu em Bioinsumos, Instituto Federal Goiano - Campus Campos Belos (IF Goiano - CBE)

REVISTA PARA A QUAL O ARTIGO SERÁ SUBMETIDO

Global Science and Technology – Revista Multidisciplinar

CLASSIFICAÇÃO DA REVISTA SEGUNDO A CAPES (QUALIS)

Qualis A4 – Área de Ciências Agrárias I e Interdisciplinar (última avaliação quadrienal)

FATOR DE IMPACTO (JCR)

A revista não possui fator de impacto JCR, mas é indexada em bases como Google Scholar e DOAJ.

3. CAPÍTULO I

Controle de Qualidade do Sistema *On Farm*: Análises Estatísticas com Base em Laudos Técnicos e Avaliação em Campo do Microrganismo *Bacillus subtilis*

Resumo: O presente estudo avaliou a produção e o controle de qualidade do microrganismo *Bacillus subtilis* em sistema *On Farm*, visando assegurar sua viabilidade, segurança e eficácia agrônômica. A abordagem metodológica foi elaborada através do uso de ferramentas estatísticas, como a análise de Regressão múltipla, análise de correlação de *Pearson*, ANOVA, tabelas dinâmicas e análise de frequência, através da coleta de dados envolvendo laudos técnicos e resultados de validações em campo. O controle de qualidade abrangeu desde a análise morfológica ao microscópio, fundamental para confirmar a identidade e a pureza do microrganismo, até o monitoramento de parâmetros microbiológicos e ambientais, como unidades formadoras de colônia (UFC/mL), esporulação, pH, temperatura, presença de contaminação e erros de processo. Os resultados indicaram que a temperatura final e o pH inicial apresentam correlação positiva significativa com a concentração de *B. subtilis*, enquanto falhas operacionais aumentam o risco de contaminação e reduzem a viabilidade do microrganismo. Ensaio em campo demonstraram eficácia no controle de nematoides fitopatogênicos (*Meloidogyne javanica* e *Pratylenchus brachyurus*) e contribuíram para aumento da produtividade de milho e soja, além de melhorar a uniformidade e resistência das plantas. Concluiu-se que o controle de qualidade estruturado do sistema *On Farm* garante desempenho comparável a produtos comerciais, constituindo uma alternativa sustentável, econômica e viável para os agricultores.

Palavras-chave: Agricultura. Insumos. Microrganismos. Produção. Sustentável.

Abstract: The present study evaluated the production and quality control of the microorganism *Bacillus subtilis* in an on-farm system, aiming to ensure its viability, safety, and agronomic efficacy. The methodological approach was developed using statistical tools such as multiple regression analysis, Pearson's correlation analysis, ANOVA, pivot tables, and frequency analysis, through data collection involving technical reports and field validation results. Quality control ranged from morphological analysis under a microscope, essential for confirming the microorganism's identity and purity, to the monitoring of microbiological and environmental parameters, such as colony-forming units (CFU/mL), sporulation, pH, temperature, contamination, and process errors. The results indicated that final temperature and initial pH have a significant positive correlation with *B. subtilis* concentration, while operational errors increase the risk of contamination and reduce the microorganism's viability. Field trials demonstrated efficacy in controlling plant pathogenic nematodes (*Meloidogyne javanica* and *Pratylenchus brachyurus*) and contributed to increased corn and soybean productivity, in addition to improving plant uniformity and resistance. The conclusion is that the structured quality control of the On Farm system guarantees performance comparable to commercial products, constituting a sustainable, economical, and viable alternative for farmers.

Key-words: Agriculture. Inputs. Microorganisms. Production. Sustainable.

3.1 REVISÃO DA LITERATURA

3.1.1 Bioinsumos e sua relevância na agricultura sustentável

No contexto agrícola, bioinsumos são produtos de origem vegetal, animal ou microbiana, destinada ao uso na produção e beneficiamento de produtos agropecuários, lavouras, florestas plantadas e que interfiram positivamente na agricultura sustentável (VIDAL, 2023). Nesse aspecto, de acordo com o decreto nº 10.375, de 26 de maio de 2020, que disciplina sobre o Marco Regulatório Relacionado aos Bioinsumos, tais produtos são considerados como:

...produto, processo ou a tecnologia de origem vegetal, animal ou microbiana, destinado ao uso na produção, no armazenamento e no beneficiamento de produtos agropecuários, nos sistemas de produção aquáticos ou de florestas plantadas, que interfiram positivamente no crescimento, no desenvolvimento e no mecanismo de resposta de animais, de plantas, de microrganismos e de substâncias derivadas e que interajam com os produtos e os processos físico-químicos e biológicos (BRASIL, 2020, p. 105).

Nesse cenário, o conceito de bioinsumos tem ganhado cada vez mais destaque nas últimas décadas, impulsionando o avanço da agricultura sustentável ao possibilitar uma produção de alimentos mais eficiente e ao mesmo tempo respeitosa com os recursos naturais. Essa prática tem elevado a produtividade agrícola sem comprometer a saúde ambiental, além de favorecer a fertilidade do solo e fortalecer sistemas produtivos mais equilibrados e duradouros (CORRÊA, 2025).

As propriedades dos bioinsumos também estão associadas à sua capacidade de estimular a biodiversidade e favorecer a resiliência dos ecossistemas. Nesse contexto, favorecem as atividades do solo, como a ciclagem de nutrientes, tolerância ao estresse, crescimento, fixação biológica de nitrogênio e controle de patógenos de solo. Também atuam no controle de insetos e pragas, e protegem contra doenças foliares, proporcionando resultados em colheitas mais saudáveis e menos dependentes de produtos químicos (SOUSA, 2024).

A agricultura sustentável engloba práticas que preservam os recursos naturais e sociais, nisso os bioinsumos conseguem promover a biodiversidade, desenvolvimento de culturas mais resilientes e adaptadas às mudanças climáticas, manutenção e saúde do solo, mostrando-se eficientes em comparação aos produtos químicos, diminuindo problemas ambientais, tornando-se um modelo sustentável e equilibrado, além de estreitar a relação entre agricultor e o consumidor, incentivando o consumo consciente (MIRANDA *et al.*, 2024).

