

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO - CAMPUS CERES  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM IRRIGAÇÃO NO CERRADO

**EFEITO DE BIOINSUMOS NA EMERGÊNCIA E  
CRESCIMENTO INICIAL DE ESPÉCIES NATIVAS DO  
CERRADO E SOJA**

Acadêmico: Jefferson Ricardo Oliveira Godoi  
Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Priscila Jane Romano Gonçalves Selari

CERES - GO  
Dezembro 2025

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO - CAMPUS CERES  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM IRRIGAÇÃO NO CERRADO

**EFEITO DE BIOINSUMOS NA EMERGÊNCIA E  
CRESCIMENTO INICIAL DE ESPÉCIES NATIVAS DO  
CERRADO E SOJA**

Acadêmico: Jefferson Ricardo Oliveira Godoi  
Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Priscila Jane Romano Gonçalves Selari

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM IRRIGAÇÃO NO CERRADO, ao Programa de Pós-Graduação em Irrigação no Cerrado do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Ceres – Área de Concentração: Irrigação.

CERES - GO  
Dezembro 2025

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

G588e Oliveira Godoi, Jefferson Ricardo  
EFEITO DE BIOINSUMOS NA EMERGÊNCIA E  
CRESCIMENTO INICIAL DE ESPÉCIES NATIVAS DO  
CERRADO E SOJA / Jefferson Ricardo Oliveira Godoi. CERES  
2026.

75f. il.

Orientadora: Profª. Dra. PRISCILA JANE ROMANO  
GONÇALVES SELARI.

Dissertação (Mestre) - Instituto Federal Goiano, curso de  
0333064 - Mestrado Profissional em Irrigação no Cerrado -  
Ceres (Campus Ceres).

1. CERRADO. 2. CRESCIMENTO DE PLANTAS. 3.  
INOCULAÇÃO. 4. SEMENTES. 5. SUSTENTABILIDADE. I.  
Título.

## TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

### IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese (doutorado)                  | <input type="checkbox"/> Artigo científico              |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dissertação (mestrado) | <input type="checkbox"/> Capítulo de livro              |
| <input type="checkbox"/> Monografia (especialização)       | <input type="checkbox"/> Livro                          |
| <input type="checkbox"/> TCC (graduação)                   | <input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento |

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Jefferson Ricardo Oliveira Godoi

Matrícula:

2023203330640004

Título do trabalho:

EFEITO DE BIOINSUMOS NA EMERGÊNCIA E CRESCIMENTO INICIAL DE ESPÉCIE NATIVAS DO CERRADO E SOJA

### RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial:  Não  Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano:  /  /


O documento está sujeito a registro de patente?  Sim  Não

O documento pode vir a ser publicado como livro?  Sim  Não

### DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Documento assinado digitalmente  
 JEFFERSON RICARDO OLIVEIRA GODOI  
Data: 13/02/2026 20:11:20-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Ceres

Local


13 / 02 / 2026

Data

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)

Documento assinado digitalmente  
 PRISCILA JANE ROMANO GONCALVES SELARI  
Data: 14/02/2026 15:02:50-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>



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

Documento 767262

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO – CAMPUS CERES  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM IRRIGAÇÃO NO CERRADO

Efeito de bioinsumos na germinação de sementes e crescimento inicial de espécies nativas  
do Cerrado e soja (*Glycine max*)

Autor: Jefferson Ricardo Oliveira Godoi

Orientadora: Profª. Dra. Priscila Jane Romano Gonçalves Selari

TITULAÇÃO: Mestre em Irrigação no Cerrado – Área de Concentração: Irrigação

APROVADO.

Ceres, em: 18 de dezembro de 2025.

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** PRISCILA JANE ROMANO GONCALVES SELARI  
Data: 18/12/2025 13:52:56-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Profª. Dra. Priscila Jane Romano Gonçalves Selari**  
Presidente da banca  
IF de São Paulo - Campus Sorocaba

---

**Prof. Dr. Luis Sergio Rodrigues Vale**  
Avaliador Interno  
IF Goiano - Campus Ceres

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** LUIS SERGIO RODRIGUES VALE  
Data: 18/12/2025 16:00:11-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** TIAGO TOGNOLLI DE ALMEIDA  
Data: 18/12/2025 16:05:41-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Prof. Dr. Tiago Tognolli de Almeida**  
Avaliador Externo  
Universidade Estadual de Maringá




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

## DECLARAÇÃO

Declaro ao Programa de Pós-graduação em Irrigação no Cerrado, que a dissertação intitulada “Efeito de bioinsumos na germinação e crescimento inicial de espécies nativas do Cerrado e soja (*Glycine max*)” de autoria de Jefferson Ricardo Oliveira Godoi, passou pelas correções sugeridas pela banca examinadora, estando apta neste quesito para entrega da versão final e solicitação do diploma.

Por ser a expressão da verdade, firmo a presente declaração para que surta seus efeitos legais.

Sorocaba-SP, 14 de fevereiro de 2026.

Documento assinado digitalmente  
 PRISCILA JANE ROMANO GONCALVES SELARI  
Data: 14/02/2026 15:02:50-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

---

Profa. Dra. Priscila Jane Romano Gonçalves Selari

Docente EBTT 1410439

Orientadora

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Wilson Pereira de Godoi e Maria Aparecida Oliveira Godoi, exemplos de força, honestidade e perseverança, que, com amor incondicional e incansável dedicação, me ensinaram o valor da educação como o caminho da transformação e da liberdade. Cada conquista que hoje alcanço carrega as marcas dos seus esforços silenciosos e dos sonhos que plantaram em meu coração desde a infância.

Ao meu irmão Tullio Henrique Oliveira Godoi, que, com seu companheirismo e apoio constante, foi presença discreta, mas fundamental, lembrando-me sempre de que a família é o alicerce seguro em meio às dificuldades da vida acadêmica e pessoal.

Ao meu esposo, Daniel Antônio de Castro Bueno, que esteve ao meu lado em cada passo desta trajetória, partilhando das minhas angústias e vitórias, e me oferecendo compreensão, paciência e amor nos momentos mais desafiadores. Seu incentivo diário foi o combustível para que eu não desistisse, mesmo diante dos maiores obstáculos.

À minha amiga Cheila Aparecida Pires, cuja amizade sincera e apoio afetivo foram fontes de motivação e encorajamento em momentos decisivos desta caminhada.

À minha professora, Dra. Priscila Jane Romano Gonçalves Selari, pela orientação atenta, pelo exemplo de dedicação acadêmica e pelo incentivo constante na busca pelo conhecimento.

Aos meus professores do mestrado, pela partilha generosa de saberes, pela disponibilidade e pelas contribuições valiosas que enriqueceram significativamente este período de aprendizagem.

## BIOGRAFIA DO AUTOR

Jefferson Ricardo Oliveira Godoi, nascido em 28 de maio de 1992, em Itapaci – Goiás, é licenciado em Química pelo Instituto Federal Goiano – Campus Ceres, pedagogo pela FAVENI e bacharel em administração pela UniEVANGÉLICA. Atualmente, cursa o Mestrado em Irrigação no Cerrado, também pelo Instituto Federal Goiano – Campus Ceres. Com uma trajetória dedicada à educação, atua como professor da Educação Básica há dez anos. No campo da gestão pública, foi Secretário Municipal de Educação no município de Itapaci por três anos e três meses, experiência que reforçou sua atuação em prol do fortalecimento da educação. Atualmente, exerce o cargo de vereador e docente nas turmas de educação básica em Itapaci, mantendo o compromisso de trabalhar pelo desenvolvimento da educação e da comunidade local.



## RESUMO

JEFFERSON RICARDO OLIVEIRA GODOI. Instituto Federal Goiano – Campus Ceres – GO, dezembro de 2025. **Efeito de bioinsumos na emergência e crescimento inicial de espécies nativas do cerrado e soja.** Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Priscila Jane Romano Gonçalves Selari.

O Cerrado brasileiro, reconhecido como um dos principais *hotspots* de biodiversidade do planeta, enfrenta pressões crescentes decorrentes do desmatamento, da expansão agropecuária intensiva e do uso indiscriminado de insumos químicos. Diante desse cenário, a busca por alternativas sustentáveis na agricultura torna-se urgente, sendo os bioinsumos microbianos uma estratégia promissora por aliarem produtividade, conservação ambiental e redução de impactos negativos sobre os ecossistemas. Neste contexto, o presente trabalho investigou os efeitos da inoculação de quatro isolados bacterianos – *Priestia aryabhatai*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus amyloliquefaciens* e *Bacillus pumilus* – na emergência e no desenvolvimento inicial de três espécies vegetais de relevância ecológica e econômica: *Dipteryx alata* (baru), *Pterodon emarginatus* (sucupira) e *Glycine max* (soja). Os experimentos foram conduzidos em condições controladas de casa de vegetação no Instituto Federal Goiano – Campus Ceres, utilizando delineamento inteiramente casualizado, com cinco tratamentos (quatro inoculantes e um controle) e 10 repetições, contendo 10 sementes cada, totalizando 100 sementes por tratamento. Foram avaliados a emergência, a altura, o número de folhas e de folíolos, o comprimento radicular e da parte aérea, o volume de raiz, a massa seca da raiz e da parte aérea e o diâmetro do coleto. Os dados foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk e à análise de variância (ANOVA), seguida pelo teste de Tukey a 5% de significância. Para o baru, as bactérias *B. pumilus* e *B. amyloliquefaciens* promoveram incrementos na massa seca radicular, enquanto *P. aryabhatai* aumentou significativamente o comprimento da raiz. Para a sucupira, a inoculação com *P.*

*aryabhatai* trouxe incrementos muito superiores aos demais para as variáveis volume e comprimento de raiz, altura e diâmetro. Esta última variável também foi significativamente superior quando o baru foi inoculado com *B. subtilis*. A soja apresentou ganhos no comprimento da raiz com *P. aryabhatai* e no número de folhas com a inoculação de *B. subtilis*. O diâmetro da soja, quando inoculada com as bactérias, foi superior ao controle. As maiores emergências foram obtidas com a inoculação de *B. subtilis* para as espécies nativas, e com *P. aryabhatai* para a soja. Embora as respostas tenham variado conforme a espécie e o tipo de microrganismo utilizado, a *P. aryabhatai* se destacou por proporcionar incrementos em todas as espécies vegetais testadas, sendo que a sucupira respondeu melhor à inoculação com esta bactéria. Esses resultados evidenciam que a associação entre plantas e insumos biológicos constitui uma estratégia promissora para o crescimento inicial de culturas agrícolas e espécies nativas do Cerrado, podendo contribuir para práticas agrícolas mais sustentáveis. Além do avanço científico, o estudo valoriza a sociobiodiversidade do Cerrado, explorando espécies nativas ainda pouco estudadas, mas fundamentais para a conservação dos ecossistemas e a geração de renda para as comunidades locais.

Palavras-chave: Cerrado. Crescimento de plantas. Inoculação. Sementes. Sustentabilidade.

## ABSTRACT

JEFFERSON RICARDO OLIVEIRA GODOI. Goiano Federal Institute, Ceres Campus, Goiás State (GO), Brazil, December 2025. **Effect of bioinputs on the emergence and early growth of native species from the Brazilian Cerrado (Savanna) and soybean.** Advisor: Prof. Dr. Priscila Jane Romano Gonçalves Selari.

The Brazilian Cerrado (Savanna), recognized as one of the world's major biodiversity hotspots, is facing increasing pressures due to deforestation, intensive agricultural expansion, and the indiscriminate use of chemical inputs. In this context, the search for sustainable alternatives in agriculture has become urgent; the microbial bioinputs are emerging as a promising strategy, promoting productivity, environmental conservation, and reducing negative impacts on ecosystems. This paper investigated the effects of inoculating four bacterial isolates, *Priestia aryabhatai*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus amyloliquefaciens*, and *Bacillus pumilus*, on the germination and early development of three plant species of ecological and economic relevance, namely *Dipteryx alata* (baru), *Pterodon emarginatus* (sucupira), and *Glycine max* (soybean). The experiments were carried out under controlled greenhouse conditions at the Goiano Federal Institute, Ceres Campus, Goiás State, Brazil, . A completely randomized design was adopted, with five treatments (four inoculants and one control) and ten replicates of ten seeds each one, totaling one hundred seeds per treatment. The emergence rate, plant height, number of leaves and leaflets, root length, shoot length, root volume, root dry mass, shoot dry mass, and stem diameter variables were evaluated. Data were analyzed applying the Shapiro-Wilk normality test and analysis of variance (ANOVA), followed by Tukey's test at 5% significance level. The *B. pumilus* and *B. amyloliquefaciens* bacteria promoted increases in root dry mass in baru, while *P. aryabhatai* significantly increased root length in this species. Inoculating *P. aryabhatai* in sucupira led to substantially greater increases in root volume, root length, plant height, and stem diameter than the other treatments.

Additionally, stem diameter was significantly higher when inoculated with *B. subtilis*. Soybean showed an increase in root length with *P. aryabhatai* inoculation and an increase in the number of leaves with *B. subtilis* inoculation. Stem diameter in soybean was higher in all bacterial inoculation treatments compared to the control. The highest emergence rates in native species were achieved with *B. subtilis* inoculation, while the highest rate in soybean was observed with *P. aryabhatai*. Although responses varied according to plant species and microorganism type, *P. aryabhatai* stood out by promoting increases in all tested plant species, and sucupira showed the greatest response to this bacterium. These results indicate that the association between plants and biological inputs is a promising strategy for enhancing the early growth of agricultural crops and native species in the Brazilian Cerrado, which may contribute to more sustainable agricultural practices. Beyond scientific advancement, this paper also highlights the value of Brazilian Cerrado sociobiodiversity by exploring native species that remain poorly studied, yet are essential for ecosystem conservation and for supporting income generation in local communities.

Keywords: Brazilian Cerrado. Inoculation. Plant growth. Seeds. Sustainability.

## LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 5.1	
Área de estudo e pontos de coleta de sementes de espécies nativas do Cerrado em Goiás. Localização dos municípios de Santa Terezinha (coleta de sementes de <i>Dipteryx alata</i> – baru), Itapaci (coleta de sementes de <i>Pterodon emarginatus</i> – sucupira) e Ceres (IF Goiano – Campus Ceres), no estado de Goiás, Brasil. São apresentadas imagens de satélite da região, bem como registros fotográficos das espécies arbóreas nativas do Cerrado utilizadas na pesquisa .....	32
Figura 5.2	
Efeito da inoculação com bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCVs) sobre o desenvolvimento inicial de <i>Dipteryx alata</i> (baru). Plântulas de <i>D. alata</i> submetidas aos tratamentos: controle não inoculado, <i>Priestia aryabhatai</i> , <i>Bacillus pumilus</i> , <i>Bacillus subtilis</i> e <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> .....	38
Figura 5.3	
Inoculação com bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCVs) sobre o crescimento inicial de <i>Pterodon emarginatus</i> (sucupira). Plântulas de Baru submetidas aos tratamentos: controle não inoculado, <i>Priestia aryabhatai</i> , <i>Bacillus pumilus</i> , <i>Bacillus subtilis</i> e <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> .....	39
Figura 6.1	
Efeito da inoculação com bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCVs) sobre o desenvolvimento inicial de plântulas de <i>Glycine max</i> (soja). As plântulas foram submetidas aos tratamentos com <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> , <i>Priestia aryabhatai</i> , <i>Bacillus pumilus</i> , <i>Bacillus subtilis</i> e ao controle (sem inoculação) .....	53

## LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 5.1 Resultados médios e desvio padrão de massa seca de raiz (MSR) e de parte aérea (MSPA), volume de raiz (VR), comprimento de raiz (CR), número de folhas (NF) e de folíolos (NFo), altura (A) e diâmetro (D) do coleto de baru inoculado com bactérias promotoras de crescimento vegetal ou não inoculado (controle) em sementes de <i>Dipteryx alata</i> . Ceres/GO .....	36
Tabela 5.2 Resultados médios e desvio padrão de massa seca de raiz (MSR) e de parte aérea (MSPA), volume de raiz (VR), comprimento de raiz (CR), número de folhas (NF), altura (A) e diâmetro (D) do coleto de sucupira inoculado com bactérias promotoras de crescimento vegetal ou não inoculado (controle), para <i>Pterodon emarginatus</i> , Ceres/GO .....	39
Tabela 6.1 Resultados médios e desvio padrão de massa seca de raiz (MSR) e de parte aérea (MSPA), volume de raiz (VR), comprimento de raiz (CR), número de folhas (NF), altura (A) e diâmetro (D) do coleto de soja inoculado com bactérias promotoras de crescimento vegetal ou não inoculado (controle) .....	51

## LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS

Símbolo/Sigla	Significado	Unidade de medida
%	Porcentagem	-
*	Significativo ao nível de 5% de probabilidade	-
**	Significativo ao nível de 1% de probabilidade	-
°C	Grau Celsius	-
<i>A. Brasilense</i>	<i>Azospirillum brasilense</i> (Abv 5 e Abv 6)	-
ABA	Ácido abscísico	-
AG 1051	Agrocerees 1051	-
AIA	Ácido indolacético	-
Al	Alumínio	cmol dm <sup>3</sup>
AP	Altura de planta	cm
<i>B. amyloliquefaciens</i>	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> a 1 x 10 <sup>8</sup> UFC/mL.	-
<i>B. subtilis</i>	<i>Bacillus subtilis</i> ATCC 23858	-
B.O.D.	Biochemical Oxygen Demand	-
BPCP	Bactérias promotoras de crescimento de plantas	-
BPCV	Bactérias promotoras de crescimento vegetal	-
Ca	Cálcio	Cmol dm <sup>3</sup>
CCV	Capacidade de vaso	-
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono	-
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento	-
CPA	Comprimento de parte aérea	cm
CR	Comprimento de raiz	cm
DAE	Dias após emergência	-
DAS	Dias após a semeadura	-
DAT	Dias após o transplante	-

DBC	Delineamento em blocos casualizados	-
DIC	Delineamento inteiramente casualizado	-
N <sub>2</sub> O	Óxido nitroso	-
NF	Número de folhas	-
NH <sub>3</sub>	Amônia	-
P	Fósforo	mg dm <sup>3</sup>
PH	Potencial hidrogeniônico	-
	<i>Priestia aryabhatai</i> ( <i>syn. B. aryabhatai</i> ) a 1 x 10 <sup>8</sup>	-
<i>P. aryabhatai</i>	UFC/mL.	
PN	Plantas normais	-
RAS	Relação altura da planta/diâmetro do caule	-
RNC	Relação número de folhas/colmo	-
RPCV	Relação parte aérea/raiz (volume)	-
SM	Massa seca	g
T	Tratamento	-
TE	Teor de umidade	%
UR	Umidade relativa do ar	%
V	Volume	mL ou L
VR	Volume de raiz	cm <sup>3</sup>



## SUMÁRIO

	Página
1	INTRODUÇÃO ..... 1
2	OBJETIVOS ..... 4
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA ..... 5
<b>3.1</b>	<b>O Bioma Cerrado..... 5</b>
<b>3.2</b>	<b>Baru..... 7</b>
<b>3.3</b>	<b>Soja..... 11</b>
<b>3.4</b>	<b>Sucupira do Cerrado ..... 13</b>
<b>3.5</b>	<b>Bioinsumos microbianos ..... 15</b>
3.5.1	Espécies bacterianas utilizadas no experimento ..... 18
3.5.1.1	.. <i>Bacillus subtilis</i> ..... 18
3.5.1.2	.. <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> ..... 19
3.5.1.3	.. <i>Bacillus pumilus</i> ..... 19
3.5.1.4	.. <i>Priestia aryabhattai</i> ..... 20
4	REFERÊNCIAS ..... 21
5	CAPÍTULO I ..... 28
<b>5.1</b>	<b>Introdução ..... 30</b>
<b>5.2</b>	<b>Material e métodos ..... 31</b>
5.2.1	Caracterização da área de estudo ..... 31
5.2.2	Delineamento experimental e layout ..... 32
5.2.3	Microbiolização e semeadura ..... 33
5.2.4	Análises de emergência e de parâmetros biométricos de plântulas ..... 34
5.2.5	Análises estatísticas ..... 34
<b>5.3</b>	<b>Resultados e discussão ..... 34</b>
5.3.1	Análise da emergência de plântulas..... 34

5.3.2	Análises biométricas de baru ( <i>Dipteryx alata</i> ).....	36
5.3.3	Análises biométricas de sucupira ( <i>Pterodon emarginatus</i> ).....	38
<b>5.4</b>	<b>Conclusão .....</b>	<b>41</b>
<b>5.5</b>	<b>Referências .....</b>	<b>42</b>
6	CAPÍTULO II.....	46
<b>6.1</b>	<b>Introdução .....</b>	<b>47</b>
<b>6.2</b>	<b>Material e métodos .....</b>	<b>48</b>
6.2.1	Localização e Período Experimental .....	48
6.2.2	Material Vegetal .....	48
6.2.3	Delineamento experimental.....	48
6.2.4	Microbiolização e semeadura .....	49
6.2.5	Análises de emergência e de parâmetros biométricos .....	49
6.2.6	Análises estatísticas .....	50
<b>6.3</b>	<b>Resultados e discussão .....</b>	<b>50</b>
6.3.1	Análise germinativa de <i>Glycine max</i> .....	50
6.3.2	Análises biométricas das plântulas de soja.....	51
<b>6.4</b>	<b>Conclusão .....</b>	<b>54</b>
<b>6.5</b>	<b>Referências .....</b>	<b>54</b>
7	CONCLUSÃO GERAL .....	57

# 1 INTRODUÇÃO

O Cerrado brasileiro é reconhecido mundialmente pela sua importância ecológica, hídrica e socioeconômica. Considerado um dos biomas mais biodiversos do planeta, ocupa cerca de 23% do território nacional e abriga mais de 12 mil espécies de plantas, das quais aproximadamente 30% são endêmicas (IBGE, 2019; Ratter; Ribeiro, J.; Bridgewater, 1997). Além disso, o Cerrado é responsável pelo abastecimento de aquíferos e porções significativas das principais bacias hidrográficas do país, sendo, por isso, frequentemente denominado “berço das águas” (Bustamante; Dalla-Nora, 2016, p.4; Lahsen; Souza Jr. *et al.*, 2020, p.87).

