

IDENTIFICAÇÃO DE LINHAGENS DE FEIJÃO-VAGEM (*Phaseolus vulgaris* L.) DE ALTA EFICIÊNCIA EM RESPOSTA À  
*Gluconacetobacter diazotrophicus* PAL-5

**DANIEL QUINTANILHA PACHECO**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE  
DARCY RIBEIRO – UENF

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ  
MARÇO – 2025

IDENTIFICAÇÃO DE LINHAGENS DE FEIJÃO-VAGEM (*Phaseolus vulgaris* L.) DE ALTA EFICIÊNCIA EM RESPOSTA À *Gluconacetobacter diazotrophicus* PAL-5

**DANIEL QUINTANILHA PACHECO**

“Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Genética e Melhoramento de Plantas.”

Orientador: Prof. Geraldo de Amaral Gravina

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ  
MARÇO – 2025

## FICHA CATALOGRÁFICA

UENF - Bibliotecas

Elaborada com os dados fornecidos pelo autor.

P116

Pacheco, Daniel Quintanilha.

Identificação de linhagens de feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) de alta eficiência em resposta à *Gluconacetobacter diazotrophicus* PAL-5 / Daniel Quintanilha Pacheco. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2025.

78 f. : il.

Bibliografia: 55 - 63.

Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2025.  
Orientador: Geraldo de Amaral Gravina.

1. Feijão-vagem. 2. variabilidade genética. 3. bactéria diazotrófica. 4. inoculação. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD - 631.5233

IDENTIFICAÇÃO DE LINHAGENS DE FEIJÃO-VAGEM (*Phaseolus vulgaris* L.) DE ALTA EFICIÊNCIA EM RESPOSTA À *Gluconacetobacter diazotrophicus* PAL-5

DANIEL QUINTANILHA PACHECO

“Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Genética e Melhoramento de Plantas.”

Aprovada em 21 de março de 2025.

Comissão Examinadora:



Documento assinado digitalmente

TAMARA REBECCA ALBUQUERQUE DE OLIVEIRA

Data: 17/06/2025 13:27:29-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof.<sup>a</sup> Tâmara Rebecca Albuquerque de Oliveira (D.Sc. em Genética e Melhoramento de Plantas) - UFS

---

Prof. Rogerio Figueiredo Daher (D.Sc. em Produção Vegetal) - UENF

---

Prof. Marcelo Vivas (D.Sc. em Genética e Melhoramento de Plantas) - UENF

---

Prof. Geraldo de Amaral Gravina (D.Sc. em Produção Vegetal) - UENF  
(Orientador)

"Se não arriscarmos, não criaremos o futuro"

(Monkey D. Luffy)

Por Eiichiro Oda

## **DEDICATÓRIA**

À memória da minha avó  
Oneida Nogueira,  
dedico.

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro e ao Programa de Pós-graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, por abrirem as portas para essa realização acadêmica.

À CAPES, pelo apoio inestimável através da concessão da bolsa de mestrado. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001

Ao Professor Geraldo Gravina, cuja orientação e incentivo foram essenciais para o desenvolvimento desta pesquisa.

A todos os professores do Programa de Genética e Melhoramento de Plantas, pela contribuição enriquecedora à minha formação.

Ao secretário José Daniel, pelas valiosas orientações e suporte em relação aos trâmites burocráticos.

À minha família, pelo apoio constante e incentivo, que me possibilitaram acesso à educação e à oportunidade de estudar.

À Giovanna Hollie Dias, minha namorada, companheira e fonte de inspiração diária, a pessoa que mais me apoia.

Aos companheiros caninos e felinos da UENF, pelo suporte emocional nos momentos mais desafiadores dessa jornada.

A todas as pessoas que, de forma direta ou indireta, contribuíram para este trabalho, mas que não foram mencionadas aqui, o meu sincero agradecimento.

Muito obrigado!

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	x
<b>ABSTRACT</b> .....	xii
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	4
2.1 Objetivo Geral.....	4
2.2 Objetivos Específicos.....	4
<b>3. CAPÍTULOS</b> .....	5
<b>3.1 CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO E SUA VARIABILIDADE GENÉTICA EM SEU DESEMPENHO RODUTIVO</b> .....	5
<b>3.1.1 INTRODUÇÃO</b> .....	5
<b>3.1.2 REVISÃO</b> .....	7
3.1.2.1 O Feijão-Vagem .....	7
3.1.2.2 Cultivo do feijoeiro .....	9
3.1.2.3 Importância Socioeconômica do feijoeiro .....	11
<b>3.1.3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	12
3.1.3.1 Introdução do material vegetal no germoplasma.....	12
3.1.3.2 Avaliação de germoplasma em campo de genótipos de feijão-vagem.....	13
3.1.3.3 Análise estatística.....	15
<b>3.1.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	16
3.1.4.1 Avaliação de sementes.....	16
3.1.4.2 Avaliação de vagens.....	18