3.1.2 *Bacillus subtilis*

O *Bacillus subtilis* é uma bactéria benéfica amplamente utilizada na agricultura como agente de biocontrole assim como para aumentar a produtividade de culturas, atuando na produção de enzimas e antibióticos contra fitopatógenos, auxiliando no desenvolvimento de raiz através da promoção do crescimento vegetal, além de dificultar o parasitismo de nematoides pela criação de biofilme na raiz da cultura (PESSOA JÚNIOR, 2023). O *Bacillus subtilis* é uma bactéria Gram-positiva não patogênica, que forma esporos com formato cilíndrico ou elipsoidal (MONNERAT, 2023). É largamente empregada na produção de enzimas extracelulares em escala mundial, podendo ter diferentes colorações (do esbranquiçado ao preto, dependendo do meio de cultura utilizado). Localiza-se principalmente no solo e na rizosfera, proporcionando proteção contra vários agentes causadores de doenças. Ademais ela também produz biofilmes que ajudam na prevenção das raízes das plantas cultivadas na lavoura contra nematoides.

O uso de *Bacillus subtilis* vem crescendo na agricultura moderna, sendo uma solução biológica eficaz para melhorar a saúde do solo e a produtividade das culturas. Esse microrganismo consegue colonizar a rizosfera das plântulas através do consumo de seus exsudados, formando um biofilme, dificultando o reconhecimento pelos nematoides. Formando uma barreira física e bioquímica, conseguindo produzir enzimas e antibióticos capazes de inibir o desenvolvimento dos nematoides que estão presentes no solo. Além do mais seus mecanismos de ação incluem ainda a competição por nutrientes e espaço, além do parasitismo de outros microrganismos patogênicos. Os microrganismos utilizados como bioinsumos não apresentam risco a comunidade ou indivíduo, ou seja, agentes biológicos que possuem baixa probabilidade de provocar infecções no homem ou em animais (CARVALHO, 2005).

Bacillus subtilis é uma rizobactéria promotora de crescimento de plantas (PGPR) amplamente utilizada na agricultura por atuar como biofertilizante e agente de biocontrole. Seu potencial está associado a diferentes mecanismos, como o antagonismo a patógenos, a indução da resistência sistêmica nas plantas (ISR), a regulação hormonal e a modulação do microbioma. Diversos estudos têm demonstrado sua eficácia em culturas como tomate e arroz, tanto na prevenção de doenças, como a requeima, quanto no aumento da eficiência do uso de nitrogênio, contribuindo de forma significativa para a produtividade agrícola (MOLINA SANTIAGO *et al.*, 2019).

3.1.3 Sistema *On Farm*: vantagens e desafios na produção de bioinsumos

O sistema *on farm* consiste na produção de bioinsumos realizada diretamente pelos produtores rurais em suas propriedades, com o objetivo de uso próprio. Nesse processo, os agricultores multiplicam microrganismos benéficos, como bactérias, vírus e fungos, que contribuem para o controle de pragas e doenças, além de favorecerem o crescimento das plantas. Essa prática, que vem se consolidando como alternativa sustentável para a agricultura, possui respaldo legal por meio do Decreto nº 10.833, de 08 de outubro de 2021 (BRASIL, 2021).

Os insumos produzidos a partir do sistema *on farm* são aplicados diretamente nas lavouras, substituindo ou complementando defensivos e fertilizantes convencionais, com foco em práticas mais sustentáveis e de menor custo. A adesão dos produtores pela prática de produção desses biológicos vem crescendo a cada ano, devido ao aumento da incidência de doenças, principalmente as de solos, bem como pelo alto valor dos produtos biológicos comerciais em comparação aos defensivos químicos convencionais e ao interesse cada vez maior dos produtores pelo manejo sustentável das lavouras (ROSA, 2023).

A produção de bioinsumos *on farm* traz uma série de benefícios em relação aos produtos comerciais, sendo o mais evidente a redução de custos, já que o agricultor pode produzir insumos em maior quantidade e com menor investimento. Além da economia, essa prática ainda garante autonomia, permitindo ao produtor controlar melhor o que utiliza em sua lavoura e, ao mesmo tempo, adquirir novos conhecimentos técnicos. Também favorece a sustentabilidade, ao melhorar a qualidade do solo e promover a biodiversidade, fortalecendo práticas agrícolas mais responsáveis. Outro ponto positivo é a flexibilidade, pois o agricultor pode adaptar a produção às necessidades específicas da sua propriedade.

Somado a isso, há a redução de desperdícios, já que é possível produzir apenas a quantidade necessária de insumos, e a resiliência econômica, com menor dependência das flutuações de preço e da disponibilidade de insumos no mercado (MONNERAT, 2020; PEREIRA, 2022; PESSOA JÚNIOR, 2023).

A produção de bioinsumos *on farm* traz uma série de benefícios em relação aos produtos comerciais, sendo o mais evidente a redução de custos, já que o agricultor pode produzir insumos em maior quantidade e com menor investimento. Além da economia, essa prática ainda garante autonomia, permitindo ao produtor controlar melhor o que utiliza em sua lavoura e, ao mesmo tempo, adquirir novos conhecimentos técnicos. Embora o produtor possa realizar boa parte da produção e aplicação com treinamento adequado, para garantir controle de qualidade completo e

minimizar riscos de contaminação ou perda de viabilidade, a presença de um profissional qualificado é recomendada (POLICARPO *et. all.*, 2025).

Também favorece a sustentabilidade, ao melhorar a qualidade do solo e promover a biodiversidade, fortalecendo práticas agrícolas mais responsáveis. Outro ponto positivo é a flexibilidade, pois o agricultor pode adaptar a produção às necessidades específicas da sua propriedade. Somado a isso, há a redução de desperdícios, já que é possível produzir apenas a quantidade necessária de insumos, e a resiliência econômica, com menor dependência das flutuações de preço e da disponibilidade de insumos no mercado (MONNERAT, 2020; PEREIRA, 2022; PESSOA JÚNIOR, 2023).

A produção de microrganismos em sistemas *on farm* apresenta especificidades em relação aos processos realizados em biorreatores industriais, visto que muitos parâmetros, como pH e temperatura, não são rigidamente controlados. Dessa forma, torna-se essencial adotar protocolos de higienização por meio de uma assepsia rigorosa, monitoramento e padronização, a fim de reduzir riscos de contaminação e garantir a viabilidade do produto final.

No estudo de MONNERAT (*et al.*, 2025), são discutidos aspectos cruciais da produção de bactérias em biofábricas. Entre os principais pontos, destaca-se a higienização do tanque e de seus componentes, que devem passar por uma limpeza completa antes do início da multiplicação. Para retirada física de impurezas, indica-se usar detergentes alcalinos e ácidos, para remover camadas biológicas e resquícios de multiplicações anteriores, diminuindo o perigo de contaminações cruzadas. Outro aspecto crucial é o padrão da água da multiplicação, que deve apresentar baixa carga microbiana e ausência de poluentes, pois sua qualidade impacta diretamente no crescimento bacteriano. Quando necessário, aplicam-se métodos físicos ou químicos de purificação para assegurar que a água esteja adequada ao processo produtivo. Atualmente, o controle da qualidade da água é realizado principalmente por meio da cloração, utilizando cloro como agente químico para eliminação de microrganismos indesejáveis.