Contudo, a crescente pressão antrópica sobre seus ecossistemas, a qual é marcada pelo desmatamento, pela expansão agropecuária intensiva e pelo uso indiscriminado de insumos químicos, ameaça não apenas a biodiversidade, mas também os serviços ecossistêmicos essenciais à manutenção da vida.

Nesse contexto, torna-se urgente repensar modelos produtivos e adotar tecnologias agrícolas que conciliem produtividade e sustentabilidade. Entre essas estratégias, os bioinsumos microbiológicos vêm ocupando posição de destaque na agenda científica e produtiva, por representarem alternativas viáveis ao uso excessivo de fertilizantes e defensivos químicos. Compostos por microrganismos benéficos, como bactérias e fungos, esses insumos atuam na promoção do crescimento vegetal, na indução de resistência a estresses bióticos e abióticos, além de favorecerem a solubilização de nutrientes e a melhoria da qualidade do solo (Vidal; Dias, 2023).

Estudos recentes reforçam o potencial agrônomo dos gêneros *Bacillus* e *Priestia*, conhecidos por promoverem o crescimento vegetal por meio da produção de fitormônios como auxinas e citocininas, fixação biológica de nitrogênio, solubilização de fósforo e indução de resistência sistêmica (Carvalho, E.; Monteiro; Vilas Boas, 2022). Em especial, as bactérias *Bacillus subtilis* e *B. amyloliquefaciens* têm se destacado em ensaios com soja e milho pela sua eficácia em melhorar o vigor e a tolerância das plantas

a estresses ambientais (Nomi *et al.*, 2023).

Entre as espécies vegetais nativas do Cerrado com elevado potencial de uso sustentável, destacam-se a *Dipteryx alata vogel* (baru) e a *Pterodon emarginatus* Vogel (sucupira), amplamente reconhecidas por seu valor ecológico, econômico e social. O baru é utilizado na recuperação de áreas degradadas, na alimentação humana e animal, e na geração de renda para comunidades extrativistas (Cardoso, 2023). A sucupira, por sua vez, é conhecida por suas propriedades medicinais e pelo potencial madeireiro e oleaginoso (Carvalho, J. *et al.*, 1999; Souza Jr. *et al.*, 2020).

Mesmo com todo esse potencial, ambas as espécies apresentam baixa germinação e dormência fisiológica acentuada nas sementes, o que dificulta sua propagação natural e o cultivo em larga escala (Nogueira *et al.*, 2015)

Em contraposição, a soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é uma cultura amplamente cultivada e de grande relevância econômica mundial, sendo uma referência em pesquisas sobre o uso de tecnologias agrícolas modernas, em decorrência da sua germinação rápida e do seu ciclo produtivo curto (Rodrigues *et al.*, 2004). O contraste entre espécies nativas e espécies agrícolas consolidadas permite investigar como a inoculação microbiana pode contribuir para otimizar processos germinativos e fortalecer o crescimento inicial de plantas com diferentes perfis ecológicos e produtivos.

Pesquisas como as de C. Silva *et al.* (2021) e G. Corrêa, M. Rocha e Naves (2007) apontam que a inoculação com microrganismos benéficos pode ser determinante para aprimorar a germinação e o desenvolvimento inicial de espécies nativas, fator essencial para o sucesso em programas de reflorestamento e para o uso sustentável da biodiversidade regional.

Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a inoculação de quatro isolados bacterianos - *Priestia aryabhatai*, linhagem CCT 7986, *Bacillus subtilis*, UVF S1, *Bacillus amyloliquefaciens*, CCT 7994, e *Bacillus pumilus*, S2907 - na germinação de sementes e no crescimento inicial de três espécies vegetais: *Dipteryx alata* Vogel (baru), *Pterodon emarginatus* Vogel (sucupira) e *Glycine max* (L.) Merrill (soja).

A relevância científica e prática desta pesquisa reside em sua contribuição ao desenvolvimento de soluções biotecnológicas voltadas à promoção do crescimento vegetal, especialmente em espécies com diferentes perfis de uso. Ao integrar saberes ecológicos, agrícolas e microbiológicos, espera-se oferecer subsídios teóricos e metodológicos que fortaleçam práticas sustentáveis em viveiros, programas de reflorestamento, agricultura familiar e grandes lavouras. Além disso, os resultados

obtidos poderão orientar políticas públicas e projetos de extensão comprometidos com a valorização da sociobiodiversidade do Cerrado e a construção de modelos produtivos mais resilientes, éticos e integrados ao equilíbrio ambiental.

## 2 OBJETIVOS

Este trabalho tem como **Objetivo Geral** avaliar a inoculação de bactérias promotoras de crescimento vegetal sobre a emergência e crescimento inicial de baru, sucupira e soja.

Como **Objetivos Específicos**, visa:

- a) avaliar o potencial das bactérias *Priestia aryabhattai* (syn. *Bacillus aryabhattai*), CCT 7986, *Bacillus subtilis*, UVF S1, *Bacillus amyloliquefaciens*, CCT 7994, e *Bacillus pumilus*, S2907, na emergência das sementes nativas do Cerrado, baru e sucupira, e de soja; e
- b) avaliar a influência das mesmas bactérias sobre o crescimento inicial de baru, sucupira e soja através da análise dos parâmetros biométricos das plântulas.

## 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 3.1 O Bioma Cerrado

Conforme informações recentes do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019), o Cerrado é reconhecido como o segundo maior bioma do Brasil e da América do Sul, cobrindo uma área de 1.983.017 km<sup>2</sup>, o que corresponde a 23,3% do território nacional. Este bioma está localizado principalmente na região do Planalto Central Brasileiro, englobando partes dos estados de Goiás, Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Bahia, Maranhão, Piauí, São Paulo e do Distrito Federal, estando presente nas cinco regiões do país.

Como argumentam Mendes, Garbeva e Raaijmakers (2013), o bioma Cerrado é uma savana tropical, sendo considerado um hotspot de biodiversidade, ou seja, um ecossistema com alta concentração de espécies endêmicas, sendo o maior em extensão no hemisfério ocidental. Este ecossistema apresenta uma grande riqueza biológica, com mais de 12.000 espécies de plantas nativas catalogadas, das quais cerca de um terço são endêmicas. Também estão registradas 2.373 espécies de vertebrados, com uma taxa de endemismo de 32%; desse total, 800 são peixes, 204 são anfíbios, 262 são répteis, 856 são aves e 251 são mamíferos.

O Cerrado abriga 903 espécies ameaçadas de extinção. Esse problema ocorre em razão das altas taxas de endemismo da fauna e flora, associadas à pressão antrópica nas áreas de Cerrado, resultando na conversão da vegetação nativa em atividades econômicas como pecuária extensiva e agricultura (Garbeva; Mendes; Raaijmakers, 2013).

O Cerrado atua como uma barreira entre as densas florestas tropicais do Brasil, a Floresta Amazônica e a Mata Atlântica, apresentando formações abertas e zonas de transição entre os ecossistemas. Também tem áreas de transição com a Caatinga, o Pantanal e o Chaco paraguaio. O clima do bioma é classificado como tropical chuvoso,

do tipo sazonal, com uma estação seca entre maio e outubro e uma estação chuvosa entre novembro e abril. A precipitação média anual varia de 600 a 2.000 mm, com temperaturas médias anuais entre 22 °C e 27 °C. A topografia do bioma é caracterizada por planaltos, depressões e estruturas complexas, que variam de 300 a 1.600 m de altitude (Mendes; Garbeva; Raaijmakers, 2013). Segundo Alves (2023), a flora do Cerrado é considerada extremamente rica e espacialmente heterogênea. Essa diversidade permite a identificação de três formações vegetativas principais, que se subdividem em onze fitofisionomias características. As formações florestais incluem matas ciliares, matas de galeria, mata seca e cerradão; as formações savânicas englobam cerrado sentido restrito, parque de cerrado, palmeiral e vereda; e as formações campestres compreendem campo sujo, campo limpo e campo rupestre (Embrapa, 2023).

De acordo com Segundo L. Silva *et al.* (2009), as áreas de Cerrado com topografia plana ou suavemente ondulada têm predominantemente solo do tipo latossolo, que é altamente drenável e atua como um eficiente mecanismo de absorção das águas pluviais, alimentando os aquíferos subterrâneos. A vegetação desempenha papel crucial na disponibilidade de água, por produzir menos biomassa, ter folhas coriáceas e cascas espessas, o que reduz a taxa de evapotranspiração, resultando em altas taxas de reserva hídrica. A cobertura vegetal do Cerrado também protege o solo contra processos de compactação e espessamento, diminuindo o impacto direto das chuvas sobre o solo.

Na literatura, o bioma Cerrado é identificado por vários autores como “berço das águas” do Brasil (Souza Jr. *et al.*, 2020, p.4.), com alta precipitação no período chuvoso, ocorre uma alta disponibilidade hídrica, que abastece diversas nascentes, importantes para a manutenção de seis importantes bacias hidrográficas do país, sendo elas: bacia Amazônica, rios Madeira, Trombetas e Xingu; bacia do Tocantins, rios Araguaia e Tocantins; bacia do Atlântico Norte, rios Parnaíba e Itapecuru; bacia do Atlântico Leste, rios Pardo e Jequitinhonha; bacia do São Francisco, rios São Francisco e afluentes; e bacia dos rios Paraná e Paraguai, rio Parnaíba e afluentes. As águas do Cerrado também abastecem três importantes sistemas aquíferos do Brasil, o Guarani, o Bambuí e o Urucuia.

Lahsen, Bustamante e Dalla-Nora (2016) ressalta que o Cerrado representa 43% do abastecimento de água superficial no Brasil, considerando a densidade populacional e excluindo a região amazônica. Além disso, é responsável por abrigar as nascentes dos principais rios utilizados na produção hidrelétrica do país, contribuindo com 80% da matriz energética brasileira. O Cerrado também desempenha papel crucial no



fornecimento de água para o consumo humano, dessedentação de animais, atividades econômicas como agropecuária e indústria, e na manutenção dos processos eco-hidrológicos dos biomas diretamente relacionados a ele.

## 3.2 Baru

A germinação e a emergência do baru (*Dipteryx alata*) constituem uma das etapas mais críticas e desafiadoras para a propagação da espécie, sendo amplamente reconhecidas pela literatura como lentas, irregulares e de pouco sucesso. Diversos estudos apontam que essa limitação está relacionada à dormência tegumentar - um mecanismo fisiológico e físico que impede a embebição adequada e a troca gasosa, dificultando o processo germinativo (Corrêa, G.; Rocha, M., Naves, 2007). Pesquisas específicas, como as de Basílio *et al.* (2018), indicam que, mesmo em condições de campo favoráveis, a emergência e o crescimento inicial de plântulas de *D. alata* são baixos e desuniformes, o que compromete o estabelecimento natural da espécie.

Estudos sobre a germinação de *Dipteryx alata* indicam que a espécie apresenta limitações no estabelecimento inicial em razão da dormência imposta pelo tegumento das sementes e da sensibilidade às condições ambientais. G. Corrêa, M. Rocha e Naves (2007) observaram que, em condições naturais, a emergência de plântulas é reduzida e ocorre de forma desuniforme, o que compromete o recrutamento natural da espécie no Cerrado.

Complementarmente, Basílio *et al.* (2018) verificaram que a emergência e o desenvolvimento inicial das plântulas de *D. alata* são fortemente influenciados pelo manejo das sementes e pelas condições do substrato, evidenciando que a ausência de tratamentos ou de técnicas adequadas resulta em baixos índices germinativos. Esses resultados reforçam a necessidade da adoção de práticas laboratoriais e biotecnológicas voltadas à superação da dormência e à melhoria do vigor das plântulas, especialmente quando se objetiva a produção de mudas em escala ou ações de restauração ecológica.

A distribuição do baruzeiro (*Dipteryx alata* Vog.) é ampla no bioma Cerrado, ocorrendo de forma irregular e formando agrupamentos naturais em diferentes regiões do Brasil, especialmente nos estados de Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, onde ocupa distintas fitofisionomias, como o cerrado sentido restrito, o cerradão mesotrófico e áreas de matas mesofíticas. Além de sua importância ecológica, o extrativismo do baru destaca-se como uma alternativa viável de geração de renda para pequenos produtores da

região Centro-Oeste, impulsionado por iniciativas que promovem a comercialização da amêndoa e a valorização dos subprodutos derivados da espécie (Cardoso, 2023).

Estudos sobre a composição nutricional de *Dipteryx alata* indicam que a amêndoa apresenta alto valor de proteínas (238-281 g/kg), lipídios e fibras alimentares, evidenciando seu elevado valor nutricional e potencial para uso alimentar e dietético (Fernandes *et al.*, 2010). Em relação à polpa, estudos demonstram que sua composição apresenta proporções variáveis de proteínas, lipídios e fibras alimentares, influenciadas pelo processamento do fruto e por fatores ambientais, o que reforça a importância de análises químicas detalhadas para aplicações alimentares e industriais (Rocha, L.; Cardoso Santiago, 2009; Fernandes *et al.*, 2010).

A polpa de baru, além de seu sabor aromático e adocicado que a torna um alimento apreciado pelo gado, tem uma alta concentração de carboidratos e fibras alimentares, sendo uma fonte significativa de cálcio, magnésio, zinco e polifenóis. Esses nutrientes fazem da polpa e da casca do baru componentes valiosos para melhorar o perfil nutricional e funcional de alimentos industrializados, aumentando o teor de fibras e compostos fenólicos, ao mesmo tempo em que reduzem o valor energético (Fernandes *et al.*, 2010)

Os frutos do baru apresentam um sabor peculiar, que tem sido explorado pela mídia gastronômica, aumentando o reconhecimento e a aceitação desse fruto pela sociedade (Oliveira-Alves *et al.*, 2020). Além de suas características sensoriais exóticas, os frutos do baru, juntamente com outros produtos do Cerrado, oferecem um potencial nutricional favorável e benefícios à saúde (Carvalho, E.; Monteiro; Vilas Boas, 2022), sendo considerados ingredientes funcionais na indústria alimentícia.

De acordo com a Embrapa (2019), a frutificação do baruzeiro ocorre de forma sazonal e variável entre regiões, sendo mais frequente no período compreendido entre agosto e outubro, a depender das condições ambientais da safra. Segundo informações oficiais fornecidas pelo IBGE (2018) em seu último levantamento sobre a Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura (PEVS) de 2018, a produção foi de 95,8 toneladas de baru, uma redução de 94,27% em relação às 548,6 toneladas produzidas em 2017.

A produção de 2018 foi distribuída entre os estados de Goiás, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul, onde a pesquisa foi realizada. Apesar da expressiva queda na produção em termos nominais, Minas Gerais manteve sua participação de 69% da produção nacional, enquanto Goiás elevou sua participação para 30% e Mato Grosso do Sul teve a menor participação no cenário nacional, com 1% (IBGE, 2018).

Como argumenta Cardoso (2023), a comercialização e a multiplicidade de usos do baru têm proporcionado melhorias na renda dos agroextrativistas do Cerrado, valorizando os modos de vida e territórios de ocorrência, contribuindo para a conservação de áreas nativas usadas de forma sustentável. A Política de Garantia de Preços Mínimos para Produtos da Sociobiodiversidade (PGPM-Bio), instaurada pelo Ministério da Agricultura e Pecuária, garante um preço mínimo para produtos extrativistas como o baru, auxiliando na conservação dos biomas brasileiros e na geração de renda para as populações que dependem desses produtos.

De acordo com Valadão e A. Souza (2024), a comercialização da castanha de baru (*Dipteryx alata* Vogel) apresenta variações significativas conforme a região e os canais de venda, sendo influenciada pela sazonalidade da produção, pelo nível de organização dos produtores e pela agregação de valor ao produto, o que impacta diretamente a renda obtida pelas famílias agroextrativistas envolvidas na cadeia produtiva.

A venda de castanhas cruas para cooperativas, empresas ou agentes atravessadores subiu o preço para valores entre R\$ 15,00-R\$ 20,00/kg. As castanhas torradas foram vendidas entre R\$ 28,00-R\$ 45,00/kg para cooperativas, empresas e atravessadores, que revenderam as castanhas torradas e embaladas para varejistas por valores entre R\$ 54,00-R\$ 80,00/kg. O preço de venda ao consumidor final no Brasil variou entre R\$ 60,00-R\$ 130,00/kg (Valadão; Souza, A., 2024).

O baru tem despertado interesse tanto para a produção de frutos quanto para a recuperação de áreas degradadas, pelo seu potencial de aproveitamento integral e pela crescente valorização de seus produtos (Sano; Brito; Ribeiro, J., 20162016). A produção de mudas é uma fase crucial nos projetos de revegetação. Mudanças de alta qualidade, com substratos adequados, são essenciais para garantir sua adaptação e crescimento, permitindo sua introdução bem-sucedida no campo (Oliveira, M. *et al.*, 2016.).

Estudos sobre a germinação e a produção de mudas de baru são escassos, entretanto, alguns autores têm se dedicado a compreender os processos germinativos, como Queiroz e Firmino (2014), que testaram o efeito do sombreamento na produção de mudas, constatando que o sucesso na germinação do baru é influenciado por diferentes níveis de sombreamento, com os melhores resultados para a níveis de 30%, melhorando a qualidade das mudas.

Em relação ao período de armazenamento, G. Corrêa, M. Rocha e Naves (2007) avaliaram a influência de diferentes períodos de acondicionamento em laboratório, por

30, 60, 90 e 120 dias, pós-colheita, na germinação. Os resultados deste estudo indicam que as sementes de baru apresentaram altos índices de germinação, variando entre 98% e 100%, com média geral de 98,75%. Foi observado efeito significativo dos períodos de armazenamento (30, 60, 90 e 120 dias) sobre o peso dos frutos e das sementes, bem como no número de dias para germinação.

Os períodos de armazenamento influenciam na perda de peso dos frutos e das sementes, que é mais expressiva até 60 dias, estabilizando-se a partir daí. O armazenamento de até 90 dias reduz o tempo necessário para a germinação das sementes, diminuindo de 8,20 para 6,61 dias, mas esse tempo voltou a aumentar para 7,03 dias após 120 dias de armazenamento. Os dados mostram que a variabilidade genética e as condições de armazenamento afetam significativamente esses parâmetros (Corrêa, G.; Rocha, M.; Naves, 2007).

Diversas técnicas têm sido empregadas na otimização da germinação do baru, como o condicionamento osmótico, realizado por C. Silva (2021), que utilizaram 500 sementes tratadas com Polietilenoglicol 6000, nos potenciais osmóticos de -0,6 Mpa e -1,0 Mpa, em tratamentos distribuídos nos períodos de 24, 48 e 72 h. O estudo apresentou resultados significativos para as variáveis analisadas no ensaio de germinação de sementes de *Dipteryx alata* Vogel. Os tratamentos como T2A (48 h a -0,6 Mpa), T3A (72 h a -0,6 Mpa) e T3B (72 h a -1,0 Mpa) apresentaram desempenho superior em comparação com os outros tratamentos e com a testemunha, especialmente na primeira contagem de sementes germinadas, índice de velocidade de germinação (IVG) e comprimento de raiz (CR).

A testemunha (sementes não condicionadas) e os tratamentos com períodos curtos de embebição tiveram os IVG mais baixos, sugerindo que o tempo insuficiente de embebição retardou o início da germinação. A primeira contagem, feita no sétimo dia, mostrou que os tratamentos com embebição curta tinham menos sementes germinadas, com destaque negativo para a testemunha, que não apresentou emergência de radícula. Sementes com embebição de 24 h a -0,6 Mpa e -1,0 Mpa e de 48 h a -0,6 Mpa mostraram altas taxas de germinação (87,5%, 80%, e 70%, respectivamente), divergindo de outros estudos que indicam que o potencial osmótico de -1,0 Mpa pode anular a germinação (Silva, M. *et al.*, 2020).

C. Silva (2021) utilizou iodo de esgoto compostado, com inoculação de microrganismos que promovem o crescimento vegetal, no processo de germinação de mudas de baru. Foram utilizados os microrganismos *Bacillus subtilis* e o fungo

micorrízico arbuscular (FMA) *Glomus clarum*. Os resultados apontaram que a presença dos microrganismos junto ao iodo compostado promoveu incrementos na massa fresca, área superficial, volume e comprimento total das raízes, além de otimizar a fotossíntese líquida, a transpiração e a condutividade estomática. A inoculação do *G. clarum* aumentou o quantitativo de esporos de FMA no solo e, conseqüentemente, a taxa de C-CO<sub>2</sub> liberado, enquanto a associação entre *G. clarum* e *B. subtilis* intensificou a colonização radicular pelos FMA e fungos endofíticos septados escuros (DSE).

### 3.3 Soja

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] destaca-se como uma das principais commodities agrícolas mundiais, ocupando papel central na balança comercial e no abastecimento alimentar global. No Brasil, a oleaginosa consolidou-se como a cultura de maior relevância econômica, representando mais de 40% da produção de grãos do país (Conab, 2023).

O cultivo da soja no território nacional teve início no final do século XIX, com registros na Bahia, expandindo-se significativamente a partir da década de 1940, sobretudo no Rio Grande do Sul. Todavia, foi a partir da década de 1970, com os avanços em pesquisas da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), que a cultura se adaptou às condições tropicais do Cerrado, permitindo sua expansão para estados como Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul (Embrapa, 2025).

Segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento, na safra 2020/2021, o Brasil colheu aproximadamente 135,4 milhões de toneladas de soja em uma área cultivada superior a 38 milhões de hectares, consolidando-se como maior produtor e exportador mundial do grão (Conab, 2021).

O estado de Mato Grosso lidera a produção nacional, respondendo por cerca de 27% do total, seguido pelos estados do Paraná, Rio Grande do Sul, Goiás e Mato Grosso do Sul (IBGE, 2020). Esse avanço, entretanto, não pode ser compreendido apenas em termos produtivos, mas deve ser analisado em sua interface com as dinâmicas ambientais, sociais e econômicas.

Do ponto de vista ambiental, a expansão da soja no Cerrado tem sido responsável por intensos processos de conversão de áreas de vegetação nativa, ocasionando perda de biodiversidade e comprometimento da manutenção de serviços ecossistêmicos essenciais,

como a recarga hídrica e o sequestro de carbono.

Segundo Soterroni *et al.* (2019), mais da metade da expansão da soja no bioma Cerrado ocorreu sobre áreas anteriormente ocupadas por vegetação nativa, representando uma ameaça às espécies endêmicas e comprometendo o equilíbrio ecológico regional. Além disso, estudos indicam que o cultivo da soja esteve associado a cerca de 10% do desmatamento líquido registrado no Brasil no período de 2000 a 2019.

No âmbito social e econômico, a cultura da soja é ambivalente: ao mesmo tempo em que gera divisas, empregos e fortalecimento da balança comercial, ela também reforça a concentração fundiária e os conflitos territoriais. Estudos sobre a expansão da soja na fronteira Brasil/Uruguai mostram que a sojicultura intensiva favorece a lógica do agronegócio voltado à exportação, em detrimento da agricultura familiar e da produção de alimentos básicos para consumo interno. Esse modelo, embora economicamente relevante, acentua desigualdades sociais e regionais no meio rural (Almeida Netto; Vargas, 2019).

Para mitigar os impactos ambientais, políticas e acordos internacionais têm sido firmados. A Moratória da Soja, por exemplo, assinada em 2006 por empresas e organizações não governamentais, proíbe a comercialização de soja proveniente de áreas desmatadas na Amazônia após essa data (Gibbs *et al.*, 2015). Apesar dos avanços, especialistas apontam que a medida não abrange o Cerrado, onde a pressão da fronteira agrícola se intensifica a cada safra. Essa lacuna reforça a necessidade de políticas públicas mais robustas e abrangentes para assegurar a sustentabilidade da cadeia produtiva.

Do ponto de vista tecnológico, a utilização de cultivares geneticamente adaptadas, a rotação de culturas e o plantio direto têm se mostrado práticas que contribuem para o aumento da produtividade, ao mesmo tempo em que reduzem os impactos ambientais (Embrapa, 2019). Pesquisas relacionadas a bioinsumos, fixação biológica de nitrogênio e sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) também configuram alternativas para uma agricultura mais sustentável e resiliente (Costa, 2023).

Assim, a soja brasileira, embora símbolo da potência agrícola do país, carrega consigo o desafio de conciliar competitividade no mercado internacional com responsabilidade socioambiental. A revisão da literatura evidencia que, se por um lado, a cultura representa um dos pilares da economia nacional, por outro, requer contínua reflexão crítica e construção de estratégias de manejo sustentável, capazes de preservar os recursos naturais e promover o desenvolvimento equitativo das populações que dependem direta ou indiretamente desse cultivo.

### 3.4 Sucupira do Cerrado

A sucupira-branca (*Pterodon emarginatus* Vogel) é uma espécie arbórea da família Fabaceae, subfamília Faboideae, amplamente distribuída nos biomas Cerrado, Caatinga e Mata Atlântica, ocorrendo desde o Maranhão até o Mato Grosso do Sul. Trata-se de uma árvore heliófita e pioneira, adaptada a solos secos, ácidos e de baixa fertilidade, característica que a torna uma excelente opção para programas de reflorestamento e recuperação de áreas degradadas (Souza Jr. *et al.*, 2020). A espécie é comumente encontrada em formações de cerrado *sensu stricto*, cerradão e matas secas, podendo atingir até 20 m de altura e 60 cm de diâmetro.

Além de seu valor ecológico, a sucupira-branca tem importância econômica e medicinal expressiva. Seu lenho é denso e durável, amplamente utilizado na indústria madeireira e em construções civis, enquanto suas sementes e cascas contêm óleos essenciais e compostos bioativos, como diterpenos e flavonoides, reconhecidos por suas propriedades anti-inflamatórias, analgésicas e antimicrobianas (Souza Jr. *et al.*, 2020). A espécie apresenta, entretanto, baixo poder germinativo, em razão da dureza tegumentar e da presença de dormência física nas sementes. Essa característica impede a absorção adequada de água e de gases, dificultando a emergência, resultando em uma germinação lenta e irregular (Oliveira, F. *et al.*, 2023). Estudos mostram que técnicas de escarificação química com ácido sulfúrico ou imersão em água quente (100 °C) por períodos curtos são eficazes na superação da dormência, elevando as taxas de germinação e a uniformidade das plântulas (Gibbs *et al.*, 2015). Por sua resiliência ecológica e potencial fitoterápico, *P. emarginatus* tem despertado crescente interesse científico, sendo considerada uma espécie-chave para projetos de restauração ambiental, agroflorestas e pesquisas biotecnológicas voltadas ao uso sustentável da flora do Cerrado.

De acordo com Souza Jr. *et al.* (2020), a sucupira-do-cerrado é uma espécie arbórea de alto porte que pode atingir até 20 metros de altura, com tronco de diâmetro de até 60 cm. Adaptada ao estresse hídrico, ela é classificada como uma planta decídua. Seu caule lenhoso, com alto teor de lignina e crescimento secundário bem desenvolvido, resulta em madeira de alta densidade e longa durabilidade, amplamente utilizada em construções e na indústria de móveis.

A sucupira-branca (*Pterodon emarginatus* Vogel) é uma espécie arbórea da família Fabaceae, subfamília Faboideae, nativa do bioma Cerrado, com ampla ocorrência

também em áreas da Caatinga e da Mata Atlântica. Trata-se de uma espécie heliófita e pioneira, bem-adaptada a solos pobres, secos e arenosos, apresentando elevada rusticidade e capacidade de estabelecimento em ambientes com limitações edáficas. Essas características conferem à sucupira-branca grande importância ecológica, especialmente para programas de recuperação de áreas degradadas, recomposição florística e restauração de ecossistemas nativos do Cerrado (Lorenzi, 2014).

As folhas de *P. emarginatus* são compostas, imparipinadas e alternas, apresentando folíolos elípticos a oblongos, de 2 a 6 cm de comprimento e 1 a 3 cm de largura, com pecíolos de até 2 cm. As inflorescências são paniculadas, terminais ou axilares, com flores de coloração lilás a roxo-claro, medindo cerca de 1,5 cm. Os frutos são do tipo legume alado, secos e achatados, medindo 6 a 8 cm de comprimento, e contêm uma a três sementes oblongas, castanho-avermelhadas, envoltas por um endocarpo lenhoso (Oliveira, F. *et al.*, 2023).

Segundo dados da Plataforma Flora do Brasil (2020), a sucupira-branca apresenta ampla distribuição geográfica, ocorrendo em praticamente todas as regiões do país, especialmente nos biomas Cerrado, Caatinga, Mata Atlântica e Pantanal. Sua presença é registrada nas regiões Norte (Pará, Tocantins, Rondônia), Nordeste (Bahia, Ceará, Piauí, Maranhão, Pernambuco, Paraíba), Centro-Oeste (Goiás, Distrito Federal, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul), Sudeste (Minas Gerais, São Paulo, Espírito Santo) e Sul (Paraná). Essa ampla dispersão reforça seu alto poder de adaptação ecológica, permitindo seu estabelecimento em ambientes com diferentes condições edáficas e climáticas.

Conforme observa Almeida (2018), a *P. emarginatus* tem diversas aplicações econômicas e ambientais, destacando-se pelo uso fitoterápico, madeireiro, ornamental e ecológico. É indicada em programas de reflorestamento e conservação de nascentes, dada sua rusticidade e capacidade de tolerar períodos prolongados de seca, além de contribuir para a fixação de nitrogênio no solo.

Estudos de Orozco-Mosqueda, Glick e Santoyo (2020) destacam ainda o potencial farmacológico da espécie. O extrato etanólico da casca do caule mostrou atividade anti-inflamatória significativa, atuando na inibição da produção de prostaglandinas. Também foi observada atividade cicatrizante em testes com ratos, possivelmente associada ao aumento da atividade de fibroblastos. Outros experimentos identificaram efeito ansiolítico e ação hipoglicemiante, atribuídos à presença de diterpenos, flavonoides e saponinas, compostos que conferem à planta relevância na



indústria farmacêutica e cosmética.

Do ponto de vista reprodutivo, a germinação da sucupira-branca representa um desafio técnico e ecológico. Os frutos secos e lenhosos não se abrem naturalmente, o que dificulta a liberação das sementes. Estas sementes apresentam dormência tegumentar intensa, causada pela impermeabilidade do tegumento à água e aos gases, sendo necessário o uso de tratamentos pré-germinativos para romper a dormência e favorecer o desenvolvimento das plântulas (Oliveira, F. *et al.*, 2021).

Estudos sobre métodos de superação da dormência em *Pterodon emarginatus* indicam que tratamentos pré-germinativos, como a escarificação mecânica, favorecem a emergência e o estabelecimento das plântulas, enquanto sementes não tratadas apresentam baixa emergência (Zani; Santos, L., 2019). Em análises complementares, a seleção de diásporos de maior tamanho e a aplicação de escarificação influenciaram positivamente a porcentagem de plântulas emergidas e o crescimento inicial (Mota *et al.*, 2019).

Esses resultados confirmam que o grau de maturação dos frutos e a espessura do tegumento são fatores determinantes no processo germinativo da sucupira-branca. Assim, a adoção de tratamentos pré-germinativos adequados é indispensável para a produção eficiente de mudas, sendo este um campo fértil para o uso de bioinsumos e microrganismos promotores de crescimento em estratégias de otimização da germinação e do vigor inicial das plântulas.

### **3.5 Bioinsumos microbianos**

De acordo com Vidal e Diasv(2023), os bioinsumos representam uma das principais inovações no contexto da agricultura sustentável, configurando-se como a nova fronteira tecnológica do agronegócio brasileiro. Têm base biológica derivada de matrizes naturais — vegetais, animais ou microbianas — que englobam substâncias bioativas com potencial para promover o crescimento vegetal, melhorar a fertilidade do solo e reduzir o impacto ambiental decorrente do uso de insumos químicos. No Brasil, o termo bioinsumo é legalmente definido como sinônimo de “produto biológico”, abrangendo diferentes classes como biofertilizantes, bioinseticidas, inoculantes, bioestimulantes, biodefensivos e outros produtos biotecnológicos (Brasil, 2020, p.2).

Conforme F. Oliveira *et al.* (2023), os bioinsumos consistem em produtos

formulados a partir de organismos vivos ou de seus metabólitos, destinados a favorecer o desenvolvimento vegetal e o equilíbrio biológico do solo. Ao integrar microrganismos benéficos, compostos naturais e processos enzimáticos, os bioinsumos representam uma alternativa eficaz e ecologicamente responsável aos fertilizantes e agrotóxicos sintéticos. Suas formulações podem apresentar-se em forma líquida, sólida, encapsulada ou polimérica, de acordo com a finalidade e o modo de aplicação, sendo sua eficiência diretamente relacionada à qualidade microbiológica e à estabilidade do produto.

O Decreto nº 10.375/2020, que institui o Programa Nacional de Bioinsumos (PNB), define o bioinsumo como produto, processo ou tecnologia de base biológica que interfere positivamente no crescimento, desenvolvimento e nos mecanismos de resposta de organismos e processos biológicos (Brasil, 2020). Tal programa, coordenado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), objetiva fomentar a inovação, a pesquisa e a ampliação da produção nacional de bioinsumos, garantindo sua integração às políticas públicas de sustentabilidade e segurança alimentar.

Mais recentemente, a Lei nº 15.070, de 23 de dezembro de 2024, consolidou o marco regulatório dos bioinsumos no Brasil, estabelecendo diretrizes claras para sua produção, registro, uso e fiscalização. A legislação instituiu parâmetros técnicos e jurídicos para assegurar a qualidade e a rastreabilidade dos produtos, permitindo, inclusive, o uso próprio (*on farm*) por agricultores e cooperativas, desde que observadas boas práticas de produção e controle sanitário. Além disso, a lei prevê simplificação dos processos de registro, incentivos fiscais, linhas de crédito específicas e mecanismos de certificação, reforçando o papel dos bioinsumos como instrumentos estratégicos da transição agroecológica (Brasil, 2024).

Entre as diferentes categorias de bioinsumos, os microbiológicos se destacam por sua ampla aplicação e eficácia. Esses produtos, também denominados “insumos microbiológicos”, têm origem em microrganismos isolados, identificados e preservados em condições controladas, podendo ser produzidos *in vitro* ou *in vivo*. Os inoculantes bacterianos, por exemplo, são amplamente utilizados na agricultura para favorecer a nutrição vegetal e reduzir a dependência de fertilizantes nitrogenados sintéticos, resultando em economia de custos e menor impacto ambiental. Sua aplicação se consolidou em culturas como soja, feijão e milho (Monteiro; Carvalho, E; Vilas Boas, 2022).

Do ponto de vista funcional, os microrganismos empregados como bioinsumos podem ser classificados como entomopatogênicos (atuantes no controle de insetos-praga)

ou micopatogênicos (atuantes contra fungos fitopatogênicos). Entre os exemplos mais conhecidos, o fungo *Clonostachys rosea* tem demonstrado alta eficácia no controle da mosca-branca (*Bemisia tabaci*) e do mofo-branco (*Sclerotinia sclerotiorum*), pragas que afetam culturas de alto valor comercial como soja, algodão e tomate (Embrapa, 2023).

No controle biológico, os principais agentes utilizados incluem os fungos *Metarhizium anisopliae* (controle de cigarras e percevejos) e *Beauveria bassiana* (controle de moscas e lagartas), a bactéria *Bacillus thuringiensis* (controle de lepidópteros) e o vírus *Baculovirus spodoptera* (controle de lagartas), que, juntos, representam cerca de 85% dos inseticidas microbiológicos registrados no país. Entre os fungicidas microbiológicos, destacam-se *Trichoderma harzianum* e *Bacillus amyloliquefaciens*, amplamente utilizados contra o mofo-branco, e o *Fusarium* spp., respectivamente, compondo mais de 70% dos produtos desta categoria (Bortoloti; Sampaio, 2024).

Outro grupo de grande relevância agrônômica são as bactérias fixadoras de nitrogênio (BFN), que convertem o nitrogênio atmosférico ( $N_2$ ) em compostos assimiláveis pelas plantas, como amônio ( $NH_4^+$ ) e nitrato ( $NO_3^-$ ), por meio da fixação biológica de nitrogênio (FBN). Essa simbiose ocorre principalmente entre bactérias dos gêneros *Rhizobium*, *Bradyrhizobium* e *Azospirillum*, em associação com leguminosas como a soja (*Glycine max*). As plantas fornecem carboidratos aos microrganismos, enquanto recebem nitrogênio fixado, essencial ao metabolismo vegetal (Freitas, 2016). Além de reduzir a necessidade de adubos químicos, a FBN melhora a estrutura do solo e contribui para práticas agrícolas de baixo impacto ambiental (Costa, 2023).