O meio de cultura também desempenha papel central no sucesso da multiplicação, sendo formulado conforme a espécie bacteriana desejada. Além disso, ajustes de pH próximos à neutralidade ajudam na multiplicação do *Bacillus subtilis*. Outro ponto abordado é a qualidade do inóculo, que deve apresentar pureza microbiológica e concentração mínima de $1,0 \times 10^8$ UFC/mL, critérios que asseguram a viabilidade inicial do processo. Para isso, é preciso realizar testes de qualidade, incluindo análises microbiológicas e validação da concentração. A etapa de multiplicação nas biofábricas inicia-se com o tanque devidamente higienizado, adição do antiespumante, meio de cultura e ajuste do pH próximo a 7,0, seguido pela inoculação. Durante o processo, parâmetros como pH e temperatura devem ser monitorados, sendo que o

acompanhamento é feito por meio de análises microscópicas e plaqueamento em intervalos de 8, 16 e 24 horas, podendo se estender até 48 horas, dependendo da espécie bacteriana (MONNERAT, 2025).

3.1.4 Métodos de controle de qualidade e parâmetros microbiológicos de bioinsumos

O controle de qualidade dos bioinsumos representa uma ferramenta de garantia da qualidade, abrangendo uma sequência de processos e métodos preventivos para garantir a segurança, eficiência e factibilidade do produto final. O controle serve para garantir as normas, especificações e garantias descritas na legislação brasileira para cada microrganismo, na qual, os métodos utilizados são baseados principalmente na Instrução Normativa do Ministério da Agricultura e Pecuária (Mapa), e os parâmetros microbiológicos são de suma importância para avaliar a presença e viabilidade de microrganismos, tanto benéficos quanto patogênicos, que podem afetar a qualidade e a eficiência do bioinsumo (FERREIRA *et al.*, 2024).

Atualmente, os principais métodos de controle de qualidade aplicados na produção de bioinsumos incluem diversas técnicas complementares. Entre elas, destacam-se: a contagem de microrganismos viáveis, realizada por plaqueamento em meio de cultura com a técnica de semeadura em placa; a caracterização molecular, por meio da identificação específica do microrganismo e do monitoramento de sua estabilidade genética, utilizando ferramentas como PCR, qPCR e sequenciamento de DNA (FERREIRA *et al.*, 2024), além dos testes de pureza, que envolvem isolamento em meios seletivos e observações morfológicas e bioquímicas.

Também são empregados os testes de esterilidade, com incubação em meios não seletivos sob diferentes condições; os testes de viabilidade e de estabilidade, que verificam a manutenção da formulação ao longo do tempo; a avaliação da atividade biológica; e as análises físico-químicas, entre outros procedimentos que asseguram a qualidade do produto final (ABDI; ABIHPEC; SEBRAE, 2015).

Para a execução desses métodos, é fundamental avaliar parâmetros microbiológicos específicos, que permitem verificar se o bioinsumo atende aos padrões de qualidade exigidos. Entre esses parâmetros, destacam-se a identificação do microrganismo, a concentração de microrganismos viáveis e de esporos (no caso de microrganismos esporulados), a pureza, temperatura, a medição do pH, e a ausência de microrganismos patogênicos, entre outros. A análise

desses parâmetros assegura que os microrganismos presentes no bioinsumo mantenham sua viabilidade, atividade biológica e segurança para uso agrícola (ABDI; ABIHPEC; SEBRAE, 2015).

3.1.5 Análises estatísticas aplicadas ao controle de qualidade de microrganismos

A Estatística é a ciência que estuda a variabilidade apresentada pelos dados, permitindo, a partir deles, formular conclusões e expressar o grau de confiança que se deve atribuir a essas inferências (FERNANDES, 2015). As análises estatísticas, juntamente com os demais procedimentos de controle, garantem a confiabilidade dos resultados apresentados, representando a integração de todos os sistemas e medidas destinados a assegurar a qualidade do resultado final (CHAVES, 2010).

A análise estatística aplicada ao controle de qualidade de microrganismos exerce um papel importante a partir da qual de ferramentas estatísticas conseguem avaliar se os níveis de microrganismos estão dentro dos limites aceitáveis, garantindo a segurança e qualidade dos produtos e processos, ou seja, é determinante para criar uma base sólida de dados, ajudando a identificar quais fatores impactam tanto a produção quanto a qualidade do microrganismo (PEDRO; BARBOZA; COSTA, 2024). No contexto do *Bacillus subtilis* produzido em sistema *On Farm*, essa abordagem se torna ainda mais relevante, uma vez que a produção envolve múltiplos parâmetros microbiológicos, como concentração de células vegetativas, esporulação, contaminação e morfologia celular, além de fatores operacionais como temperatura, pH, oxigenação e tempo de multiplicação.

Dessa forma, a análise estatística aplicada ao controle de qualidade de microrganismos não se limita à avaliação de conformidade com padrões, mas atua como ferramenta estratégica para garantir a qualidade, eficiência e segurança do bioinsumo, identificar fatores críticos de produção, prever resultados e validar o desempenho em campo, consolidando uma base sólida de conhecimento para a melhoria contínua do processo (PEDRO; BARBOZA; COSTA, 2024).

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Local e período do estudo

O estudo foi conduzido com base na coleta de dados envolvendo laudos técnicos e resultados de validações em campo, disponibilizados pela empresa Solubio® Tecnologias Agrícolas, especializada em soluções completas para produção e aplicação de bioinsumos na fazenda (*On Farm*). As atividades experimentais foram realizadas em ambientes agrícolas operando sob o sistema *On Farm* de produção de *Bacillus subtilis*, localizados em diferentes propriedades rurais no Brasil, sob acompanhamento técnico da empresa. O período de execução da pesquisa compreendeu de outubro de 2022 a abril de 2025, abrangendo fases de produção, controle de qualidade microbiológica e avaliação agrônômica dos resultados em campo ao longo de diferentes safras.

3.2.2 Produção do *Bacillus subtilis* no sistema *On Farm*

A produção *on farm* do microrganismo *Bacillus subtilis* foi realizada em biofábricas instaladas em propriedades rurais, com capacidades para produção de 500 L, 1000L, 1500L e 2000L, realizada com insumos fornecidos pela empresa Solubio®, tais como: meio de cultura, anti-espuma e inóculo do microrganismo alvo. Durante o processo de multiplicação, as condições de cultivo utilizadas para o microrganismo foram: temperatura controlada na faixa de 28°C a 37°C; bomba com rotação de 3.480 rpm; pH mantido entre 6,5 e 7,5; compressor com rotação de 3.320 rpm; oxigenação acima de 20% e controle de espuma quando necessário. O tempo total de multiplicação é de 24 horas, com amostragens realizadas ao final (MONNERAT, 2023).