De forma complementar, as bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV) exercem efeitos diretos e indiretos sobre o desenvolvimento das plantas. Microrganismos promotores de crescimento vegetal podem favorecer o desenvolvimento das plantas por meio de diversos mecanismos diretos, como a fixação biológica de nitrogênio, a solubilização de fósforo e a produção de compostos bioativos, incluindo sideróforos e fitormônios, além de desempenharem atividades que contribuem indiretamente para a saúde das plantas e sua tolerância a estresses ambientais (Timofeeva; Galyamova; Sedykh, 2023). Espécies como *Bacillus subtilis*, *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus velezensis* e *Priestia aryabhatai* são amplamente reconhecidas por seus efeitos positivos na germinação e vigor de plântulas, além de melhorarem o aproveitamento de nutrientes e a tolerância a condições adversas (Oliveira-Alves *et al.*, 2020)

C. Silva (2021), ao avaliarem o uso de *Azospirillum* sp., *Bacillus megaterium* e

*Bacillus subtilis* em sementes de milho, observaram incremento de 16,25% na taxa de germinação e maior comprimento radicular, especialmente nos tratamentos com *Azospirillum sp.*, em razão da produção de auxinas na rizosfera.

De modo semelhante, Nomi *et al.* (2023) constataram que diferentes cepas de BPCV, aplicadas em miniestaquia e enxertia de *Eucalyptus spp.*, aumentaram as taxas de germinação e pegamento, demonstrando o potencial dessas bactérias para a produção de mudas florestais. Em experimento com mudas de açai (*Euterpe oleracea Mart.*), Mendes, Garbeva e Raaijmakers (2013) verificou que a inoculação com linhagens de *Rhizobium* (BAC 5, BAC 13 e BAC 15) promoveu germinação acelerada e vigorosa, reduzindo o tempo médio de emergência de 90 para 10 dias. Esses estudos reforçam o papel dos bioinsumos microbianos como alternativa viável à dependência de insumos químicos, promovendo produtividade, sustentabilidade e conservação dos recursos naturais.

Dessa forma, a incorporação desses produtos - agora amparada por um marco legal consolidado - representa não apenas um avanço científico, mas também uma estratégia essencial para o fortalecimento da bioeconomia e da agricultura regenerativa no Cerrado e em todo o território brasileiro.

### 3.5.1 Espécies bacterianas utilizadas no experimento

#### 3.5.1.1 *Bacillus subtilis*

A espécie *Bacillus subtilis* é uma das bactérias mais estudadas e aplicadas em biotecnologia agrícola. Caracteriza-se por sua capacidade de formar esporos resistentes, o que confere alta estabilidade em formulações comerciais (Silva, C., 2021). Seu principal modo de ação envolve a produção de auxinas, citocininas e ácido abscísico, que estimulam o alongamento radicular e o desenvolvimento da parte aérea das plântulas.

Além disso, *Bacillus subtilis* apresenta mecanismos que contribuem para o crescimento e a proteção das plantas. Entre eles, destaca-se a produção de compostos antimicrobianos, como iturina, surfactina e fengicina, que inibem o desenvolvimento de fungos fitopatogênicos e induzem resistência sistêmica nas plantas (Rodrigues *et al.*, 2004). A espécie também é capaz de produzir fitormônios, como ácido indolacético (AIA), giberelinas e citocininas, que estimulam a germinação e o crescimento radicular (Nomi *et al.*, 2023). Outro mecanismo relevante é a solubilização de fosfatos e a fixação

biológica de nitrogênio, que aumentam a disponibilidade de nutrientes essenciais e promovem um melhor desenvolvimento vegetal (Mota *et al.*, 2019). Cabe ressaltar também que a *B. subtilis* sintetiza sideróforos, moléculas quelantes de ferro que dificultam o crescimento de patógenos e favorecem a nutrição das plantas.

Estudos demonstram que a inoculação dessa bactéria em sementes de soja e milho eleva o vigor inicial, a tolerância a estresses hídricos e o desempenho germinativo em até 20%, consolidando-a como uma importante aliada na agricultura sustentável (Nomi *et al.*, 2023).

### 3.5.1.2 *Bacillus amyloliquefaciens*

Assim como *B. subtilis*, a espécie *Bacillus amyloliquefaciens* é amplamente reconhecida como promotora de crescimento vegetal, com destaque para sua habilidade em produzir enzimas hidrolíticas (como quitinases e glucanases) e ácidos orgânicos que favorecem a solubilização de fósforo (Mota *et al.*, 2019).

Essa bactéria também secreta lipopeptídeos antimicrobianos e sideróforos que competem com patógenos por ferro, contribuindo para o controle biológico de doenças como o mofo-branco (*Sclerotinia sclerotiorum*) e o *Fusarium* (*Fusarium* spp.). Em experimentos conduzidos com soja (*Glycine max*), a inoculação com *B. amyloliquefaciens* resultou em incremento médio de 18% na altura e 22% na biomassa total das plantas (Vidal; Dias, 2023).

### 3.5.1.3 *Bacillus pumilus*

A espécie *Bacillus pumilus* tem se destacado pelo seu potencial de bioestimulação e proteção contra estresses abióticos, especialmente em solos com deficiência hídrica ou salinos. Essa bactéria é produtora de enzimas antioxidantes, como catalases e peroxidases, que reduzem a formação de espécies reativas de oxigênio (ROS) em condições adversas (Oliveira-Alves *et al.*, 2020). Adicionalmente, *B. pumilus* atua na modulação de fitormônios, promovendo o crescimento radicular e o acúmulo de biomassa nas plântulas. Estudos indicam ganhos de até 15% em massa seca e aumento da taxa de emergência em sementes de soja, milho e sucupira tratadas com inoculantes à base dessa espécie (Timofeeva; Galyamova; Sedykh, 2023).

#### 3.5.1.4 *Priestia aryabhatai*

A espécie *Priestia aryabhatai*, anteriormente classificada no gênero *Bacillus*, destaca-se como um microrganismo promotor de crescimento vegetal de ampla versatilidade fisiológica e ecológica. Essa bactéria gram-positiva apresenta múltiplos mecanismos de ação que contribuem para o desenvolvimento das plantas e a sustentabilidade agrícola. Entre suas principais funções, estão a solubilização de fosfatos insolúveis, a fixação biológica de nitrogênio e a síntese de fitormônios como o ácido indolacético (AIA), que estimula o crescimento radicular e o desenvolvimento vegetativo (Monteiro; Carvalho, E.; Vilas Boas, 2022).

Estudos recentes têm revelado que *P. aryabhatai* também atua na produção de sideróforos - compostos quelantes de ferro -, fundamentais para o metabolismo vegetal em condições de deficiência nutricional, e na atividade da enzima ACC-desaminase, que reduz os níveis de etileno e atenua os efeitos do estresse salino e hídrico (Monteiro; Carvalho, E.; Vilas Boas, 2022). Além disso, análises genômicas identificaram genes relacionados à biossíntese de exopolissacarídeos, enzimas antioxidantes e proteínas envolvidas na adaptação a variações edáficas e ambientais (Lee *et al.*, 2021). Essa capacidade adaptativa permite que a espécie contribua para a restauração de solos degradados, promovendo melhor estrutura e retenção de nutrientes.

Em experimentos com *Medicago sativa*, a inoculação de *Priestia aryabhatai* aprimorou o ambiente da rizosfera através do aumento na diversidade microbiana e das funções benéficas associadas, resultando em maior estímulo ao desenvolvimento das plantas e melhor disponibilidade de nutrientes (Wang *et al.*, 2024). Outros estudos demonstram seu papel na mobilização de nutrientes em solos contaminados por metais pesados, especialmente cádmio, promovendo a transformação de formas insolúveis de fósforo em compostos assimiláveis pelas plantas (Zhou *et al.*, 2024).

Dessa forma, a *P. aryabhatai* se consolida como um bioinoculante promissor, capaz de atuar tanto na promoção direta do crescimento vegetal quanto na mitigação de estresses abióticos e na melhoria da fertilidade do solo, alinhando-se aos princípios da agricultura sustentável.

## 4 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. C. S. *et al.* Soil physical properties and yield of soybean and corn grown with wastewater. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.22, n.12, p.843-848, 2018. Disponível em: <https://periodicos.cerradopub.com.br/bjs/article/view/245> Acesso em: 19 out. 2025.

ALMEIDA NETTO, T.; VARGAS, D. L. de. Territorialização da soja no contexto da agricultura familiar na fronteira Brasil/Uruguai. **Geosul**, v.34, n.71, 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/article/view/1982-5153.2019v34n71p428>. Acesso em: 30 out. 2025.

ALVES, J. de M. Avaliação do uso de bactérias promotoras de crescimento vegetal em condições de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.47, p.e0230019, 2023. Disponível em: [https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UCB-2\\_e42efaeb1c25518559a03dfc45a1b471?utm\\_source=](https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UCB-2_e42efaeb1c25518559a03dfc45a1b471?utm_source=) Acesso em: 28 out. 2025.

BASÍLIO, A. C. A. *et al.* Emergência e desenvolvimento de plântulas de *Dipteryx alata Vogel* em diferentes substratos. **Agrotecnologia**, Ipameri, v.9, n.2, p.57-65, 2018. DOI: <https://doi.org/10.12971/2179-5959.agrotecnologia.v9n2p57-65> Disponível em: <https://www.revista.ueg.br/index.php/agrotecnologia/article/view/7386> Acesso em: 6 fev. 2026.

BORTOLOTTI, G.; SAMPAIO, R. M. Desafios e estratégias no desenvolvimento dos bioinsumos para controle biológico no Brasil. **Revista Tecnologia e Sociedade**, v.20, n.60, p.291-307, 2024. DOI: 10.3895/rts.v20n60.15792 Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/15792> Acesso em: out. 2025.

BRASIL. Decreto nº 10.375, de 26 de maio de 2020. Institui o Programa Nacional de Bioinsumos. **Diário Oficial da União, Brasília, DF, 27 maio 2020**. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2020/decreto/d10375.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/decreto/d10375.htm) Acesso em: 4 out. 2025.

BRASIL. Lei nº 15.070, de 23 de dezembro de 2024. Dispõe sobre a produção, a importação, a exportação, o registro, a comercialização, o uso, a inspeção, a fiscalização, a pesquisa, a experimentação, a embalagem, a rotulagem, a propaganda, o transporte, o armazenamento, as taxas, [...]. Este texto não substitui o publicado no **DOU de 24.12.2024**. Brasília, DF, 2024. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2023-2026/2024/lei/115070.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/115070.htm) Acesso em:

4 out. 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária (Mapa). **Bioinsumos**. Programa Nacional de Bioinsumos. Brasília: Mapa, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inovacao/bioinsumos> Acesso em: out. 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa). Programa Nacional de Bioinsumos: **Catálogo Nacional de Bioinsumos**. 1.ed., Brasília: Mapa, 27 maio 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inovacao/bioinsumos/o-programa/catalogo-nacional-de-bioinsumos> Acesso em: out. 2025.

CARDOSO, N. D. S. Potencial alimentar e socioeconômico do baru (*Dipteryx alata* Vog.): perspectivas de mercado e conservação. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais**, v.18, n.1, p.4565, 2023. Disponível em: [https://boletimcn.museu-goeldi.br/bcnaturais/pt\\_BR?utm\\_source](https://boletimcn.museu-goeldi.br/bcnaturais/pt_BR?utm_source) Acesso em: out. 2025.

CARVALHO, J. C. T. *et al.* Anti-inflammatory activity of the crude extract from the fruits of *Pterodon emarginatus* Vogel (Fabaceae). **Journal of Ethnopharmacology**, v.64, p.127-133, 1 Feb. 1999. [https://doi.org/10.1016/S0378-8741\(98\)00116-0](https://doi.org/10.1016/S0378-8741(98)00116-0) Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378874198001160?via=ihub> Acesso em: out. 2025.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento (Brasil). **Último levantamento da safra 2020/21 confirma redução na produção de grãos**. Brasília, DF, 9 set. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/assuntos/noticias/ultimo-levantamento-da-safra-2020-21-confirma-reducao-na-producao-de-graos>. Acesso em: : set. 2025.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento (Brasil). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: Boletim da Safra de Grãos – Safra 2022/23, 9º Levantamento**. Brasília, DF: Conab, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safra/safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos/9o-levantamento-safra-2022-23/9o-levantamento-safra-2022-23>. Acesso em: 29 out. 2023.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento (Brasil). Acompanhamento da safra brasileira de grãos. **10º Levantamento - Safra 2022/2023**. Brasília: CONAB, 10 jul. 2023. Atualizado 17 set. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safra/safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos/10o-levantamento-safra-2022-23/10o-levantamento-safra-2022-23> Acesso em: out. 2025.

CORRÊA, G. de C.; ROCHA, M. R. da; NAVES, R. V. Germinação de sementes e emergência de plântulas de *Dipteryx alata* (Vogel) nos cerrados de Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.30, n.2, p.17-23, 2007. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/pat/article/view/2580> Acesso em: set. 2025.

COSTA, M. M. M. N. Fixação biológica de nitrogênio: uma revisão. **Documentos 293**.



Embrapa Algodão. Campina Grande, PB, 2023. 34p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1162060/1/FIXACAO-BIOLOGICA-REVISAO.pdf> Acesso em: set. 2025.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Produção, caracterização física, química e funcional de frutos e sementes de baru (*Dipteryx alata* Vog.) oriundos da Embrapa Cerrados e Arinos, MG – safra 2019**. Brasília, DF: Embrapa, 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1135426/producao-caracterizacao-fisica-quimica-e-funcional-de-frutos-e-sementes-de-baru-dipteryx-alata-vog-fabaceae-oriundos-da-embrapa-cerrados-e-arinos-mg-safra-2019>. Acesso em: set. 2025.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Bioma Cerrado: principais fitofisionomias — formações florestais, savânicas e campestres**. Embrapa Cerrados, 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/cerrados/colecao-entomologica/bioma-cerrado>. Acesso em: 25 set. 2025.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Linha do tempo com cultivares conta a história da soja no Brasil**. Portal Embrapa, 9 fev. 2025. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/98339960/linha-do-tempo-com-cultivares-conta-a-historia-da-soja-no-brasil>. Acesso em: 30 out. 2025.

FERNANDES, D. C. *et al.* Nutritional composition and protein value of the baru (*Dipteryx alata* Vog.) almond from the Brazilian Savanna. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.90, n.10, p.1650-1655, Aug. 2010. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3997> Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20564449/> Acesso em: set. 2025.

FLORA DO BRASIL 2020. **Plataforma de dados sobre a flora brasileira nativa**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <http://floradobrasil2020.jbrj.gov.br/FB112500>. Acesso em: 8 fev. 2026.

FREITAS, R. E. Expansão da soja no Brasil: crescimento da produção e impactos regionais. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v.54, n.4, p.709-728, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/resr/a/vV6K8XSmRXzn49Khhsbww4D/> Acesso em: 4 out. 2025.

GIBBS, H. K. *et al.* Brazil's Soy Moratorium. Supply-chain governance is needed to avoid deforestation. **Science**, v.347, n.6220, p.377-378, 23 Jan. 2015. DOI: 10.1126/science.aaa0181. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.aaa0181> Acesso em: set. 2025.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da extração vegetal e da silvicultura - PEVS**. 2018. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pevs/quadros/brasil/2018> Acesso em: 20 out. 2025.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Biomass e sistema costeiro-marinho do Brasil: compatível com a escala 1:250.000**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101676.pdf> Acesso em: 7 out. 2025.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola – maio/2020**: distribuição da produção de grãos por Unidade da Federação. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. Disponível em: [https://ftp.ibge.gov.br/Producao\\_Agricola/Levantamento\\_Sistematico\\_da\\_Producao\\_Agricola\\_%5Bmensal%5D/Fasciculo\\_Indicadores\\_IBGE/2020/estProdAgri\\_202005.pdf](https://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_%5Bmensal%5D/Fasciculo_Indicadores_IBGE/2020/estProdAgri_202005.pdf). Acesso em: set. 2025.

LAHSEN, M.; BUSTAMANTE, M. M. C.; DALLA-NORA, E. L. Undervaluing and overexploiting the Brazilian Cerrado at our peril. **Environment: Science and Policy for Sustainable Development**, Saint Louis, v.58, n.6, p.4-15, 2016. <https://doi.org/10.1080/00139157.2016.1229537> Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00139157.2016.1229537> Acesso em: 30 set. 2025.

LEE, G. *et al.* Chronostratigraphy of the Larsen blue-ice area in northern Victoria Land, East Antarctica, and its implications for paleoclimate. **The Cryosphere**, v.16, n.6, p.2301-2324, 2021. Disponível em: <https://tc.copernicus.org/articles/16/2301/2022/> Acesso em: out. 2025.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2014. v.1. Disponível em: <https://search.worldcat.org/pt/title/arvores-brasileiras-manual-de-identificacao-e-cultivo-de-plantas-arboreas-nativas-do-brasil/oclc/1240421733>. Acesso em: set. 2025.

MENDES, R.; GARBEVA, P.; RAAIJMAKERS, J. M. The rhizosphere microbiome: significance of plant beneficial, plant pathogenic, and human pathogenic microorganisms. **FEMS Microbiology Reviews**, v.37, n.5, p.634-663, Sep. 2013. <https://doi.org/10.1111/1574-6976.12028> Disponível em <https://academic.oup.com/femsre/article/37/5/634/540803?login=false> Acesso em: 26 set. 2025.

MOTA, N. M. *et al.* Influência do tamanho e da escarificação dos diásporos na emergência e estabelecimento de *Pterodon emarginatus* Vog. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.39, n.1, 2019. <https://doi.org/10.4336/2019.pfb.39e201801743> Disponível em: <https://pfb.sede.embrapa.br/pfb/article/view/1743> Acesso em: out. 2025.

MONTEIRO, G. de M.; CARVALHO, E. E. N.; VILAS BOAS, E. V. B. Baru (*Dipteryx alata* Vog.): fruit or almond? A review on applicability in food science and technology. **Food Chemistry Advances**, v.1, p.100103, Oct. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2022.100103> Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772753X22000910?via%3Dihub> Acesso em: 30 set. 2025.

NOGUEIRA, A. M. *et al.* Dormência e germinação de sementes de espécies arbóreas do Cerrado. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v.37, n.3, p.23-31, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbs/> Acesso em: 27 set. 2025.

NOMI, G. Y. *et al.* Influência de bactérias promotoras de crescimento na germinação, estaquia e enxertia de espécies de eucalipto. In: EVENTO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA FLORESTAS, 22., 2023. Colombo, PR. **Anais...**

Colombo: Embrapa Florestas, 2023. p.15. (Eventos Técnicos & Científicos, 1)  
Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1161815> Acesso em: 29 de out. 2025.

OLIVEIRA-ALVES, S. C. *et al.* Identification of functional compounds in baru (*Dipteryx alata* Vog.) nuts: nutritional value, volatile and phenolic composition, antioxidant activity and antiproliferative effect. **Food Research International**, v.131, p.109026, May 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109026>  
Disponível em:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S096399692030051X>. Acesso em: 30 set. 2025.

OLIVEIRA, F. S. de *et al.* Microrganismos simbiotes: fixação biológica de nitrogênio e recuperação de pastagens degradadas. In: SOUZA, M. N. (org.). **Tópicos em recuperação de áreas degradadas**: volume II. Canoas, RS: Mérida Publishers, 2021. Cap.6, p.243-272. DOI: <https://doi.org/10.4322/mp.978-65-994457-2-9.c6>. Disponível em: <https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/bitstream/item/4450/1/cap6-microrganismosimbiontes.pdf> Acesso em: out. 2025.

OLIVEIRA, F. S. de *et al.* Microrganismos simbiotes: fixação biológica de nitrogênio e promoção de crescimento vegetal. Repositório Institucional do Incaper/Biblioteca Rui Tendinha/Memória Técnica do Incaper, 13 jun. 2023. In: SOUZA, M. N. (org.). **Tópicos em recuperação de áreas degradadas**, v.2. Canoas, RS: Mérida Publishers, 2021. Disponível em: <http://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/handle/item/4450> Acesso em: 26 out. 2025.

OLIVEIRA, M. C. *et al.* **Manual de viveiro e produção de mudas**: espécies arbóreas nativas do Cerrado. Brasília, DF: Universidade de Brasília; Rede de Sementes do Cerrado, 2016. Disponível em:  
<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1042301> Acesso em: 8 fev. 2026.