A produção do *Bacillus subtilis* em Biofabricas *on farm* segue os princípios básicos de boas práticas microbiológicas. O procedimento de acordo com Monnerat (*et al.*, 2025) inicia-se com:

- Sanitização dos equipamentos - limpeza rigorosa com detergentes e ácidos, sanitizantes adequados, para eliminar resíduos de produções anteriores e biofilmes.
- Preparação da água e do meio de cultura - avaliação da qualidade da água e formulação do meio conforme exigências nutricionais da bactéria, com pH entre 6,5 e 7,5.
- Inoculação: adição de inóculo puro e concentrado (concentração mínima de $1,0 \times 10^8$ UFC/mL).

- Cultivo e condições de multiplicação - manutenção da temperatura entre 28 °C e 37 °C, agitação por bomba, oxigenação >20% e uso de anti-espuma quando necessário.
- Monitoramento do processo - multiplicação dentro de 24 horas, com amostragens e análises microscópicas, em placa para verificar viabilidade e contaminações.

3.2.3 Coleta e análise de amostras

As amostras foram coletadas em frascos estéreis seguindo todo o protocolo de coleta para que não haja contaminação externa. O procedimento inclui: uso de EPI's, homogeneização do produto, desinfecção do local da coleta com álcool 70%, descarte da primeira fração, verificação de pH e temperatura em amostra preliminar e, por fim, coleta em frasco estéril para análise laboratorial de controle de qualidade.

3.2.4 Parâmetros microbiológicos avaliados

A avaliação microbiológica foi realizada a partir de diferentes parâmetros. Inicialmente, a quantificação da população bacteriana foi determinada por meio da contagem de unidades formadoras de colônia (UFC/mL), obtidas a partir de diluições seriadas e plaqueamento em meios sólidos (ex.: Ágar Nutriente, Ágar BHI), com incubação a 30 °C por 24h, permitindo quantificar a população microbiana, o que possibilitou a determinação da densidade microbiana (FORZANI, 2017). Esse processo de plaqueamento, além de permitir a quantificação, também contribui para a caracterização morfológica das colônias, enquanto a observação microscópica complementa a análise por meio da visualização direta das células.

A esporulação foi avaliada pelo método de choque térmico, no qual a amostra foi submetida a 80°C por 10 minutos, visando eliminar células vegetativas e preservar apenas os esporos. Após o aquecimento, a amostra passou por resfriamento até a temperatura ambiente, sendo então submetida a diluições e incubação a 30 °C por 24 a 48 horas. As colônias resultantes representam esporos viáveis. Esse método é amplamente utilizado em microbiologia para avaliar a eficiência da esporulação, resistência térmica e viabilidade de esporos bacterianos (NOGUEIRA, 2015).

A Contaminação microbiológica foi investigada por semeadura em meios seletivos, como MacConkey Agar e Sabouraud Dextrose Agar, visando a detecção de bactérias gram-negativas e

fungos contaminantes.

Complementarmente, realizou-se a coloração de Gram, que possibilitou a observação da morfologia celular e a diferenciação entre bactérias Gram-positivas e Gram-negativas, reforçando a caracterização do microrganismo em estudo.

3.2.5 Validação em campo

A eficácia do bioinsumo produzido foi avaliada em campo, em cultivos de milho e soja, utilizando dois tratamentos: (i) controle negativo (sem aplicação) e (ii) aplicação do bioinsumo (*Bacillus subtilis*) produzido *On Farm*.

As aplicações foram realizadas via tratamento sulco do plantio, tendo como alvos: nematoide-das-galhas (*Meloidogyne javanica*) e nematoide-das-lesões-radiculares (*Pratylenchus brachyurus*). Foram monitorados parâmetros agrônômicos, como taxa de germinação, vigor inicial das plantas, incidência de doenças e produtividade final da cultura.

3.2.6 Análises estatísticas

O uso de ferramentas estatísticas, como a análise de Regressão múltipla, análise de correlação de Pearson, ANOVA, tabelas dinâmicas e análise de frequência pode ser determinante para criar uma base sólida de dados sobre as características e a qualidade do microrganismo. Além disso, análise de ensaios de campo são cruciais para o acompanhamento contínuo da produção no campo, permitindo avaliar de forma prática o desempenho de bioinsumos como o *Bacillus subtilis*.

Os dados obtidos foram analisados estatisticamente com o auxílio do programa Excel, versão 2025.

A avaliação da qualidade do microrganismo foi conduzida por meio de laudos laboratoriais, análises estatísticas e validações práticas em campo. As coletas de dados envolveram tanto o monitoramento dos processos de produção quanto a aplicação do produto em lavouras comerciais.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Análise de Correlação

Para entender a relação entre os parâmetros e a concentração de *Bacillus subtilis*, realizou-se uma análise de correlação de Pearson. A Tabela 1 mostra os coeficientes de correlação de Pearson (r) entre as variáveis e a concentração final de *Bacillus subtilis* nas condições de produção *on farm*. A temperatura final da multiplicação mostrou a maior correlação positiva com a concentração ($r = 0,406$), o que indica que temperaturas mais altas estão associadas a concentrações maiores do microrganismo. De acordo com Fasolin *et al.* (2016), bactérias do tipo *Bacillus* prosperaram ao formar colônias a 37°C. Tal constatação sugere que essa temperatura é ideal para que elas cresçam e produzam substâncias antimicrobianas.

Outras pesquisas revelam que a temperatura ideal para a produção de enzimas que quebram células por *Bacillus subtilis* é de 37°C, mas temperaturas maiores diminuem muito a ação dessas enzimas (HE *et al.*, 2003). Além disso, a ação de quitinases alcança seu ponto máximo por volta dos 35°C (HJORT *et al.*, 2014). Com base nos estudos de Koni *et al.*, (2017), a ação das enzimas do *Bacillus subtilis* se intensifica à medida que o calor aumenta, atingindo seu pico por volta dos 37 °C, mostrando ser aproximadamente 3,3 vezes maior do que em temperaturas menores. Contudo, ao ultrapassar essa temperatura, nota-se uma queda nessa ação, revelando que o ponto ideal para impulsionar o metabolismo e a criação de enzimas se encontra perto dos 37 °C.

Tabela 1 - Coeficientes de correlação de Pearson (r) entre variáveis e a concentração de *Bacillus subtilis* produzidos *on farm*.

Relação	Correlação (r)
pH × Concentração	0.395
Temp. Inicial × Concentração	0.237
Temp. Final × Concentração	0.406
OCO × Concentração	-0.107
Tempo de Incubação × Concentração	-0.081

O pH da água também mostrou uma correlação positiva com a concentração ($r = 0,395$), um pouco menor, indicando um efeito importante, mas secundário em relação à temperatura final. A temperatura no início da multiplicação apresentou uma correlação fraca ($r = 0,237$), mostrando pouca influência sozinha. A presença de outras colônias (OCO) apresentou uma correlação negativa fraca ($r = -0,107$), sugerindo que a contaminação microbiana tende a reduzir um pouco a concentração de *B. subtilis*. O tempo de incubação apresentou correlação praticamente nula ($r = -0,081$), não indicando relação significativa com a variável de interesse.

Esses resultados indicam que, isoladamente, temperatura final e pH inicial são as variáveis mais promissoras para otimizar a viabilidade do *B. subtilis* na produção *on farm*, enquanto a contaminação comprova que consegue diminuir a concentração do produto final e o tempo de incubação não apresenta influência estatisticamente relevante quando analisado de forma independente.

3.3.2 Regressão Linear Múltipla

Para examinar os elementos que afetam a multiplicação do *Bacillus subtilis*, empregou-se a regressão linear múltipla, com a temperatura inicial, a temperatura final e o pH (centralizado e elevado ao quadrado) servindo como indicadores da densidade do organismo. O modelo exibiu um R^2 ajustado de 0,340, o que sugere que cerca de 34% da variação na concentração é passível de explicação pelos componentes abrangidos. A ANOVA comprovou que o modelo possui significância geral ($F = 9,63$; $p < 0,001$), realçando que os fatores independentes provocam um impacto notável na reprodução. Na tabela 2, estão dispostos os coeficientes do modelo, seus desvios-padrão, os valores de t e os valores de p .

Tabela 2 - Coeficientes de regressão

Variável	Coeficiente	Erro padrão	T	p-valor
Intercepto	-1.337.614.194	458.946.867	-2,91	0,005
Temperatura inicial (°C)	38.969.233	14.405.436	2,71	0,009
Temperatura final (°C)	25.664.817	9.108.349	2,82	0,007

pH centralizado	402.470.026	134.776.604	2,99	0,004
pH centralizado ²	114.011.220	52.470.559	2,17	0,034

Os resultados obtidos apontam que manter o pH perto de 7 e regular a temperatura, tanto no começo quanto no fim da multiplicação, são cruciais para otimizar a viabilidade do *Bacillus subtilis*. A influência do pH quadrático realça que níveis muito elevados ou reduzidos são prejudiciais à multiplicação, confirmando o que se sabe na literatura sobre as condições perfeitas para o crescimento do microrganismo. O pH inicial do ambiente onde o *Bacillus subtilis* se desenvolve tem um papel fundamental em sua produção. Pesquisas revelam que níveis de pH inadequados para o desenvolvimento da bactéria podem prejudicar a síntese de substâncias importantes, a exemplo do ácido poliglutâmico. Assim, é indispensável regular o pH para valores que otimizem tanto o crescimento quanto a criação de componentes relevantes (MORAES, 2015).

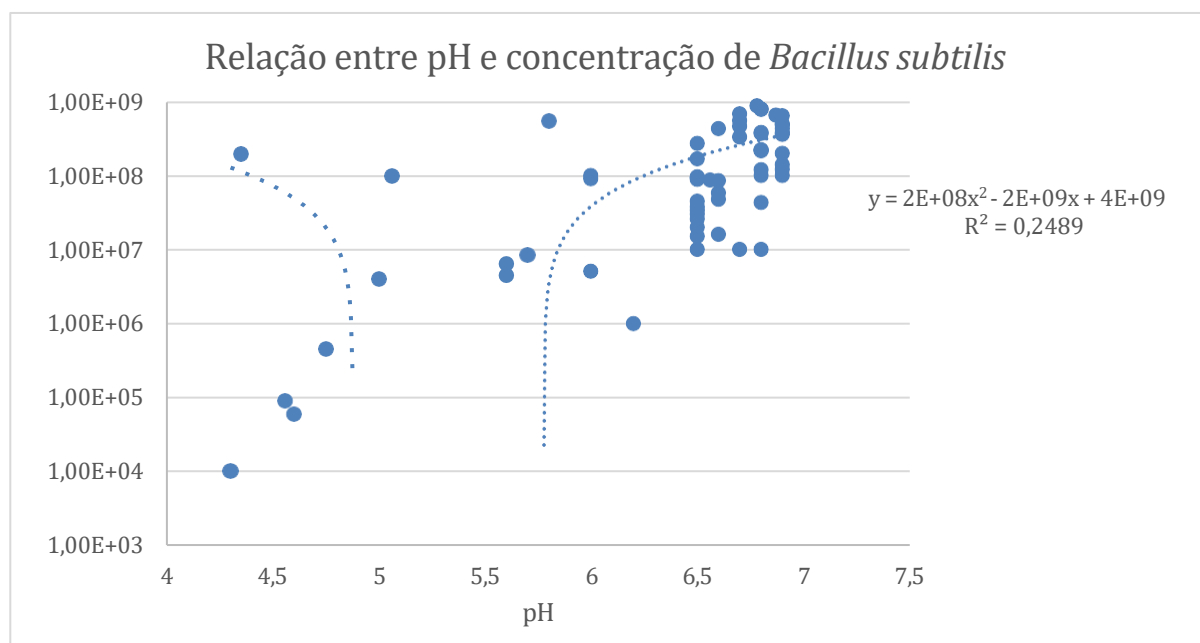
3.3.3 Influência do pH no Crescimento

De acordo com diferentes estudos, as bactérias do gênero *Bacillus* são capazes de crescer e sintetizar metabólitos antifúngicos em valores de pH entre 5 e 9 (Chen *et al.*, 2015). Entretanto, Anjhana e Sasikala (2017) observaram em seu trabalho que os melhores parâmetros de crescimento ocorreram com pH 8. Em contraponto, Ruschel (2024), relata em seu trabalho que o maior crescimento foi observado para agitações de 200 rpm a 35 °C e pH entre 6,5 e 7,0, evidenciando que o microrganismo estudado apresenta robustez e tolerância a diferentes condições de pH. Além disso, o pH mostra-se um fator crítico para o crescimento, pois alterações nesse parâmetro, mesmo quando os demais fatores estão ótimos, ainda podem prejudicar o desenvolvimento da cultura. O pH influencia diretamente o tempo de cultivo, considerando que valores inadequados podem retardar a divisão celular e prolongar o período necessário para atingir a densidade celular máxima, enquanto valores próximos ao ideal favorecem um crescimento mais rápido e eficiente, aumentando a produtividade da cultura.