OROZCO-MOSQUEDA, M. del C.; GLICK, B. R.; SANTOYO, G. ACC deaminase in plant growth-promoting bacteria (PGPB): an efficient mechanism to counter salt stress in crops. **Microbiological Research**, v.235, p.126439, May 2020. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2020.126439> Disponível em:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0944501320300173?via%3Dihub>. Acesso em: 6 out. 2025.

QUEIROZ, S. É. E.; FIRMINO, T. de O. Efeito do sombreamento na germinação e desenvolvimento de mudas de baru (*Dipteryx alata* Vog.). **Revista Biociências**, Taubaté, v.20, n.1, p.72-77, 2014. Disponível em:  
<https://periodicos.unitau.br/biociencias/article/view/1837>. Acesso em: set. 2025.

RATTER, J. A.; RIBEIRO, J. F.; BRIDGEWATER, S. The Brazilian Cerrado vegetation and threats to its biodiversity. **Annals of Botany**, v.80, n.3, p.223-230, 1997. DOI: 10.1006/anbo.1997.0469 Disponível em: <https://academic.oup.com/aob/article-abstract/80/3/223/2587654?redirectedFrom=PDF> Acesso em: set. 2025.

ROCHA, L. S.; CARDOSO SANTIAGO, R. de A. C. Implicações nutricionais e sensoriais da polpa e casca de baru (*Dipteryx alata* Vog.) na elaboração de pães.

**Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.29, n.4, p.820-825, out./dez. 2009. DOI: 10.1590/S0101-20612009000400019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cta/a/syDM4vGyWrnXPNrTGTLsF7q/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 26 set. 2025.

RODRIGUES, P. H. M. *et al.* Avaliação do uso de inoculantes microbianos sobre a qualidade fermentativa e nutricional da silagem de milho. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.2, p.538-545, jun. 2004. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982004000300003> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbz/a/RgtKVHDzJskkLMwssKdWBxv/?lang=pt> Acesso em: 16 de out. 2025.

SANO, S. M.; BRITO, M. A. de; RIBEIRO, J. F. *Dipteryx alata: Baru*. In: VIEIRA, R. F.; CAMILLO, J.; CORADIN, L. (org.). **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro: Região Centro-Oeste**. Brasília, DF: MMA, p.203-215, 2016. 13p. (Série Biodiversidade; 44). Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1074669/1/baru.pdf> Acesso em: set. 2025.

SILVA, C. F. da *et al.* Fungos micorrízicos arbusculares e matéria orgânica do solo em sistema agroflorestal regenerativo análogo e pastagem. **Agrária – Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.16, n.2, p.1-7, 2021. <https://doi.org/10.5039/agraria.v16i2a8942> Disponível em: <http://www.agraria.pro.br/ojs32/index.php/RBCA/article/view/v16i2a8942> Acesso em: 30 out. 2025.

SILVA, L. G. da *et al.* Atributos físicos, químicos e biológicos de um latossolo de cerrado sob plantio de espécies florestais. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, n.256, 22p. 2009. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/697344>. Acesso em: set. 2025.

SILVA, M. A. *et al.* Microrganismos promotores de crescimento isolados e combinados afetando a produção de biomassa, trocas gasosas e o conteúdo de nutrientes em plantas de soja. **Revista Caatinga**, v.33, n.3, jul.-set. 2020. <https://doi.org/10.1590/1983-21252020v33n305rc> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rcaat/a/B4bNVcYMhxDskxpkJHtcqWp/?lang=en> Acesso em: 30 out. 2025.

SOTERRONI, A. C. *et al.* Stephen. Expanding the soy moratorium to Brazil's Cerrado. **Science Advances**, v.5, n.7, p.eaav7336, 17 Jul. 2019. DOI: 10.1126/sciadv.aav7336. Disponível em: [https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.aav7336?utm\\_source](https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.aav7336?utm_source) Acesso em: set. 2025.

SOUZA Jr., C. M. *et al.* Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazilian biomes with Landsat archive and Earth Engine. **Remote Sensing**, v.12, n.17, art.2735, 25 Aug. 2020. <https://doi.org/10.3390/rs12172735> Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/17/2735> Acesso em: 30 out. 2025.

TIMOFEEVA, A. M.; GALYAMOVA, M. R.; SEDYKH, S. E. Plant Growth-

Promoting Soil Bacteria: Nitrogen Fixation, Phosphate Solubilization, Siderophore Production, and Other Biological Activities. **Plants**, v.12, n.24, p.4074, 2023. DOI: 10.3390/plants12244074. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/12/24/4074>. Acesso em: 17 out. 2025.

TSOTETSI, T. *et al.* *Bacillus* for plant growth promotion and stress resilience: what have we learned? **Plants**, Basel, v.11, n.19, art.2482, 22 set. 2022. <https://doi.org/10.3390/plants11192482> Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/11/19/2482> Acesso em: 30 out. 2025.

VALADÃO, G. M.; SOUZA, Á. N. de. Financial and economic viability analysis of baru almond (*Dipteryx alata* Vogel) agroextractivism in the Urucuia River Valley, Arinos/MG. **Sustainability in Debate**, v.15, n.2, p.103-136, 2024. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/sust/article/view/54132> Acesso em: 23 out. 2025.

VIDAL, R. P.; DIAS, T. P. Bioinsumos a partir das contribuições da agroecologia **Revista Brasileira de Desenvolvimento Sustentável**, São Paulo, v.9, n.1, p.23-39, 2023. Disponível em: [https://periodicos.unb.br/index.php/rbagroecologia/article/view/49927?utm\\_source](https://periodicos.unb.br/index.php/rbagroecologia/article/view/49927?utm_source) Acesso em: 10 out. 2025.

WANG, F. *et al.* *Priestia aryabhatai* improves soil environment and promotes alfalfa growth by enhancing rhizosphere microbial carbon sequestration capacity under greenhouse conditions. **Current Microbiology**, v.81, n.12, p.420, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00284-024-03946-9>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00284-024-03946-9>. Acesso em: 21 out. 2025.

ZANI, G. B.; SANTOS, L. W. Métodos para a superação da dormência de sementes de *Pterodon emarginatus* Vog. **Revista Panorâmica online**, UFMT v.3, Ed. Especial, dez anos da agronomia UFMT/CUA, 26 dez. 2019. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/revistapanoramica/index.php/revistapanoramica/article/view/1104> Acesso em: out. 2025.

ZHOU, Q. *et al.* Impacts of continuous cropping on the rhizospheric and endospheric microbial communities and root exudates of *Astragalus mongholicus*. **BMC Plant Biology**, v.24, p.340, 2024. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05024-5> Disponível em: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1186/s12870-024-05024-5.pdf> Acesso em: 19 out. 2025.

## 5 CAPÍTULO I

### **Emergência e crescimento inicial de *Dipteryx alata* Vogel (baru) e *Pterodon emarginatus* Vogel (sucupira-branca) inoculadas com bactérias promotoras de crescimento vegetal**

**Resumo:** O presente capítulo avalia os efeitos da inoculação com bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV) sobre a emergência e o crescimento inicial de *Dipteryx alata* Vogel (baru) e *Pterodon emarginatus* Vogel (sucupira-branca), espécies nativas do bioma Cerrado com alto valor ecológico, econômico e farmacológico. Ambas apresentam dormência fisiológica e baixo vigor germinativo, o que limita a propagação em viveiros e a restauração de áreas degradadas. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com cinco tratamentos (quatro espécies bacterianas e controle não inoculado) com 10 repetições e 10 sementes por repetição, totalizando 100 sementes por tratamento. As sementes foram inoculadas com isolados bacterianos dos gêneros *Bacillus* e *Priestia*, avaliando-se a emergência e as variáveis biométricas de altura, comprimento de raiz, volume de raiz, tendo sido avaliados o número de folhas e folíolos, o diâmetro do coleto e a massa seca de raiz e parte aérea. Os dados foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk e à análise de variância (ANOVA), seguida pelo teste de Tukey a 5% de significância. Para o baru, as bactérias *B. pumilus* e *B. amyloliquefaciens* promoveram incrementos na massa seca radicular, enquanto a *P. aryabhatai* aumentou significativamente o comprimento da raiz. Para a sucupira, a inoculação com *P. aryabhatai* trouxe incrementos muito superiores aos demais para as variáveis volume e comprimento de raiz, altura e diâmetro. Esta última variável também foi significativamente superior quando inoculada com *B. subtilis*. Os melhores resultados para a germinação tanto para baru quanto sucupira foram obtidos com a inoculação de *B. subtilis* (59% e 38%, respectivamente). Esses resultados evidenciam que a associação entre plantas e insumos biológicos constitui uma estratégia promissora para o crescimento

inicial de culturas agrícolas e espécies nativas do Cerrado, podendo contribuir para práticas agrícolas mais sustentáveis de espécies ainda pouco estudadas, mas fundamentais para a conservação dos ecossistemas e a geração de renda em comunidades locais.

Palavras-chave: *Bacillus*. Bioinsumos. Cerrado. Espécies nativas. Germinação. Sustentabilidade.

## 5 CHAPTER I

### **Emergence and early growth of *Dipteryx alata* Vogel (baru) and *Pterodon emarginatus* Vogel (white sucupira) inoculated with plant growth-promoting bacteria**

**ABSTRACT:** This chapter assesses the effects of inoculating plant growth-promoting bacteria (PGPB) on the germination and early growth of *Dipteryx alata* (baru) and *Pterodon emarginatus* (white sucupira), two native species of the Brazilian Cerrado (Savanna) biome that has significant ecological, economic, and pharmacological importance. Both species show physiological dormancy and low germinative vigor, which limit their propagation in nurseries and hinder the restoration of degraded areas. The experiment followed a completely randomized design, comprising five treatments (four bacterial species and a non-inoculated control), with ten replicates of ten seeds each one, totaling one hundred seeds per treatment. Seeds were inoculated with bacterial isolates belonging to the *Bacillus* and *Priestia* genera and evaluated for germination rate as well as biometric variables, including plant height, root length, root volume, number of leaves and leaflets, stem diameter, and root and shoot dry mass. Data were analyzed applying the Shapiro-Wilk normality test and analysis of variance (ANOVA), followed by Tukey's test at 5% significance level. *B. pumilus* and *B. amyloliquefaciens* promoted increases in root dry mass in baru, while *P. aryabhatai* significantly increased its root length. Inoculating *P. aryabhatai* in sucupira led to substantially greater increases in its root volume, root length, plant height, and stem diameter than the other treatments. Stem diameter was also significantly higher when inoculated with *B. subtilis*. The highest germination rates for both baru and sucupira were obtained with *B. subtilis* inoculation (59% and 38%, respectively). These findings indicate that the association between plants and biological inputs constitutes a promising strategy for enhance the early growth of

agricultural crops and native species in Cerrado. This approach may contribute to more sustainable agricultural practices, especially for species that remain poorly studied but are essential for ecosystem conservation and for generating income in local communities.

Keywords: *Bacillus*. Bioinputs. Brazilian Cerrado (Savanna). Germination. Native species. Sustainability.

## 5.1 Introdução

O bioma Cerrado, reconhecido como *hotspot* mundial de biodiversidade, abriga uma expressiva diversidade de espécies vegetais adaptadas a condições edafoclimáticas extremas, com solos pobres em nutrientes e períodos prolongados de seca (Ribeiro, J.; Walter, 2008). Entre essas espécies, destacam-se *Dipteryx alata* Vogel (baru) e *Pterodon emarginatus* Vogel (sucupira-branca), ambas pertencentes à família Fabaceae e de elevada importância ecológica, socioeconômica e farmacológica (Mascaro; Teixeira; Gilbert, 2004).

O baru tem amêndoas ricas em proteínas, lipídios e compostos antioxidantes, sendo considerado um alimento funcional de alto valor nutricional e de crescente relevância para a bioeconomia regional (Cardoso, 2023). Já a sucupira-branca é amplamente estudada por suas propriedades medicinais atribuídas à presença de diterpenos e flavonoides com ação anti-inflamatória, analgésica e antitumoral. Ambas têm sido utilizadas em sistemas agroflorestais e em projetos de restauração ecológica, por aliarem resiliência ambiental e múltiplos usos econômicos.

Entretanto, a emergência dessas espécies é reconhecidamente limitada. O baru apresenta tegumento extremamente espesso e impermeável, o que confere dormência física e dificulta a absorção de água e gases, resultando em emergência irregular e lenta (Silva M. *et al.*, 2020). A sucupira-branca, por sua vez, exibe emergência reduzida causada pela lignificação do endocarpo e pelo embrião sensível às variações de umidade e temperatura (Marchão *et al.*, 2025). Esses fatores dificultam a propagação em viveiros e reduzem a taxa de estabelecimento em campo.

Nesse contexto, o uso de bioinsumos microbiológicos surge como alternativa promissora. Tais produtos, compostos por microrganismos vivos capazes de promover o crescimento vegetal, vêm sendo amplamente estudados pela agricultura sustentável (Meyer, 2022). No Brasil, o conceito foi institucionalizado pela Lei nº 14.785/2023, que



instituiu a Política Nacional de Bioinsumos, definindo-os como “produtos, processos ou tecnologias que utilizem componentes da biodiversidade para uso na produção agrícola, florestal e na restauração de ecossistemas” (Brasil, 2023, p.9). Essa legislação representa um marco regulatório para o incentivo à substituição gradual dos insumos químicos por práticas biotecnológicas de base ecológica.

Entre os microrganismos utilizados como bioinsumos, as bactérias do gênero *Bacillus* e *Priestia* têm recebido destaque por sua capacidade de produzir fitormônios (auxinas e giberelinas), solubilizar fósforo, fixar nitrogênio e aumentar a tolerância das plantas a estresses bióticos e abióticos (Vidal; Dias, 2023). Estudos apontam que o uso de *Bacillus amyloliquefaciens* e *Bacillus subtilis* pode aumentar em até 30% o vigor e a biomassa de plântulas em espécies florestais nativas (Caillaud *et al.*, 2020).

Portanto, este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos da inoculação de sementes de baru e sucupira-branca com os isolados bacterianos promotores de crescimento vegetal *Priestia aryabhatai* (CCT 7986), *Bacillus subtilis* (UVF S1), *Bacillus amyloliquefaciens* (CCT 7994) e *Bacillus pumilus* (S29207) sobre o desempenho germinativo e o desenvolvimento inicial das plântulas, contribuindo com evidências científicas para a aplicação de bioinsumos em espécies nativas do Cerrado.

## **5.2 Material e métodos**

### **5.2.1 Caracterização da área de estudo**

O experimento foi conduzido no período de setembro de 2024 a maio de 2025, em casa de vegetação localizada no Instituto Federal Goiano – Campus Ceres, Goiás, Brasil (15°21'01.5" S; 49°35'55.2" W; 580 m de altitude) (Fig. 5.1). O clima regional é classificado como Aw, tropical, com estação seca durante o inverno, segundo Köppen-Geiger (Peel; Finlayson; McMahon, 2007).

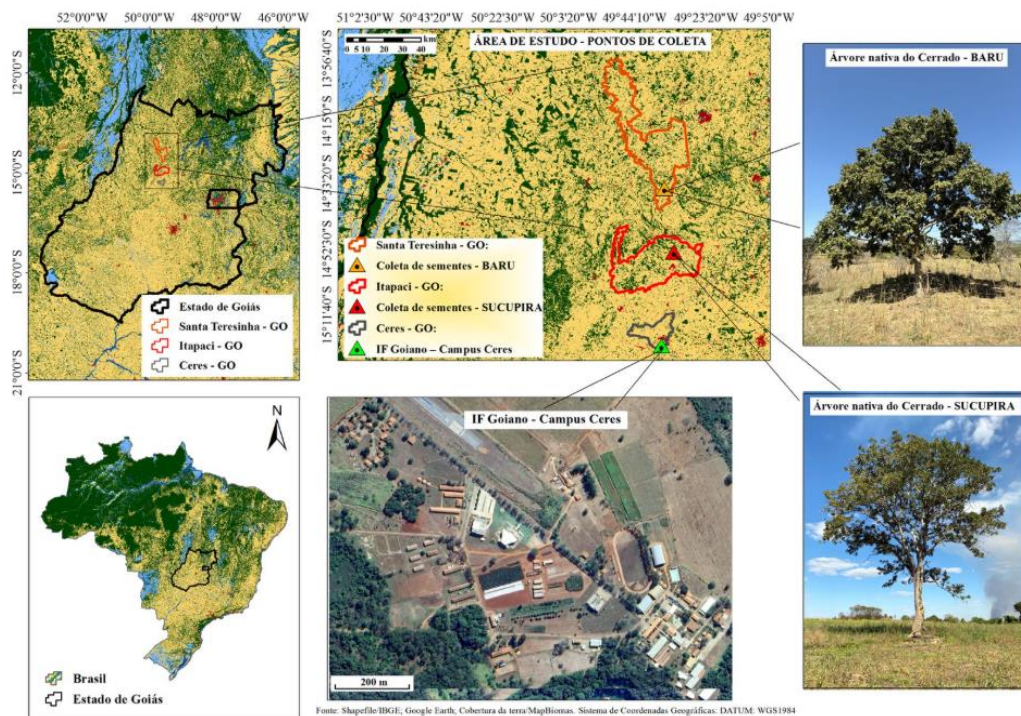


Figura 5.1 - Área de estudo e pontos de coleta de sementes de espécies nativas do Cerrado em Goiás. Localização dos municípios de Santa Teresinha (coleta de sementes de *Dipteryx alata* – baru), Itapaci (coleta de sementes de *Pterodon emarginatus* – sucupira) e Ceres (IF Goiano – Campus Ceres), no estado de Goiás, Brasil. São apresentadas imagens de satélite da região, bem como registros fotográficos das espécies arbóreas nativas do Cerrado utilizadas na pesquisa

Fonte: Elaborado pelo autor (2025), com base em shapefiles do IBGE, imagens do Google Earth e dados de cobertura da terra do MapBiomass. Sistema de Coordenadas Geográficas – DATUM: WGS84.

No período experimental as condições ambientais foram monitoradas pela estação meteorológica automática do IF Goiano – Campus Ceres, localizada a, aproximadamente, 300 m da casa de vegetação. A temperatura média do ar foi de  $27,8\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , com máximas médias de  $33,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  e mínimas médias de  $21,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . A umidade relativa média manteve-se em torno de  $68\% \pm 7\%$ , com picos superiores a 80% nos meses chuvosos (dezembro a março) e redução para cerca de 55% nos meses mais secos (agosto a outubro).

A casa de vegetação apresentava estrutura em arco metálico, coberta com filme de polietileno transparente de  $150\text{ }\mu\text{m}$ , dotada de laterais teladas para ventilação natural e sistema automatizado de irrigação por aspersão, controlado por temporizador. O canteiro era de areia e a temperatura interna manteve-se próxima da externa, com pequenas variações em função do regime de ventilação, garantindo condições de cultivo estáveis e luminosidade média de  $800\text{ a }1.200\text{ }\mu\text{mol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$  de radiação fotossinteticamente ativa (PAR).

## 5.2.2 Delineamento experimental e layout

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado (DIC), composto por cinco tratamentos e 10 repetições em linha com 10 sementes cada uma, totalizando 100 sementes por tratamento e 500 sementes ao todo. Os tratamentos consistiram na inoculação das sementes com quatro isolados bacterianos na concentração de  $1 \times 10^8$  UFC  $\text{mL}^{-1}$ , obtidos comercialmente da empresa Solubio Tecnologias Agrícolas:

- a) *priestia aryabhatai* (cct 7986);
- b) *bacillus subtilis* (uvf s1);
- c) *bacillus amyloliquefaciens* (cct 7994);
- d) *bacillus pumilus* (s 29207); e
- e) controle não inoculado

### 5.2.3 Microbiolização e semeadura

Foram utilizadas sementes de *Dipteryx alata* Vogel (baru) coletadas no Cerrado goiano, na zona rural do município de Santa Teresinha, Goiás, localizado aproximadamente nas coordenadas 15°21' S e 49°34' W, a 570 m de altitude. Os frutos de baru foram abertos manualmente com auxílio de facão, e as sementes extraídas passaram por processo de seleção, sendo descartadas aquelas verdes, imaturas ou com danos físicos aparentes.