A Figura 1 ilustra a relação entre o pH da amostra e a quantidade de *Bacillus subtilis* (UFC/mL). É notório que as maiores quantidades do microrganismo aparecem em áreas de pH que se aproximam de 7, revelando que pHs neutros são benéficos para a proliferação das bactérias.

Níveis de pH abaixo de 6,8 ou acima de 7,2 mostram uma queda na quantidade, sinalizando um efeito negativo fora da área ideal. A adequação polinomial propõe uma conexão não linear entre o pH e o crescimento bacteriano, com uma diminuição da quantidade fora da área ideal. O coeficiente de determinação ($R^2 = 0,2489$) aponta que o pH explica uma parcela significativa da variabilidade vista.

Figura 1 - Relação entre pH e concentração de *Bacillus subtilis* (UFC/mL), com ajuste por regressão polinomial de segunda ordem.



Fonte: Autoria própria (2025).

3.3.4 Impacto dos Erros Operacionais e Contaminações

Utilizou-se tabelas dinâmicas para quantificar a ocorrência de erros operacionais (queda de energia, transporte inadequado, demora na análise, limpeza do processo entre outros) e presença de contaminações, possibilitando uma visão geral dos laudos técnicos, tabela 3, observou-se que amostras sem erro apresentaram concentração média de $2,67 \times 10^8$ UFC/mL, enquanto amostras com erro apresentaram um valor bem inferior, no qual esse resultado evidencia que falhas operacionais impactam negativamente a multiplicação do microrganismo, reforçando a importância de controle rigoroso durante o processo, transporte e análise.

Considerando o que foi apurado, torna-se evidente a necessidade de implementação de medidas que garantam maior padronização e segurança operacional. Recomenda-se o

estabelecimento de protocolos claros e monitoramento contínuo das etapas, o uso de sistemas de contingência, como fontes alternativas de energia, e a garantia de transporte adequado, em condições controladas e dentro de prazos previamente definidos. Além disso, o treinamento contínuo da equipe e a realização de auditorias internas periódicas contribuem para a consolidação de uma cultura de qualidade, assegurando a confiabilidade dos laudos técnicos e a eficiência do processo de multiplicação do microrganismo.

Tabela 3 - Quantificação de Erros Operacionais com Base na Concentração e Presença de Outras Colônias (UFC/mL)

ERRO OPERACIONAL	CONCENTRAÇÃO MÉDIA (UFC/mL)	OUTRAS COLÔNIAS MÉDIAS (UFC/mL)
SIM	$1,44 \times 10^6$	$1,48 \times 10^8$
NÃO	$2,67 \times 10^8$	0,00

A análise de frequência revelou que 42 amostras analisadas (66,7%) estavam livres de contaminação, enquanto 21 (33,3%) apresentavam algum nível de contaminação por outras colônias. Esse resultado sugere que cerca de um terço das amostras sofre interferência externa, possivelmente associada a erros operacionais, como quedas de energia, limpeza mal realizada, contaminação de água, pH, transporte inadequado ou demora no processamento, entre outros, corroborando os achados de correlação e regressão.

Quando ocorreram erros operacionais (como queda de energia, transporte inadequado, demora na análise, e limpeza inadequada do processo), verificou-se um aumento proporcional nos casos de contaminação por outras colônias em comparação às situações sem falhas. Perceber que, proporcionalmente, as falhas operacionais estão mais associadas ao risco de contaminação microbiológica, reforçando a importância do controle rigoroso desses fatores externos para a qualidade do produto.

Em resumo, as análises com tabelas dinâmicas mostram que a ocorrência de erros operacionais está ligada à diminuição na concentração de *Bacillus subtilis* e ao aumento do risco de contaminação. Esses resultados complementam as análises de correlação e regressão, que já destacaram a importância do pH e da temperatura para a viabilidade do organismo, ressaltando

que, além das condições físicas e químicas, a gestão operacional é crucial para a eficiência da produção *on farm* na fazenda.

3.3.5 Testes em Campo

Em plantações de milho e soja, foi testado diretamente no campo o quão bem funcionava o microrganismo *Bacillus subtilis*. O foco era em dois tipos de nematoides: o *Meloidogyne javanica*, conhecido como nematoide-das-galhas, e o *Pratylenchus brachyurus*, chamado de nematoide-das-lesões-radiculares. Para isso, foi criada áreas de teste: umas sem nenhum tratamento e outras onde foi aplicado o bioinsumo feito com *Bacillus subtilis*, colocando-o diretamente no sulco durante o plantio, como mostra a Figura 2.

Figura 2 - Aplicação de *Bacillus subtilis* no sulco de plantio e efeito na população de nematoides em milho e soja.



Fonte: Solubio, 2025.

Os resultados obtidos revelaram que o uso do bioinsumo à base de *Bacillus subtilis* apresentou efeitos positivos no manejo agrícola. Observou-se uma redução significativa na população de nematoides, tanto no solo quanto nas raízes das plantas. Isso se deve à habilidade do *B. subtilis* de se estabelecer na área ao redor das raízes, criando uma espécie de barreira protetora e produzindo substâncias que são prejudiciais aos nematoides. Além disso, verificou-se um aumento da produtividade, onde testes práticos mostraram que houve um crescimento médio na produção, que variou de 2 a 5 sacas/ha em lavouras de milho e soja, com resultados consistentes em diferentes localidades, dependendo das condições da lavoura e do manejo adotado.

Outro aspecto importante foi o aprimoramento da condição geral das plantas, em que foi possível verificar um desenvolvimento inicial mais forte, uma uniformidade maior nas plantações e uma ocorrência menor de doenças tanto no solo quanto nas folhas. Isso ajudou a manter a produção estável, mesmo em áreas que continham nematoides. Por fim, constatou-se também o estímulo à resistência natural das plantas, uma vez que a presença de *B. subtilis* favoreceu a ativação dos mecanismos de defesa da planta, tornando mais difícil para os nematoides entrarem e se reproduzirem, além de ajudar a controlar doenças no solo e nas folhas.

Em resumo, os resultados mostram que usar produtos biológicos com *Bacillus subtilis* ajuda a cuidar das plantas contra doenças, além de melhorar a produção e a força das plantações. Isso faz com que produzir esses bioinsumos na fazenda seja uma boa opção, uma alternativa viável e eficiente ao manejo químico convencional. Portanto, o uso de *Bacillus subtilis* no controle biológico é uma forma eficaz e sustentável de proteger as plantas, funcionando bem em diversos tipos de plantio, promovendo não apenas o controle de nematoides, mas também melhora o solo, aumenta a resistência das plantas a problemas do clima e faz a produção agrícola crescer.

3.4 CONCLUSÕES

O estudo avaliou a produção e a qualidade do microrganismo *Bacillus subtilis* em sistema *on farm*, considerando análises estatísticas, laudos técnicos e validações em campo. Os resultados demonstraram que variáveis como temperatura final de multiplicação e pH inicial da água apresentam correlação positiva e significativa com a concentração do microrganismo, demonstrando que o controle adequado desses parâmetros é essencial para otimizar a viabilidade e o desempenho do bioinsumo. Além disso, problemas operacionais, afetam negativamente a concentração do *B. subtilis* e aumentam o perigo de contaminações por outras colônias. Esse achado evidencia a necessidade de adotar protocolos de boas práticas de produção, como sanitização cuidadosa, uso de água de boa qualidade e inóculo certificado, como condições imprescindíveis para garantir a estabilidade do processo.

Nos testes de campo, o bioinsumo produzido *on farm* teve eficácia no controle de nematoides fitopatogênicos (*Meloidogyne javanica* e *Pratylenchus brachyurus*), além de contribuir para o aumento de produtividade de milho e soja e melhorar as condições gerais das plantas. Esses resultados confirmam que, quando conduzido sob práticas adequadas de qualidade, o sistema *on farm* pode alcançar eficiência comparável à de produtos comerciais, configurando-se como uma alternativa sustentável, de menor custo e viável para os agricultores.

Desta maneira, conclui-se que o controle de qualidade estruturado do sistema *on farm* é fundamental para a viabilidade e eficácia do *Bacillus subtilis*, tornando-se uma ferramenta estratégica para a sustentabilidade da agricultura. Sugere-se, para estudos futuros, o uso de tecnologias de monitoramento em tempo real (sensores de pH, OD - *Optical Density* e temperatura) e a implementação de protocolos de biossegurança cada vez mais robustos, visando aprimorar a padronização e a confiabilidade da produção de bioinsumos *on farm*. O principal gargalo nesse processo ainda está na ausência de padronização sólida e de um controle de qualidade contínuo, associado a limitações de infraestrutura e capacitação técnica, o que reforça a necessidade de avanços nessas áreas para consolidar a produção de bioinsumos como prática segura, eficiente e sustentável na agricultura.

3.5 REFERÊNCIAS

ABDI (Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial); ABIHPEC (Associação Brasileira da Indústria de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos); SEBRAE (Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas). *Guia de microbiologia*. 1. ed. 2015. Disponível em: <https://abihpec.org.br/guiamicrobiologia/files/assets/common/downloads/Guia%20de%20Microbiologia.pdf>. Acesso em: 31 maio 2025.

ANJHANA, V.R.; SASIKALA, S.L. Isolation, screening and growth optimization of antagonistic *Bacillus subtilis* MS21 from Thengapattanam estuary against plant fungal pathogens. *Journal Advance Biological Science*, v. 4, p. 15-26, 2017.

BRASIL. Decreto nº 10.375, de 26 de maio de 2020. Institui o Programa Nacional de Bioinsumos e o Conselho Estratégico do Programa Nacional de Bioinsumos. *Diário Oficial da União: seção 1*, Brasília, DF, 27 maio 2020.

BRASIL. Decreto nº 10.833, de 8 de outubro de 2021. Dispõe sobre a isenção de registro para determinados produtos (parágrafo 8). *Diário Oficial da União: seção 1*, Brasília, DF, 8 out. 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-10.833-de-8-de-outubro-de-2021-347351086>. Acesso em: 01 mai. 2025.

CARVALHO, A. L. U. *Fisiologia de Bacillus subtilis R14 sob condições restrita e ir-restrita de oxigênio: produção de compostos bioativos e esporulação*. 2005. 57 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia de Produtos Bioativos) – Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Ciências Biológicas, Recife, 2005.

CORRÊA, G. M.; PEREIRA, C. de S.; QUEIROZ, A. T. da S.; SILVA, M. P. da; MELLO, M. E. de; OLIVEIRA, T. M. L. de; ARAÚJO, L. C.; FRADE, L. F. da S.; SANTOS, J. B. dos; SILVA, C. M. da. Use of bioinputs in sustainable agriculture: trends, challenges and perspectives for reducing the use of agrochemicals. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, São Paulo, v. 19, n. 5, p. e011955, 2025. DOI: 10.24857/rgsa.v19n5-003. Disponível em: <https://rgsa.openaccesspublications.org/rgsa/article/view/11955>. Acesso em: 24 maio 2025.

CHAVES, C. D., et al. Controle de qualidade no laboratório de análises clínicas. 2010.

CHEN, W.C.; JUANG, R.S.; YEI, Y.H. Applications of a lipopeptide biosurfactant, surfactin, produced by microorganisms. *Journal Engineering Biochemic*, v. 103, p. 158- 169, 2015.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Nota técnica: produção de microrganismos para uso próprio na agricultura (on farm). Brasília, DF: Embrapa, 2021. Disponível em: https://www.embrapa.br/esclarecimentos-oficiais/-/asset_publisher/TMQZKuljxu5K/content/nota-tecnica-producao-de-microrganismos-para-uso-proprio-na-agricultura-on-farm-?inheritRedirect=false. Acesso em: 01 mai. 2025.

FASOLIN, Julia Pelegrineli; MOCCELLIN, Renata; SANGIOGO, Maurício; SANTIN, Fátima Giovana Tessmer; CARNEIRO, Daniela; MOURA, Andrea Bittencourt. *Influência da temperatura no desenvolvimento de bactérias biocontroladoras e na produção de compostos antimicrobianos*. In: ENCONTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO – ENPOS, 2016, Pelotas. Anais. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 2025. Disponível em: https://cti.ufpel.edu.br/siepe/arquivos/2016/CA_03706.pdf. Acesso em: 17 ago. 2025.

FERNANDES, Amanda Cristiane Gonçalves. Controle estatístico das análises microbiológicas das águas potáveis e minerais comercializadas na região metropolitana do Recife–PE. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/17465>. Acesso em: 01 set. 2025.

FERREIRA, E.; NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M. *Manual de análises de bioinsumos para uso agrícola: inoculantes*. Brasília, DF: Embrapa, 2024. 164 p. ISBN 978-65- 5467-029-6.

FORZANI, Marcos Vinicius. *O impacto do manejo do cultivo de cana-de-açúcar (Saccharum sp.) e de pastagem (Brachiaria decumbens) na microbiota do solo*. 2017. 84 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.