Em seguida, foi feita a desinfecção superficial das sementes, conforme metodologia adaptada de F. Oliveira *et al.* (2021). As sementes foram lavadas sequencialmente em hipoclorito de sódio a 1,5% por 2 min, etanol a 70% por 1 min e, posteriormente, enxaguadas três vezes em água destilada estéril. Após a desinfecção, as sementes foram secas sob fluxo laminar de ar estéril e submetidas à microbiolização com as soluções bacterianas.

A inoculação foi feita por imersão das sementes em suspensões bacterianas ( $1 \times 10^8$  UFC  $\text{mL}^{-1}$ ) durante 30 min, acondicionadas em sacos plásticos previamente esterilizados e mantidas sob leve agitação manual. Decorrido esse período, as sementes foram secas à temperatura ambiente por aproximadamente 30 min e, em seguida, semeadas em canteiros com areia, dispostas em fileiras de 1,0 m de comprimento, espaçadas 10 cm entre fileiras e 5 cm entre sementes. O sistema de irrigação por aspersão automatizada manteve umidade constante e adequada ao crescimento das plântulas.

O tratamento controle foi constituído por sementes embebidas em água destilada

estéril por 30 min, sob as mesmas condições de temperatura, tempo e agitação aplicadas às sementes inoculadas, garantindo isonomia experimental quanto à hidratação e ao manejo. Após a embebição, todas as sementes foram secas em temperatura ambiente.

#### 5.2.4 Análises de emergência e de parâmetros biométricos de plântulas

A emergência das sementes foi observada e registrada diariamente até a estabilização, sendo contabilizado o número de plântulas emergidas por tratamento. Tendo esses dados como referência, foi calculada a porcentagem da emergência pelo somatório das plântulas normais, obtidas durante as contagens de acordo com o protocolo estabelecido (Brasil, 2025).

Após 60 dias da semeadura, foram mensurados os seguintes parâmetros biométricos: altura das plantas (cm), número de folhas e número de folíolos (para baru), diâmetro do coleto (mm), comprimento da parte aérea (cm) e da raiz (cm), volume da raiz (cm<sup>3</sup>), massa seca da parte aérea (g) e massa seca da raiz (g).

As mensurações biométricas foram feitas utilizando régua milimetrada, paquímetro digital e balança analítica. A determinação da massa seca foi feita após a secagem das amostras em estufa de circulação de ar forçada a 65 °C até peso constante.

#### 5.2.5 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk (significância de 5%) para verificar a homocedasticidade. Posteriormente, foram submetidos à análise de variância (ANOVA) utilizando o teste F, tendo as variáveis significativas sido comparadas utilizando o teste de comparação de médias de Tukey para os tipos de inoculação com níveis de significância de 5% e 1%. Todas as análises foram feitas utilizando o software estatístico R (versão R-4.2.1 para Windows, R Foundation, Kaysville, UT, EUA).

### 5.3 Resultados e discussão

#### 5.3.1 Análise da emergência de plântulas

A emergência das sementes de *Dipteryx alata* (baru) e *Pterodon emarginatus* (sucupira) foi influenciada pela inoculação com bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCVs), demonstrando que a interação entre microrganismos e a espécie hospedeira interfere significativamente no desempenho fisiológico inicial das sementes. Os resultados evidenciaram que os efeitos das BPCVs variam de acordo com a espécie vegetal, a bactéria empregada e os mecanismos fisiológicos ativados durante a germinação.

Para *Dipteryx alata*, observou-se comportamento promissor com os tratamentos bacterianos em relação à emergência das sementes. O tratamento com *Bacillus subtilis* apresentou o melhor desempenho, com 59% de germinação, configurando-se como o mais eficiente na promoção da emergência. Em seguida, aparecem *P. aryabhatai* e *B. pumilus*, ambos com 54%, demonstrando potencial intermediário, mas ainda superior ao controle (45%), o que comprova ação positiva dos microrganismos sobre o processo germinativo. Por outro lado, *B. amyloliquefaciens* apresentou o menor resultado (39%), sugerindo menor capacidade de estimular a germinação nessa espécie florestal, possivelmente por demandar maior tempo de interação simbiótica para manifestar seus efeitos fisiológicos.

Este resultado é de suma importância, visto que a germinação do baru é a etapa mais crítica e limitante para a propagação da espécie, sendo lenta, irregular e de baixa taxa de sucesso. A dormência das sementes de baru se deve principalmente ao tegumento rígido e impermeável. Portanto, técnicas biotecnológicas como o uso de bioinsumos para superação da germinação do baru contribuem para o desenvolvimento e a conservação da espécie (Corrêa, G.; Rocha, M.; Naves, 2020)

Para a espécie *Pterodon emarginatus*, os resultados também foram mais expressivos para os tratamentos microbianos. O controle apresentou apenas 11,7% de germinação, indicando baixa germinabilidade, própria da espécie, característica típica da família Fabaceae com dormência fisiológica acentuada. Os tratamentos bacterianos elevaram substancialmente a germinação, com destaque para *B. subtilis*, que apresentou o melhor desempenho (38,3%), seguido por *B. pumilus* (35,0%) e *P. aryabhatai* (30,0%). *B. amyloliquefaciens* apresentou resultado discretamente superior ao controle (16,7%), porém com desempenho pior em relação aos demais bioinoculantes. A baixa porcentagem de germinação observada pode ser explicada pela ocorrência de dormência das sementes, mecanismo já relatado para muitas espécies do Cerrado (Zaidan; Carreira, 2008).

Esse comportamento indica que, para a sucupira, os microrganismos atuaram

como bioativadores fisiológicos, acelerando a superação da dormência e promovendo a ativação metabólica da germinação, provavelmente em razão da produção de enzimas hidrolíticas (amilases, proteases) e de fitormônios como ácido indolacético (AIA) e ácido giberélico (GA<sub>3</sub>). A superioridade de *B. subtilis* em ambas as espécies reforça seu potencial como promotor direto de germinação, possivelmente por apresentar maior versatilidade metabólica e mecanismos de ação ligados à produção de fitormônios, que auxiliam na superação de dormência (Nascimento; Oliveira, M., 1999).

Ambas as espécies vegetais utilizadas neste trabalho apresentam destacada dormência das sementes. Desta forma, a pesquisa sugere a efetividade dos microrganismos em auxiliar no processo germinativo das plantas nativas do Cerrado.

### 5.3.2 Análises biométricas de baru (*Dipteryx alata*)

As análises biométricas das plântulas de *Dipteryx alata* evidenciaram diferenças significativas em função da inoculação com bactérias promotoras de crescimento vegetal. A Tabela 5.1 apresenta os resultados das variáveis biométricas avaliadas em plântulas de *Dipteryx alata*, submetidas à inoculação com diferentes microrganismos promotores de crescimento vegetal. Essa análise é fundamental para interpretar a influência dos bioinsumos no crescimento inicial da espécie, etapa determinante para o estabelecimento em campo, sobretudo em se tratando de espécies nativas do Cerrado com crescimento inicial naturalmente lento.

Tabela 5.1 - Resultados médios e desvio padrão de massa seca de raiz (MSR) e de parte aérea (MSPA), volume de raiz (VR), comprimento de raiz (CR), número de folhas (NF) e de folíolos (NFo), altura (A) e diâmetro (D) do coleto de baru inoculado com bactérias promotoras de crescimento vegetal ou não inoculado (controle) em sementes de *Dipteryx alata*. Ceres/GO

Tratamentos	MSR (g)	MSPA (g)	VR (cm <sup>3</sup> )	CR (cm)
<i>P. aryabhatai</i>	7,77 ± 0,21 b	8,95 ± 0,53 a	3,60 ± 1,43 a	17,21 ± 2,37 a
<i>B. pumilus</i>	9,04 ± 0,32 a	8,01 ± 0,34 b	3,60 ± 1,58 a	16,83 ± 2,47 ab
<i>B. subtilis</i>	7,83 ± 0,51 b	8,67 ± 0,69 a	3,60 ± 2,22 a	15,32 ± 1,32 ab
<i>B. amyloliquefaciens</i>	9,09 ± 0,60 a	8,06 ± 0,21 b	4,00 ± 0,82 a	16,13 ± 2,18 ab
Controle	7,77 ± 0,31 b	9,11 ± 0,38 a	3,20 ± 1,32 a	14,49 ± 1,74 b
C.V.(%)	5,02	5,38	42,79	12,86
<i>P. aryabhatai</i>	36,50 ± 4,30 a	5,40 ± 0,70 a	18,93 ± 3,16 a	4,62 ± 0,41 a
<i>B. pumilus</i>	41,10 ± 6,01 a	5,40 ± 0,84 a	18,68 ± 2,83 a	4,36 ± 0,39 a
<i>B. subtilis</i>	35,70 ± 5,31 a	5,70 ± 0,82 a	18,67 ± 3,29 a	4,12 ± 0,39 a
<i>B. amyloliquefaciens</i>	36,50 ± 4,22 a	5,10 ± 0,57 a	17,30 ± 2,74 a	4,64 ± 0,62 a
Controle	36,00 ± 5,94 a	5,80 ± 1,03 a	16,99 ± 0,85 a	4,61 ± 1,05a
C.V.(%)	14,03	14,75	15,03	14,00

Fonte: Autoria própria (2025).

\*Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05).

Na variável massa seca da raiz (MSR), observou-se diferença estatística significativa entre os tratamentos, com destaque para *Bacillus pumilus* e *B. amyloliquefaciens*, que formaram um grupo superior, diferindo do controle e dos demais tratamentos. Esse resultado pode indicar que esses microrganismos têm capacidade de estimular a alocação de biomassa radicular, favorecendo processos de crescimento subterrâneo, formação de raízes laterais e maior absorção de nutrientes, estando associado à capacidade dessas bactérias de sintetizar fitormônios como ácido indolacético (AIA), efeitos já relatados por Bashan e De-Bashan (2010). Spaepen, Vanderleyden e Remans (2007) descrevem o papel do AIA microbiano na promoção de crescimento vegetal e por Idris *et al.* (2007), que confirmam a atuação de cepas de *Bacillus* na modulação do crescimento radicular via rotas dependentes de triptofano.

Souza Jr. *et al.* (2020) também reforçam a relação positiva entre PGPR e aumento de biomassa radicular em espécies arbóreas tropicais. A inoculação de *B. subtilis* e *G. Clarum* beneficiou mudas de baru, por meio de uma exsudação radicular mais rica, fonte de fotoassimilados (Lannucci *et al.*, 2021).

A variável massa seca da parte aérea (MSPA) formou dois grupos estatisticamente distintos, com *P. aryabhatai*, *B. subtilis* e o controle posicionados no grupo maior, diferente estatisticamente dos demais, indicando maior eficiência no acúmulo de biomassa aérea. Esse resultado sugere que esses tratamentos favoreceram a expansão vegetativa, mantendo desempenho semelhante ao crescimento natural das plantas não inoculadas. Já a *B. pumilus* e a *B. amyloliquefaciens* demonstraram menor capacidade de promover o crescimento aéreo, possivelmente devido à priorização do crescimento radicular.

Para as variáveis volume de raiz (VR), número de folhas (NF), número de folíolos (NFo), altura de planta (A) e diâmetro do coleto (D) não houve diferença estatística significativa. Vessey (2003) e Bhattacharyya e Jha (2012) apontam que muitas respostas fisiológicas precedem mudanças estruturais perceptíveis nas plantas, o que pode ter ocorrido com as espécies vegetais aqui testadas.

De forma geral, os resultados demonstram que, para o baru, as variáveis relacionadas ao acúmulo de biomassa (MSR, MSPA e CR) foram as que responderam mais rapidamente à inoculação, com destaque para *B. pumilus* e *B. amyloliquefaciens*, enquanto o comprimento de raiz evidenciou a superioridade de *P. aryabhatai* na alongação radicular (Fig. 5.2).



Figura 5.2 - Efeito da inoculação com bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCVs) sobre o desenvolvimento inicial de *Dipteryx alata* (baru). Plântulas de *D. alata* submetidas aos tratamentos: controle não inoculado, *Priestia aryabhatai*, *Bacillus pumilus*, *Bacillus subtilis* e *Bacillus amyloliquefaciens*

Fonte: Arquivo pessoal (2025).

Esse padrão sugere uma alocação preferencial de recursos para a porção subterrânea, característica adaptativa importante em ambientes típicos do Cerrado, onde a limitação hídrica e a baixa disponibilidade de nutrientes são determinantes ecológicos (Carvalho, J. *et al.*, 1999). A melhor resposta observada em *D. alata* à ação de *Bacillus* spp. pode estar associada à capacidade de essas bactérias produzirem fitormônios, sideróforos, compostos orgânicos voláteis (VOCs) e enzimas solubilizadoras de fósforo, como reportado por M. Silva *et al.* (2020), resultando em maior absorção nutricional e robustez estrutural do sistema radicular.

### 5.3.3 Análises biométricas de sucupira (*Pterodon emarginatus*)

As análises biométricas das plântulas de *Pterodon emarginatus* (Tabela 5.2) evidenciaram diferenças significativas entre os tratamentos, especialmente nas variáveis associadas ao desenvolvimento estrutural, como volume radicular, comprimento de raiz, altura e diâmetro do coleto. Essas características são essenciais para avaliar o vigor inicial das mudas, considerando que refletem diretamente a capacidade de exploração do solo, a robustez do caule e a sustentabilidade fisiológica do crescimento aéreo e radicular.



Tabela 5.2 - Resultados médios e desvio padrão de massa seca de raiz (MSR) e de parte aérea (MSPA), volume de raiz (VR), comprimento de raiz (CR), número de folhas (NF), altura (A) e diâmetro (D) do coleto de sucupira inoculado com bactérias promotoras de crescimento vegetal ou não inoculado (controle), para *Pterodon emarginatus*, Ceres/GO

Tratamentos	MSR (g)	MSPA (g)	VR (cm <sup>3</sup> )	CR (cm)
<i>P. aryabhatai</i>	0,07 ± 0,07 a	0,06 ± 0,05 a	3,57 ± 1,72 a	16,77 ± 2,69 a
<i>B. pumilus</i>	0,03 ± 0,02 a	0,06 ± 0,04 a	0,64 ± 0,21 b	11,73 ± 1,46 b
<i>B. subtilis</i>	0,02 ± 0,01 a	0,08 ± 0,07 a	0,91 ± 0,12 b	11,80 ± 2,45 b
<i>B. amyloliquefaciens</i>	0,03 ± 0,01 a	0,05 ± 0,04 a	0,51 ± 0,20 b	4,60 ± 0,77 c
Controle	0,03 ± 0,04 a	0,09 ± 0,04 a	0,80 ± 0,18 b	10,73 ± 1,71 b
C.V.(%)	98,73	72,39	60,92	17,48
<i>P. aryabhatai</i>	38,00 ± 3,56 b	18,07 ± 3,17 a	2,19 ± 0,24 a	-
<i>B. pumilus</i>	62,71 ± 13,72 a	5,54 ± 1,45 b	1,50 ± 0,20 b	-
<i>B. subtilis</i>	60,28 ± 17,57 a	6,07 ± 1,02 b	2,04 ± 0,45 a	-
<i>B. amyloliquefaciens</i>	41,57 ± 17,51 ab	4,60 ± 0,77 b	1,39 ± 0,27 b	-
Controle	61,43 ± 12,38 a	5,28 ± 0,55 b	1,49 ± 0,24 b	-
C.V.(%)	26,37	21,23	17,11	-

Fonte: Autoria própria (2025).

\*Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05)

O tratamento com *Priestia aryabhatai* destacou-se de forma consistente em diversas variáveis estruturais, apresentando comportamento estatisticamente superior e diferente em mais da metade das variáveis analisadas (Fig. 5.3). Esta bactéria proporcionou maior volume de raiz (3,57 cm<sup>3</sup>), comprimento de raiz (16,77 cm), altura (18,07 cm) e diâmetro do coleto (2,19 mm). Esse desempenho evidencia que a bactéria promoveu não apenas maior crescimento radicular, mas também favoreceu o crescimento vertical e o espessamento do coleto, indicando uma ação fisiológica equilibrada e eficiente sobre a arquitetura morfológica das plântulas, como já observado em estudos envolvendo *Priestia* spp. e leguminosas tropicais (Gibbs *et al.*, 2015).

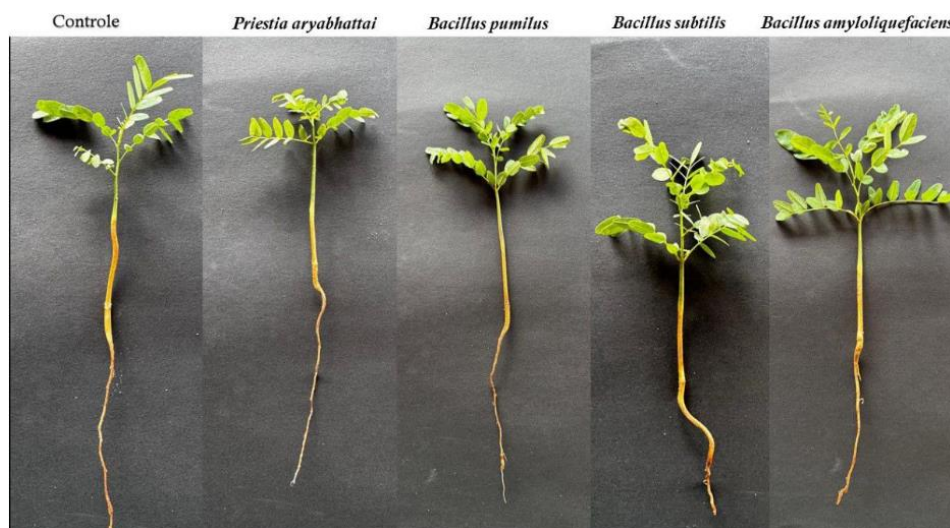


Figura 5.3 - Inoculação com bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCVs) sobre o crescimento inicial de *Pterodon emarginatus* (sucupira). Plântulas de Baru submetidas aos tratamentos: controle não inoculado, *Priestia aryabhatai*, *Bacillus pumilus*, *Bacillus subtilis* e *Bacillus amyloliquefaciens*

Fonte: Arquivo pessoal (2025).

A bactéria *P. aryabhattai* apresenta um comportamento de atuar como promotora de crescimento vegetal, com maior potencial para induzir o alongamento radicular e o vigor estrutural das plântulas, possivelmente pela produção de auxinas e giberelinas, que estimulam a diferenciação celular, o desenvolvimento vascular e a expansão tecidual (Spaepen; Vanderleyden; Remans, 2007). Além disso, o desempenho estatisticamente melhor nas variáveis radiculares indica maior capacidade de explorar o substrato, favorecendo a absorção de nutrientes e garantindo vantagens importantes para o transplante futuro, fenômeno comum em mudas inoculadas com PGPR (Vessey, 2003).

Esses resultados indicam uma simbiose efetiva, promovendo equilíbrio entre crescimento aéreo e subterrâneo. A sucupira demonstrou maior plasticidade morfofisiológica, distribuindo a biomassa de forma mais harmoniosa entre as partes da planta, o que sugere maior capacidade de integração metabólica entre a bactéria e o hospedeiro (Souza Jr. *et al.*, 2020). Tal característica é particularmente relevante para a restauração ecológica, considerando que mudas com estrutura equilibrada apresentam maior potencial de sobrevivência e estabelecimento em campo (Mendes; Garbeva; Raaijmakers, 2013).

Para as variáveis de MSR e MSPA, não houve diferenças significativas entre os tratamentos. Esse resultado demonstra que a *P. aryabhattai* priorizou o crescimento estrutural (raízes, estatura e diâmetro), em detrimento da emissão foliar, enquanto *B. pumilus* e *B. subtilis* favoreceram a formação de folhas, característica frequentemente associada à produção de citocininas, compostos envolvidos no estímulo do crescimento foliar (Lugtenberg; Kamilova, 2009).

Ainda que os coeficientes de variação tenham sido relativamente altos para algumas características, como volume de raiz, esses valores são compatíveis com ensaios envolvendo espécies florestais nativas e microrganismos rizosféricos, que naturalmente apresentam maior variabilidade fenotípica (Berg, 2009; Mendes; Garbeva; Raaijmakers, 2013).

O desempenho diferenciado entre *Priestia* spp. e *Bacillus* spp. reforça a existência de especificidade nas interações bioquímicas entre microrganismos e espécies hospedeiras, o que justifica comportamentos distintos entre espécies nativas, refletindo diferenças nas estratégias de alocação de biomassa e na compatibilidade fisiológica entre microrganismos e hospedeiro (Glick, 2012). Conforme apontado por Poorter *et al.* (2012) e por Lugtenberg e Kamilova (2009), os efeitos de PGPR podem divergir entre espécies em decorrência de variações na arquitetura vegetal e nos mecanismos de interação.

De modo geral, a sucupira demonstrou melhor resposta estrutural em relação ao uso de *P. aryabhatai*, enquanto no baru, foi observado melhor desempenho com *B. pumilus* e *B. subtilis*, o que reforça a necessidade de seleção direcionada de bioinoculantes conforme a espécie vegetal (Bhattacharyya; Jha, 2012). Segundo Andrade *et al.* (2023), a interação efetiva entre bactérias e plantas resulta da convergência de três fatores principais: colonização rizosférica bem-sucedida, produção de metabólitos bioativos e resposta regulatória na planta hospedeira

A variabilidade interespecífica nas respostas às BPCVs pode ser explicada pela composição qualitativa e quantitativa dos exsudatos radiculares, que atuam como sinalizadores químicos responsáveis por atrair e modular a colonização microbiana (Andrade *et al.*, 2023). A bactéria *P. aryabhatai*, por exemplo, tem capacidade de produzir poliaminas e exopolissacarídeos, que não apenas estimulam a rizogênese, mas também conferem tolerância a estresses abióticos e auxiliam na agregação do solo (Tsoetsi *et al.*, 2022).

Além disso, os padrões de alocação de biomassa observados reforçam a existência de estratégias distintas entre as espécies. *Dipteryx alata* concentrou maior investimento no sistema radicular, estratégia associada à sua adaptação a solos profundos e arenosos, em que a busca por água e nutrientes é prioritária. Já a *Pterodon emarginatus* exibiu distribuição mais equilibrada entre parte aérea e subterrânea, indicando maior eficiência fotossintética e rápido estabelecimento fisiológico em ambiente controlado de viveiro. Souza Jr. *et al.* (2020) destacam que esse padrão é característico de espécies com maior plasticidade fenotípica, o que permite resposta adaptativa mais ampla frente à inoculação microbiana, conforme também discutido por Poorter *et al.* (2012).

## 5.4 Conclusão

Conclui-se que a inoculação das bactérias promotoras de crescimento vegetal representa uma estratégia biotecnológica promissora para a emergência e o fortalecimento do crescimento inicial de *Dipteryx alata* (baru) e *Pterodon emarginatus* (sucupira).

A análise das interações simbióticas mostrou que as respostas variaram conforme a espécie vegetal e o microrganismo envolvido.

Há a necessidade de seleção de cepas específicas e compatíveis para cada hospedeiro.

No entanto, entre as espécies bacterianas testadas, destaca-se *P. aryabhatai*, que contribuiu para o incremento do maior número de variáveis.

Os resultados obtidos abrem caminhos para futuras pesquisas voltadas à otimização de formulações de inoculantes, contribuindo para o fortalecimento das práticas agroecológicas, a recuperação de áreas degradadas e o manejo sustentável de espécies nativas no Cerrado brasileiro.

## 5.5 Referências

ANDRADE, L. A. de *et al.* Plant growth-promoting Rhizobacteria for sustainable agricultural production. **Microorganisms**, v.11, n.4, p.1088, 2023. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11041088> Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-2607/11/4/1088> Acesso em: 8 fev. 2026.

BASHAN, Y.; DE-BASHAN, L. E. How the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* promotes plant growth: a critical assessment. **Advances in Agronomy**, v.108, p.77-136, Dec. 2010. Chap. 2. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(10\)08002-8](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(10)08002-8) Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/chapter/bookseries/abs/pii/S0065211310080028?via%3Dihub> Acesso em: out. 2025

BERG, G. Plant-microbe interactions promoting plant growth and health: perspectives for controlled use of microorganisms in agriculture. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v.84, n.1, p.11-18, 2009. DOI: 10.1007/s00253-009-2092-7 Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19568745/> Acesso em: out. 2025.

BHATTACHARYYA, P. N.; JHA, D. K. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v.28, n.4, p.1327-1350, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11274-011-0979-9> <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22805914/> Acesso em: out. 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária (Mapa). **Bioinsumos**. Programa Nacional de Bioinsumos. Brasília: Mapa, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inovacao/bioinsumos> Acesso em: out. 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa). Programa Nacional de Bioinsumos: **Catálogo Nacional de Bioinsumos**. 1.ed., Brasília: Mapa, 27 maio 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inovacao/bioinsumos/o-programa/catalogo-nacional-de-bioinsumos> Acesso em: out. 2025.

CAILLAUD, M.-A. *et al.* Precise populations' description in dairy ecosystems using digital droplet PCR: the case of *L. lactis* group in starters. **Frontiers in Microbiology**, v.11, art.1906, 6 Aug. 2020. DOI: 10.3389/fmicb.2020.01906. Disponível em:

<https://www.frontiersin.org/journals/microbiology/articles/10.3389/fmicb.2020.01906/full>. Acesso em: 25 out. 2025.

CARDOSO, N. D. S. Potencial alimentar e socioeconômico do baru (*Dipteryx alata* Vog.): perspectivas de mercado e conservação. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais**, v.18, n.1, p.4565, 2023. Disponível em: [https://boletimcn.museu-goeldi.br/bcnaturais/pt\\_BR?utm\\_source](https://boletimcn.museu-goeldi.br/bcnaturais/pt_BR?utm_source) Acesso em: out. 2025.

CARVALHO, J. C. T. *et al.* Anti-inflammatory activity of the crude extract from the fruits of *Pterodon emarginatus* Vogel (Fabaceae). **Journal of Ethnopharmacology**, v.64, p.127-133, 1999. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378874198001160?via%3Dihub> . Acesso em: out. 2025.

CORRÊA, G. C.; ROCHA, M. R.; NAVES, R. V. Germinação de sementes e emergência de plântulas de baru (*Dipteryx alata* Vog.) nos Cerrados do estado de Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.30, n.2, p.17-23, 2000. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/pat/article/view/2580> Acesso em: out. 2025.

GIBBS, H. K. *et al.* Brazil's Soy Moratorium. **Science**, v.347, n.6220, p.377-378, 23 jan. 2015. DOI: 10.1126/science.aaa0181. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.aaa0181> Acesso em: set. 2025.

GLICK, B. R. Plant growth-promoting bacteria: mechanisms and applications. **Scientifica**, v.2012, n.5, p.963401, Sept. 2012. doi: 10.6064/2012/963401 Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24278762/> Acesso em: out. 2025.

IDRIS, E. E. *et al.* Tryptophan-dependent production of indole-3-acetic acid (IAA) affects plant growth of *Arabidopsis thaliana*. **Molecular Plant-Microbe Interactions**, v.20, p.619626, May 2007. <https://doi.org/10.1094/MPMI-20-6-0619> Disponível em: <https://apsjournals.apsnet.org/doi/10.1094/MPMI-20-6-0619> Acesso em: out. de 2025.

LANNUCCI, A. *et al.* Relations between root morphology, root exudate compounds and rhizosphere microbial community in durum wheat. **Applied Soil Ecology**, v.158, p.103781, Feb. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103781>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0929139320307101?via%3Dihub> Acesso em: out. 2025.

LUGTENBERG, B.; KAMILOVA, F. Plant-growth-promoting rhizobacteria. **Annual Review of Microbiology**, v.63, n.1, p.541-556, Jin. 2009. doi: 10.1146/annurev.micro.62.081307.16291818 Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19575558/> Acesso em: out. de 2025.

MARCHÃO, R. L. *et al.* Improving soybean development and grain yield by complementary inoculation with growth-promoting bacteria *Azospirillum*, *Pseudomonas*, *Priestia* and *Bacillus*. **Plants**, Basel, v.14, n.3, p.402, 2025. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/14/3/402> Acesso em: out. 2025.

MASCARO, U. C. P.; TEIXEIRA, D. F.; GILBERT, B. Evaluation of the sustainable harvesting of sucupira branca (*Pterodon emarginatus* Vog.) fruits after natural fall.

**Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v.7, n.1, p.23-25, 2004. Disponível em: <https://rbpm.emnuvens.com.br/revista/article/view/422/361>. Acesso em: 8 fev. 2026.

MENDES, R.; GARBEVA, P.; RAAIJMAKERS, J. M. The rhizosphere microbiome: significance of plant beneficial, plant pathogenic, and human pathogenic microorganisms. **FEMS Microbiology Reviews**, v.37, n.5, p.634-663, 2013. DOI: 10.1111/1574-6976.12028. Disponível em: <https://academic.oup.com/femsre/article/37/5/634/2399732> Acesso em: out. 2025.

MEYER, E. **Aplicação de inoculantes microbianos em espécies herbáceas empregadas na revegetação de áreas de mineração de carvão em recuperação**. 2022. 125f. Tese (Doutorado em Recursos Genéticos Vegetais) - Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/234742>. Acesso em: 30 out. 2025.

NASCIMENTO, M. do P. S. C. B. do; OLIVEIRA, M. E. de A. Quebra da dormência de sementes de quatro leguminosas arbóreas. **Acta Botânica Brasílica**, v.13, n.2, p. 29-137, Aug. 1999. <https://doi.org/10.1590/S0102-33061999000200002>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/abb/a/77rC4FnL6kFfMkcYKLnSxLP/?lang=pt> Acesso em: out. de 2025.

OLIVEIRA, F. S. de *et al.* Microrganismos simbiotes: fixação biológica de nitrogênio e recuperação de pastagens degradadas. *In: SOUZA, M. N. (org.). Tópicos em recuperação de áreas degradadas: volume II*. Canoas, RS: Mérida Publishers, 2021. Cap.6, p.243-272. DOI: <https://doi.org/10.4322/mp.978-65-994457-2-9.c6>. Disponível em: <https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/bitstream/item/4450/1/cap6-microrganismosimbiontes.pdf> Acesso em: out. 2025.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; McMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, v.11, n.5, p.1633-1644, 2007. Disponível em: <https://hess.copernicus.org/articles/11/1633/2007/>. Acesso em: 6 fev. 2026.

POORTER, H. *et al.* Biomass allocation to leaves, stems and roots: meta-analysis of interspecific variation and environmental control. **New Phytologist**, v.193, n.1, p.30-50, 2012. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.03952.x> Disponível em: <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1469-8137.2011.03952.x> Acesso em: out. de 2025.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. *In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de; RIBEIRO, J. F. (org.). Cerrado: ecologia e flora*. Brasília: Embrapa Cerrados/Embrapa Informação Tecnológica, 1.ed., v.1, p.151-212, 2008. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/283072910\\_As\\_principais\\_fitofisionomias\\_do\\_bioma\\_Cerrado](https://www.researchgate.net/publication/283072910_As_principais_fitofisionomias_do_bioma_Cerrado) Acesso em: out. de 2025.

SILVA, M. A. *et al.* Microrganismos promotores de crescimento isolados e combinados afetando a produção de biomassa, trocas gasosas e o conteúdo de nutrientes em plantas de soja. **Revista Caatinga**, v.33, n.3, jul.-set. 2020. <https://doi.org/10.1590/1983-21252020v33n305rc> Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rcaat/a/B4bNVcYMhxDskxpkJHtcqWp/?lang=en> Acesso em: 30 out. 2025.

SOUZA Jr., C. M. *et al.* Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazilian biomes with Landsat archive and Earth Engine. **Remote Sensing**, v.12, n.17, art.2735, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/17/2735> Acesso em: 30 out. 2025.

SPAEPEN, S.; VANDERLEYDEN, J.; REMANS, R. Indole-3-acetic acid in microbial and microorganism–plant signaling. **FEMS Microbiology Reviews**, v.31, n.4, p.425-448, Jul. 2007. DOI: 10.1111/j.1574-6976.2007.00072.x Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17509086/> Acesso em: out. de 2025.

TSOTETSI, T. *et al.* *Bacillus* for plant growth promotion and stress resilience: what have we learned? **Plants**, Basel, v.11, n.19, art.2482, 22 set. 2022. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36235347/> Acesso em: 30 out. 2025.

VESSEY, J. K. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. **Plant and Soil**, v.255, p.571-586, 22 jul. 2003. <https://doi.org/10.1023/A:102603721689> Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1026037216893#citeas> Acesso em: out. de 2025.

VIDAL, R. P.; DIAS, T. P. Bioinsumos a partir das contribuições da agroecologia **Revista Brasileira de Desenvolvimento Sustentável**, São Paulo, v.9, n.1, p.23-39, 2023. Disponível em: [https://periodicos.unb.br/index.php/rbagroecologia/article/view/49927?utm\\_source](https://periodicos.unb.br/index.php/rbagroecologia/article/view/49927?utm_source) Acesso em: 10 out. 2025.

ZAIDAN, L. B. P.; CARREIRA, R. C. Seed germination in Cerrado species. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.20, n.3, p.167-181, set. 2008. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202008000300002> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bjpp/a/vMDXmfJrHgtsGvkMhYHbQJm/?format=html&lang=en> Acesso em: out. de 2025.

## 6 CAPÍTULO II

### **Emergência e crescimento inicial de soja inoculada com bactérias promotoras de crescimento vegetal**

**Resumo:** A cultura da soja desempenha papel fundamental na economia e na segurança alimentar globais. Este capítulo investiga os efeitos da inoculação de quatro isolados bacterianos sobre o crescimento inicial de *Glycine max* (L.) Merr., visando a promover alternativas sustentáveis à agricultura convencional. Os tratamentos foram feitos com *Priestia aryabhatai*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus pumilus* e controle não inoculado. As variáveis analisadas incluíram emergência, comprimento de parte aérea e radicular, massa seca e diâmetro do coleto. Os resultados indicaram que os tratamentos com *B. subtilis* e *P. aryabhatai* promoveram ganhos significativos no número de folhas e comprimento radicular, indicando potencial para uso como bioinsumos em programas de manejo biológico.

**Palavras-chave:** *Bacillus*. *Glycine max*. Bactérias promotoras de crescimento. Inoculação. Sustentabilidade.

## 6 CHAPTER II

### **Emergence and initial growth of soybean inoculated with plant growth-promoting bacteria**

**ABSTRACT:** Soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] plays a fundamental role in the global economy and food security. This chapter searches for the effects of inoculating four bacterial isolates on the early development of soybean, aiming to promote sustainable alternatives to conventional agriculture. Treatments were carried out with *Priestia aryabhatai*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus pumilus*, and a non-



inoculated control. The evaluated variables included emergence rate, shoot and root length, dry mass, and stem diameter. Results indicated that treatments with *B. subtilis* and *P. aryabhatai* led to significant increases in leaf number and root length, indicating their potential for use as bioinputs in biological management programs.

Keywords: *Bacillus*. *Glycine max*. Inoculation. Plant growth-promoting bacteria. Soybean. Sustainability.

## 6.1 Introdução

A soja (*Glycine max* (L.) Merr.) é uma das culturas agrícolas mais relevantes em escala global, desempenhando papel essencial na segurança alimentar e na economia mundial. Sua versatilidade e seu elevado valor nutritivo fazem dela uma das principais fontes de proteína e óleo vegetal, utilizadas tanto na alimentação humana quanto na produção de ração animal. No Brasil, destaca-se como a principal *commodity* agrícola, liderando a produção e a exportação, além de integrar cadeias produtivas nacionais e internacionais de grande complexidade logística e tecnológica (Conab, 2023).

As bactérias promotoras de crescimento vegetal favorecem a cultura por diferentes mecanismos, incluindo a fixação biológica de nitrogênio, a solubilização de nutrientes, a síntese de fitormônios (auxinas, giberelinas e citocininas) e a indução de resistência sistêmica contra estresses bióticos e abióticos. Dessa forma, contribuem para maior germinação, desenvolvimento radicular e absorção de nutrientes essenciais, além de melhorar a tolerância a estresses como déficit hídrico e salinidade (Andrade, L. *et al.*, 2023; Nomi *et al.*, 2023).

Os resultados reforçam que a inoculação com bactérias promotoras de crescimento vegetal representa uma estratégia eficaz para promover o crescimento inicial da soja e reduzir a dependência de insumos sintéticos, contribuindo para a mitigação da emissão de gases de efeito estufa e para a diminuição da contaminação de recursos hídricos (Oliveira, D. *et al.*, 2022).

A adoção de bioinsumos microbiológicos na cultura da soja tem sido cada vez maior no Brasil, com o uso de rizobactérias simbiotes, como o *Bradyrhizobium*, na forma de inoculantes comerciais, sendo amplamente aceitos e comprovadamente eficazes (Meyer, E., 2022)

Neste cenário, o uso de sementes de soja para testar a eficácia de bactérias

promotoras de crescimento vegetal se torna um modelo de estudo, podendo contribuir para o desenvolvimento de novos inoculantes ou consórcios microbianos com múltiplos mecanismos de ação, mantendo altos índices de produtividade, ao mesmo tempo em que reduz os impactos ambientais.

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial das bactérias *Priestia aryabhattai* CCT 7986, *Bacillus subtilis* UVF S1, *Bacillus amyloliquefaciens* CCT 7994 e *Bacillus pumilus* S2907 na germinação e crescimento inicial da soja.

## **6.2 Material e métodos**

### **6.2.1 Localização e Período Experimental**

O experimento foi conduzido de setembro de 2024 a maio de 2025, em casa de vegetação localizada no Instituto Federal Goiano – Campus Ceres, município de Ceres, Goiás, Brasil, em canteiros contendo areia e sob sistema de irrigação por aspersão automatizada. As condições ambientais foram monitoradas diariamente, tendo sido mantidas umidade e temperatura adequadas ao desenvolvimento das plântulas.

### **6.2.2 Material Vegetal**

Foram utilizadas sementes de *Glycine max* (L.) Merr. (soja), cultivar Brasmax Olimpo IPRO. Antes da semeadura, as sementes foram submetidas aos procedimentos de inoculação descritos a seguir.

### **6.2.3 Delineamento experimental**

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado (DIC), composto por cinco tratamentos e 10 repetições em linha com 10 sementes cada, totalizando 100 sementes por tratamento e 500 sementes no total. Os tratamentos consistiram na inoculação das sementes com quatro isolados bacterianos na concentração de  $1 \times 10^8$  UFC mL<sup>-1</sup>, obtidos comercialmente da empresa Solubio Tecnologias Agrícolas, sendo eles:

- a) *priestia aryabhattai* (cct 7986);
- b) *bacillus subtilis* (uvf s1);

- c) *bacillus amyloliquefaciens* (cct 7994);
- d) *bacillus pumilus* (s 29207); e
- e) controle não inoculado.

#### 6.2.4 Microbiolização e semeadura

Inicialmente, procedeu-se à desinfecção superficial das sementes. As sementes foram lavadas sequencialmente em hipoclorito de sódio a 1,5% por 2 min, etanol a 70% por 1 min e, posteriormente, enxaguadas três vezes com água destilada estéril. Após a desinfecção, as sementes foram secas sob fluxo laminar de ar estéril e submetidas à microbiolização com as soluções bacterianas.