HE, G.Q.; TANG, X.J.; MUKHTAR, A.M.; CHEN, Q.H. Optimization of cultural conditions for thermostable beta-1,3-1,4-glucanase production by *Bacillus subtilis* ZJF- 1A5. *Journal of Zhejiang University Science*, Hangzhou, v.4, n.6, p.719, 2003.

HJORT, K.; PRESTI, I.; ELVÄNG, A.; MARINELLI, F.; SJÖLING, S. Bacterial chitinase with phytopathogen control capacity from suppressive soil revealed by functional metagenomics. *Applied Microbiology and Biotechnology*, v.98, p.2819–2828, 2014.

LORENCETTI, C. C. Produzir biológicos na propriedade pode ser econômico, mas exige extremo cuidado. 2021. Disponível em: <https://alfonsin.com.br/manejo/produzir-biologicos-na-propriedade-pode-ser-economico-mas-exige-extremo-cuidado/>. Acesso em: mar. 2025.

MIRANDA, Sueny Pinhel; WEGNER, Rubia Cristina; DIAS, Anelise. Comercialização nas feiras da agricultura familiar: um estudo de caso sobre a estrutura desses canais. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 62, p. e270700, 2024. DOI: 10.1590/1806- 9479.2023.270700pt. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2023.270700pt>. Acesso em: 02 maio 2025.

MONNERAT, Rose Gomes; CASTRO, Marcelo Tavares de; MONTALVÃO, Sandro Coelho Linhares; FERREIRA, Antônia Débora Camila de Lima; NASCIMENTO, Izabela Nunes do; ROCHA, Gabriela Teodoro; MOREIRA, Flávia Melo; CELESTINO, Matheus Felipe; CARVALHO FILHO, Magno Rodrigues de. *Produção e controle de qualidade de bioinsumos à base de bactérias e fungos para uso na agricultura*. Ponta Grossa: Atena Editora, 2025. 92 p. E-book. ISBN 978-65-258-3534-1. DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.341251807>.

MONNERAT, Rose Gomes; AOYAGUI, Rogério Mitsunobu; GOERGEN, Laura M.; MONTALVÃO, Sandro Coelho Linhares; CASTRO, Marcelo Tavares de. Produção em grande escala de *Bacillus* spp. na instalação fabril da empresa Agrosalgueiro. Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2023. (Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. Circular Técnica, 97). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1152384>. Acesso em: 01 maio. 2025.

MONNERAT, Rose Gomes; MONTALVÃO, Sandro Coelho Linhares; MARTINS, Erica Soares; QUEIROZ, Paulo Roberto; SILVA, Ester Yoshie Yosino da; GARCIA, Aline Rafaela Moura; CASTRO, Marcelo Tavares de; ROCHA, Gabriela Teodoro; FERREIRA, Antônia Débora Camila de Lima; GOMES, Ana Cristina Meneses M. *Manual de produção e controle de qualidade de produtos biológicos à base de bactérias do gênero Bacillus para uso na agricultura*. Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2020. (Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia / Documentos, 369).

MONNERAT, R.; PRAÇA, L. B.; SILVA, E. S. da; MONTALVÃO, S. C. L.; MARTINS, E.

S.; SOARES, C. M. S.; QUEIROZ, P. R. *Produção e controle de qualidade de produtos biológicos à base de Bacillus thuringiensis para uso na agricultura*. Brasília, DF: Embrapa, 2018. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/185073/1/documentos-360Final.pdf>. Acesso em: 1 maio 2025.

MORAES, L. P. ALEGRE, R. ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DO MEIO, EFEITO DA TEMPERATURA E DO pH INICIAL NA PRODUÇÃO DO ÁCIDO γ -POLIGLUTÂMICO PELOS MICROORGANISMOS *Bacillus subtilis* NRRL B-41094 e *Bacillus subtilis* NRRL B-41294. *Blucher Chemical Engineering Proceedings*, v. 1, n. 2, p. 1695- 1705, 2015.

NOGUEIRA, Alexandre Verzani; SILVA FILHO, Germano Nunes. *Microbiologia*. Florianópolis: Biologia/EaD/UFSC, 2015. 211 p. ISBN 978-85-61485-26-9.

PEDRO, P. R. B.; BARBOZA, K. J. W.; COSTA, C. P. da. Análise de controle por parâmetros microbiológicos nos processos de manipulação em entreposto de carnes. *Revista JRG de Estudos Acadêmicos*, Brasil, São Paulo, v. 7, n. 14, p. e141262, 2024. DOI: 10.55892/jrg.v7i14.1262. Disponível em: <https://revistajrg.com/index.php/jrg/arti-cle/view/1262>. Acesso em: 31 maio 2025.

PEREIRA, Saihonara. *Monitoramento da qualidade de bioinsumos produzidos em sistema onfarm*. 2022. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2022.

PESSOA JÚNIOR, Wolney Gomes. *Bactérias do gênero Bacillus para controle biológico de pragas agrícolas*. 2023. 37 f., il. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de Brasília, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Programa de Pós- Graduação em Agronomia, Brasília, 2023.

POLICARPO, Mariana Aquilante; SAMBUICHI, Regina Helena Rosa; ALVES, Fábio; PACÍFICO, Daniela Aparecida; GUALDANI, Carla; BRATZ, Felipe. Desafios e oportunidades para o avanço da produção de bioinsumos no Brasil. Brasília, DF: Ipea, 2025. 68 p.: il. (Texto para Discussão, n. 3133). Disponível em: <https://dx.doi.org/10.38116/td3133-port>.

ROSA, Bruna Luiza de Souza. *Produção on farm de produtos biológicos à base de bactérias: um olhar sobre a qualidade*. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Fitossanidade) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Curitiba, 2023.

RUSCHEL, Latoya Creslem Batista. Otimização do processo fermentativo de *Bacillus subtilis* no biocontrole de *Sclerotinia sclerotiorum*. 2024. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2024.

SOUSA, Fernanda Bittar de. *Bioinsumos on farm e regulamentação para boas práticas de produção*. 2023. 85 f.: il. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Rio Verde – UniRV, Programa de Pós-Graduação em Direito do Agronegócio e Desenvolvimento, Faculdade de Direito, Rio Verde, 2023.

SOUZA, L. L. L. *Uso de bioinsumos microbiológicos na cultura do maracujá, impactos no desenvolvimento vegetativo: uma revisão de literatura*. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Instituto Federal Goiano, Campus Ceres, 2024.

VIDAL, Mariane Carvalho; DIAS, Rogério Pereira. Bioinsumos a partir das contribuições da

agroecologia. *Revista Brasileira de Agroecologia*, Brasília, v. 18, n. 1, p. 171- 192, 2023. ISSN 1980-9735. DOI: <https://doi.org/10.33240/rba.v18i1.23735>