A inoculação foi feita por imersão das sementes em suspensões bacterianas ( $1 \times 10^8$  UFC mL<sup>-1</sup>) durante 30 min, acondicionadas em sacos plásticos previamente esterilizados e mantidas sob leve agitação manual. Decorrido esse período, as sementes foram secas em temperatura ambiente por aproximadamente 30 min e, em seguida, semeadas em canteiros de areia esterilizada, dispostas em fileiras de 1,0 m de comprimento, espaçadas 10 cm entre fileiras e 5 cm entre sementes. O sistema de irrigação por aspersão automatizada manteve umidade constante e adequada ao desenvolvimento das plântulas.

O tratamento controle foi constituído por sementes embebidas em água destilada estéril por 30 min, sob as mesmas condições de temperatura, tempo e agitação aplicadas às sementes inoculadas, garantindo isonomia experimental quanto à hidratação e ao manejo. Após a embebição, todas as sementes foram secas em temperatura ambiente.

#### 6.2.5 Análises de emergência e de parâmetros biométricos

A emergência das sementes foi observada e registrada diariamente até a estabilização, tendo sido contabilizado o número de plântulas emergidas por tratamento. Tendo esses dados como referência, foi calculada a porcentagem de emergência (%) de acordo com o protocolo estabelecido por Brasil (2025).

Após 35 dias da semeadura, foram mensurados os seguintes parâmetros biométricos: altura das plantas (cm), número de folhas, diâmetro do coleto (mm), comprimento da parte aérea (cm) e da raiz (cm), volume da raiz (cm<sup>3</sup>), massa seca da

parte aérea (g) e massa seca da raiz (g).

As mensurações biométricas foram feitas utilizando régua milimetrada, paquímetro digital e balança analítica. A determinação da massa seca foi feita após a secagem das amostras em estufa de circulação de ar forçada a 65 °C por 72 h.

### 6.2.6 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk (significância de 5%) para verificar a homocedasticidade. Posteriormente, foram submetidos à análise de variância (ANOVA), utilizando o teste F, e as variáveis significativas foram comparadas utilizando o teste de comparação de médias de Tukey para os tipos de inoculação com níveis de significância de 5% e 1%. Todas as análises foram feitas utilizando o software estatístico R (versão R-4.2.1 para Windows, R Foundation, Kaysville, UT, EUA).

## 6.3 Resultados e discussão

### 6.3.1 Análise germinativa de *Glycine max*

A emergência das sementes de *Glycine max* teve início no quarto dia após a semeadura, estabilizando-se no décimo dia. O tratamento com *Priestia aryabhatai* apresentou a maior emergência (92%), seguido pelo controle (76%), *B. subtilis* (74%) e *B. amyloliquefaciens* (72%), enquanto *B. pumilus* obteve o menor resultado (35%).

A elevada germinação observada com *P. aryabhatai* pode estar associada à produção de auxinas, giberelinas e enzimas hidrolíticas, que favorecem a ativação metabólica e a protrusão radicular, promovendo maior vigor inicial (Spaepen; Vanderleyden; Remans, 2007). Já os tratamentos com *B. subtilis* e *B. amyloliquefaciens*, apesar de não superarem estatisticamente o controle, apresentaram boa uniformidade, comportamento similar ao descrito por M. Silva *et al.* (2020), que relatam efeitos positivos dessas bactérias sobre a emergência de sementes de soja, bem como ao observado por Bhattacharyya e Jha (2012) para PGPR em leguminosas.

A baixa emergência observada com *B. pumilus* sugere menor compatibilidade simbiótica com a soja nesta fase inicial, reforçando que os efeitos das bactérias

promotoras de crescimento são espécie e estágio-dependentes (Glick, 2012). Portanto, ainda que a emergência não tenha diferido estatisticamente, os dados indicam que *P. aryabhatai* e *B. subtilis* apresentam potencial bioestimulante, especialmente para a uniformidade e vigor inicial, características importantes para a fase subsequente de crescimento.

### 6.3.2 Análises biométricas das plântulas de soja

As variáveis biométricas avaliadas demonstraram que a inoculação bacteriana exerceu efeitos distintos sobre o crescimento das plântulas. A Tabela 6.1 mostra as médias de massa seca da raiz (MSR), massa seca da parte aérea (MSPA), volume radicular (VR), comprimento da raiz, número de folhas, altura e diâmetro do coleto.

Tabela 6.1 - Resultados médios e desvio padrão de massa seca de raiz (MSR) e de parte aérea (MSPA), volume de raiz (VR), comprimento de raiz (CR), número de folhas (NF), altura (A) e diâmetro (D) do coleto de soja inoculado com bactérias promotoras de crescimento vegetal ou não inoculado (controle)

Tratamentos	MSR (g)	MSPA (g)	VR (cm <sup>3</sup> )	CR (cm)
<i>P. aryabhatai</i>	0,11 ± 0,01 ab	0,15 ± 0,06 ab	0,64 ± 0,44 a	8,18 ± 1,49 a
<i>B. pumilus</i>	0,08 ± 0,04 b	0,07 ± 0,08 c	0,89 ± 0,61 a	7,71 ± 0,91 ab
<i>B. subtilis</i>	0,11 ± 0,02 ab	0,13 ± 0,03 bc	0,49 ± 0,46 a	7,69 ± 1,29 ab
<i>B. amyloliquefaciens</i>	0,19 ± 0,20 a	0,09 ± 0,05 bc	0,42 ± 0,45 a	6,86 ± 1,45 ab
Controle	0,19 ± 0,06 a	0,20 ± 0,08 a	0,66 ± 0,54 a	6,61 ± 1,16 b
C.V.(%)	71,58	48,51	81,60	17,25
<i>P. aryabhatai</i>	8,00 ± 1,04 ab	11,19 ± 1,14 a	2,51 ± 0,24 a	-
<i>B. pumilus</i>	8,07 ± 2,23 ab	7,89 ± 1,24 c	2,68 ± 0,40 a	-
<i>B. subtilis</i>	9,07 ± 1,73 a	11,18 ± 1,45 a	2,53 ± 0,24 a	-
<i>B. amyloliquefaciens</i>	6,86 ± 1,10 b	9,72 ± 1,18 b	2,66 ± 0,22 a	-
Controle	7,57 ± 0,85 ab	11,36 ± 1,02 a	2,16 ± 0,33 b	-
C.V.(%)	18,74	11,80	11,74	-

Fonte: Elaboração própria (2025).

\*Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05).

A massa seca da raiz (MSR) também apresentou significância estatística, indicando um padrão distinto entre alocação de biomassa e alongamento radicular. A bactéria *B. amyloliquefaciens* e o controle compuseram o grupo superior, indicando maior acúmulo de biomassa radicular. *P. aryabhatai* e *B. subtilis* posicionaram-se no grupo intermediário, enquanto *B. pumilus* compôs isoladamente o grupo inferior. Esses resultados sugerem que, enquanto alguns microrganismos favorecem a expansão longitudinal da raiz, outros estimulam a formação de tecidos de reserva e espessamento radicular, possivelmente associados à lignificação, ramificação lateral e à formação de raízes secundárias (Jamil *et al.*, 2022).

Na variável massa seca da parte aérea (MSPA), o controle apresentou o mesmo

desempenho, seguido pelos tratamentos bacterianos, que se localizaram no grupo intermediário. Esse comportamento sugere que, no estágio inicial, os microrganismos podem ter promovido maior investimento no sistema radicular e no espessamento do coleto, em detrimento do acúmulo de biomassa aérea, o que pode refletir uma estratégia adaptativa voltada à sustentação estrutural inicial (Poorter *et al.*, 2012).

Em relação ao volume radicular (VR), não foram observadas diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos, com todos os valores agrupados. Esse resultado indica que, na fase inicial, os efeitos das bactérias não se manifestaram de forma expressiva nessa variável volumétrica, possivelmente em razão do curto período experimental ou da dependência de estímulos adicionais, como condições ambientais, microbiota nativa ou maior tempo de interação simbiótica (Mendes; Garbeva; Raaijmakers, 2013).

Esses resultados indicam que *P. aryabhatai* exerceu papel relevante na expansão radicular em profundidade, aumentando a capacidade de exploração do solo, absorção de nutrientes e adaptação a ambientes com estresse hídrico, demonstrando maior compatibilidade fisiológica com a espécie hospedeira.

A variável número de folhas (NF) apresentou três agrupamentos distintos, indicando atuação diferenciada dos microrganismos na emissão de estruturas fotossintéticas. A *B. subtilis* destacou-se isoladamente no grupo superior, evidenciando maior potencial em estimular a formação da área foliar, possivelmente associada à produção de citocininas, hormônios responsáveis pela indução de gemas e desenvolvimento foliar (Bhattacharyya; Jha, 2012; Lugtenberg; Kamilova, 2009). *P. aryabhatai*, *B. pumilus* e o controle compuseram o grupo intermediário, enquanto *B. amyloliquefaciens* posicionou-se no grupo inferior, sugerindo menor influência na emissão foliar.

Esse comportamento indica que algumas bactérias priorizam o crescimento estrutural vertical (altura e diâmetro), enquanto outras estimulam a emissão foliar, refletindo mecanismos fisiológicos distintos.

A variável altura das plântulas (A) apresentou diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos, evidenciando respostas contrastantes em relação ao crescimento aéreo inicial. Observou-se que a *Priestia aryabhatai*, *Bacillus subtilis* e o controle compuseram o grupo maior estatisticamente diferente, indicando maior eficiência desses tratamentos em promover o alongamento caulinar, característica intimamente associada ao vigor e à competitividade inicial das plantas. Esse desempenho

pode estar relacionado à produção de fitormônios como auxinas e giberelinas, que atuam diretamente na alongação celular e no estímulo ao crescimento da parte aérea (Spaepen; Vanderleyden; Remans, 2007; Taiz *et al.*, 2017). Por outro lado, *B. pumilus* e *B. amyloliquefaciens* agruparam-se no grupo inferior, sugerindo menor eficiência na indução de crescimento vertical nesta fase.

De forma complementar, o diâmetro do coleto (D) também apresentou diferenças significativas, com formação de dois grupos distintos. *P. aryabhatai*, *B. subtilis*, *B. pumilus* e *B. amyloliquefaciens* compuseram o grupo com melhor resultado e foi diferente estatisticamente do controle, evidenciando capacidade de esses microrganismos promoverem o espessamento do caule, enquanto o controle se isolou no grupo inferior. Esse comportamento demonstra que a inoculação bacteriana, independentemente da cepa, contribuiu para o incremento estrutural das plantas, favorecendo o fortalecimento do tecido vascular e maior resistência mecânica, fatores essenciais para o suporte da parte aérea e para a tolerância ao estresse hídrico ou ao transplantio (Berg, 2009; Glick, 2012).

De maneira geral, os resultados demonstram que os bioinoculantes exerceram efeitos diferenciados sobre as variáveis morfofisiológicas, indicando que cada cepa bacteriana atua por mecanismos específicos, modulando distintos aspectos do crescimento vegetal. Enquanto a *P. aryabhatai* demonstrou destaque nas variáveis estruturais, especialmente na altura, comprimento de raiz e diâmetro, *B. subtilis* demonstrou melhor desempenho em número de folhas e boa resposta em relação ao diâmetro (Fig. 6.1).



Figura 6.1 - Efeito da inoculação com bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCVs) sobre o desenvolvimento inicial de plântulas de *Glycine max* (soja). As plântulas foram submetidas aos tratamentos com *Bacillus amyloliquefaciens*, *Priestia aryabhatai*, *Bacillus pumilus*, *Bacillus subtilis* e ao controle (sem inoculação)

Fonte: Elaboração própria (2025).

Esses padrões confirmam que a promoção de crescimento vegetal por bactérias promotoras de crescimento vegetal não ocorre de forma uniforme, mas em resposta à compatibilidade entre microrganismo e hospedeiro, além das vias fisiológicas ativadas, reforçando a importância da seleção direcionada de cepas em consonância com as características da cultura e os objetivos agrônômicos (Bashan; De-Bashan, 2010; Glick, 2012).

## 6.4 Conclusão

Os resultados demonstraram que a soja é uma cultura altamente responsiva à inoculação microbiana, podendo ser utilizada em testes iniciais de eficácia de bioinsumos *in vivo*.

As bactérias promotoras de crescimento vegetal testadas exerceram influência positiva em variáveis morfofisiológicas relevantes, tendo a bactéria *P. aryabhatai* se destacado por promover incrementos em um maior número de variáveis.

Portanto, conclui-se que a aplicação de bioinsumos bacterianos, especialmente contendo *Priestia aryabhatai* e *Bacillus subtilis*, sugere uma abordagem viável e sustentável para o manejo biológico da cultura da soja.

Recomenda-se a continuidade dos estudos em diferentes condições de campo e estádios de desenvolvimento, bem como em consórcio com inoculantes já estabelecidos para a soja, a fim de validar e potencializar o uso desses inoculantes no contexto da agricultura de base biotecnológica e sustentável.

## 6.5 Referências

ANDRADE, L. A. de *et al.* Plant Growth-Promoting Rhizobacteria for Sustainable Agricultural Production. **Microorganisms**, v.11, n.4, p.1088, 21 abr. 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-2607/11/4/1088>. Acesso em: set. 2025.

BASHAN, Y.; DE-BASHAN, L. E. How the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* promotes plant growth: a critical assessment. **Advances in Agronomy**, v.108, p.77-136, Dec. 2010. Chap.2. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(10\)08002-8](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(10)08002-8) Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/chapter/bookseries/abs/pii/S0065211310080028?via%3Dihub> Acesso em: out. 2025.

BERG, G. Plant-microbe interactions promoting plant growth and health: perspectives for controlled use of microorganisms in agriculture. **Applied Microbiology and**



**Biotechnology**, v.84, n.1, p.11-18, 2009. DOI: 10.1007/s00253-009-2092-7 Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19568745/> Acesso em: out. 2025.

BHATTACHARYYA, P. N.; JHA, D. K. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v.28, n.4, p.1327-1350, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11274-011-0979-9> <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22805914/> Acesso em: out. 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento-Mapa. Programa Nacional de Bioinsumos. **Catálogo Nacional de Bioinsumos**. 1.ed., Brasília: Mapa, 27 maio 2025. 2025a. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inovacao/bioinsumos/o-programa/catalogo-nacional-de-bioinsumos> Acesso em: out. 2025.

BRASIL. Ministério do Planejamento e Orçamento. **Estrutura da Estratégia 2050: visão de futuro e diretrizes para o desenvolvimento nacional de longo prazo**. 10 out. 2025. 2025b. Disponível em: <https://www.gov.br/planejamento/pt-br/assuntos/planejamento/Brasil2050>. Acesso em: set. 2025.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento (Brasil). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos – Safra 2022/2023**. Brasília: CONAB, 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/graos> Acesso em: out. 2025.

GLICK, B. R. Plant growth-promoting bacteria: mechanisms and applications. **Scientifica**, v.2012, n.5, p.963401, Sept. 2012. doi: 10.6064/2012/963401 Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24278762/> Acesso em: out. 2025.

JAMIL, F. *et al.* Rhizosphere signaling: insights into plant–rhizomicrobiome interactions for sustainable agronomy. **Microorganisms**, v.10, n.5, p.899, 25 abr. 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-2607/10/5/899>. Acesso em: out. 2025.

LUGTENBERG, B.; KAMILOVA, F. Plant-growth-promoting rhizobacteria. **Annual Review of Microbiology**, v.63, n.1, p.541-556, Jin. 2009. doi: 10.1146/annurev.micro.62.081307.16291818 Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19575558/> Acesso em: out. 2025.

MENDES, R.; GARBEVA, P.; RAAIJMAKERS, J. M. The rhizosphere microbiome: significance of plant beneficial, plant pathogenic, and human pathogenic microorganisms. **FEMS Microbiology Reviews**, v.37, n.5, p.634-663, 2013. DOI: 10.1111/1574-6976.12028. Disponível em <https://academic.oup.com/femsre/article/37/5/634/540803?login=false> Acesso em: 26 set. 2025.

NOMI, G. Y. *et al.* Efeitos de bactérias promotoras de crescimento de plantas na germinação e enraizamento de *Eucalyptus* spp. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v.43, p.e2023002, 2023. Disponível em: <https://pfb.cnpf.embrapa.br> Acesso em: 29 de out. 2025.

POORTER, H. *et al.* Biomass allocation to leaves, stems and roots: meta-analysis of

interspecific variation and environmental control. **New Phytologist**, v.193, n.1, p.30-50, 2012. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.03952.x> Disponível em: <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1469-8137.2011.03952.x> Acesso em: out. 2025.

SILVA, M. A. G. et al. Microrganismos promotores de crescimento isolados e combinados afetando a produção de biomassa em plantas de soja. **Revista Caatinga**, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rcaat/a/B4bNVcYMhxDskxpkJHtcqWp/?lang=en> Acesso em: 30 out. 2025

SPAEPEN, S.; VANDERLEYDEN, J.; REMANS, R. Indole-3-acetic acid in microbial and microorganism-plant signaling. **FEMS Microbiology Reviews**, v.31, n.4, p.425-448, Jul. 2007. DOI: 10.1111/j.1574-6976.2007.00072.x Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17509086/> Acesso em: out. 2025.

TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal** [recurso eletrônico]. Tradução Alexandra Antunes Mastroberti *et al.*; revisão técnica Paulo Luiz de Oliveira, 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888p. Disponível em: [https://books.google.com.br/books?id=PpO4DQAAQBAJ&hl=es&source=gbs\\_navlink\\_s\\_s](https://books.google.com.br/books?id=PpO4DQAAQBAJ&hl=es&source=gbs_navlink_s_s) Acesso em: out. 2025.

## 7 CONCLUSÃO GERAL

A presente dissertação teve como objetivo compreender os efeitos da inoculação de diferentes isolados bacterianos no processo de germinação e no desenvolvimento inicial de espécies de reconhecida importância para o Cerrado e para a agricultura brasileira: *Dipteryx alata* (baru), *Pterodon emarginatus* (sucupira) e *Glycine max* (soja). A investigação partiu do pressuposto de que os bioinsumos microbiológicos representam uma alternativa promissora à agricultura convencional, tanto no fortalecimento da produção de espécies nativas quanto na ampliação da sustentabilidade de culturas amplamente cultivadas.

Os resultados obtidos demonstraram que a ação dos microrganismos não é homogênea, variando conforme a espécie e o parâmetro morfológico avaliado. Para o baru, as bactérias *B. pumilus* e *B. amyloliquefaciens* promoveram incrementos na massa seca radicular, enquanto *P. aryabhatai* aumentou significativamente o comprimento da raiz. Para a sucupira, a inoculação com *P. aryabhatai* trouxe incrementos muito superiores aos demais para as variáveis volume e comprimento de raiz, altura e diâmetro. Esta última variável também foi significativamente superior quando inoculada com *B. subtilis*. A soja apresentou ganhos no comprimento da raiz com *P. aryabhatai* e no número de folhas com a inoculação de *B. subtilis*. O diâmetro de soja, quando inoculada com as bactérias, foi superior ao controle. As melhores taxas de germinação foram obtidas com a inoculação de *B. subtilis*, para as espécies nativas e com *P. aryabhatai* para a soja.

Embora as respostas tenham variado conforme a espécie e o tipo de microrganismo utilizado, *P. aryabhatai* se destacou por proporcionar incrementos em todas as espécies vegetais testadas, tendo a sucupira respondido melhor à inoculação com esta bactéria. Esses resultados evidenciam que a associação entre plantas e insumos biológicos constitui uma estratégia biotecnológica promissora e viável para a germinação e o crescimento inicial de culturas agrícolas consolidadas e espécies nativas do Cerrado, podendo contribuir para o aumento da produtividade através de práticas agrícolas mais sustentáveis e menos dependentes de insumos químicos.