3.1.4.3 Avaliação de germoplasma .....	20
<b>3.1.5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>30</b>
<b>3.2 EFEITO DE <i>GLUCONACETOBACTER DIAZOTROPHICUS</i> PAL5 NO DESEMPENHO AGRONÔMICO DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO-VAGEM .....</b>	<b>32</b>
<b>3.2.1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>32</b>
<b>3.2.2 REVISÃO .....</b>	<b>33</b>
3.2.2.1 Fertilizantes minerais.....	33
3.2.2.2 Bactérias Promotoras do Crescimento Vegetal .....	35
3.2.2.3 <i>Gluconacetobacter diazotrophicus</i> Pal5 .....	39
<b>3.2.3 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>41</b>
3.2.3.1 Cepa bacteriana .....	41
3.2.3.2 Preparo do material vegetal.....	42
3.2.3.3 Avaliação de germoplasma em telado de genótipos de feijão- vagem.....	43
3.2.3.4 Análise estatística.....	43
<b>3.2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>44</b>
3.2.4.1 Efeito de <i>Gluconacetobacter diazotrophicus</i> Pal5 na germinação e produção floral de feijão-vagem.....	49
3.2.4.2 Efeito de <i>Gluconacetobacter diazotrophicus</i> Pal5 em vagem de feijão- vagem.....	50
3.2.4.3 Efeito de <i>Gluconacetobacter diazotrophicus</i> Pal5 em sementes de feijão-vagem.....	51
<b>3.2.5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>54</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>55</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Área experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro (PESAGRO-RIO) em Campos dos Goytacazes, nos anos de 2023 e 2024.....	14
<b>Figura 2.</b> <i>Screening</i> de sementes pertencentes ao banco de feijões especiais da UENF, evidenciando a sua diversidade genotípica para coloração, tamanhos e brilho distintos.....	17
<b>Figura 3.</b> <i>Screening</i> de vagens pertencentes ao banco de feijões especiais da UENF, evidenciando a sua diversidade genotípica para tipo de vagem, coloração, formatos e tamanhos distintos.....	19
<b>Figura 4.</b> Esquema experimental de inoculação bacteriana instalado em telado.....	41
<b>Figura 5.</b> Três momentos do experimento em telado na Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF: Semeadura, tutoramento e produção de vagem.....	44
<b>Figura 6.</b> Efeito de <i>Gluconacetobacter diazotrophicus</i> Pal5 em simbiose do genótipo L34 de feijão-vagem para a característica Peso Total de Sementes (PTS).....	52

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Classificação botânica de <i>Phaseolus vulgaris</i> L., o feijão-vagem.....	8
<b>Tabela 2.</b> Relação de genótipos pertencentes ao banco de sementes especiais da UENF.....	13
<b>Tabela 3.</b> Descrição dos genótipos pertencentes ao banco de germoplasma de feijão-vagem do programa de melhoramento de feijões especiais da UENF.....	21
<b>Tabela 4.</b> Resumo da análise de variância para as variáveis número de dias para a emergência (NDE), número de dias para o florescimento (NDF), número de sementes por vagem (NSV), peso de 5 vagens (P5V), peso de cem sementes (P100S), peso total de sementes (PTS), total de vagens (TV), peso total de vagem (PTV), comprimento de vagem (CV) e diâmetro de vagem (DV) de 29 genótipos de feijão-vagem pertencentes ao banco de sementes da UENF.....	25
<b>Tabela 5.</b> Agrupamento de médias das variáveis número de dias para a emergência (NDE), número de dias para o florescimento (NDF), número de sementes por vagem (NSV), peso de 5 vagens (P5V), peso de cem sementes (P100S), peso total de sementes (PTS), total de vagens (TV), peso total de vagem (PTV), comprimento de vagem (CV) e diâmetro de vagem (DV) de 29 genótipos de feijão-vagem pertencentes ao banco de sementes da UENF.....	26
<b>Tabela 6.</b> Descrição dos 11 genótipos a serem inoculados.....	42

**Tabela 7.** Resumo da análise de variância para as variáveis número de dias para a emergência (NDE), número de dias para o florescimento (NDF), número de sementes por vagem (NSV), peso de 5 vagens (P5V), peso de cem sementes (P100S), peso total de sementes (PTS), número total de vagens (TV), peso total de vagem (PTV), comprimento de vagem (CV) e diâmetro de vagem (DV) de 11 genótipos de feijão-vagem pertencentes ao banco de sementes da UENF.....45

**Tabela 8.** Agrupamento de médias das variáveis número de dias para a emergência (NDE), número de dias para o florescimento (NDF), número de sementes por vagem (NSV), peso de 5 vagens (P5V), peso de cem sementes (P100S), peso total de sementes (PTS), número total de vagens (TV), peso total de vagem (PTV), comprimento de vagem (CV) e diâmetro de vagem (DV) de 11 genótipos de feijão-vagem pertencentes ao banco de sementes da UENF em duas condições: com associação bacteriana (Com) e sem associação (Sem).....47

## RESUMO

PACHECO, Daniel Quintanilha; M.Sc.: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; Março, 2025; Identificação de linhagens de feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) de alta eficiência em resposta à *Gluconacetobacter diazotrophicus* PAL-5. Orientador: Geraldo de Amaral Gravina; Conselheiros: Marcelo Vivas e Fabio Lopes Olivares.

O feijão-vagem é uma hortaliça de grande relevância socioeconômica e nutricional para a agricultura familiar no Brasil, mas seu cultivo pode ser comprometido pela escassez de cultivares adaptadas. Bactérias Promotoras do Crescimento Vegetal, como *Gluconacetobacter diazotrophicus* Pal5, surgem como alternativa promissora ao promover tolerância a estresses e melhorar o desenvolvimento das plantas por meio da fixação biológica de nitrogênio. Assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar genótipos de feijão-vagem quanto às características morfoagronômicas e à resposta à inoculação com *Gluconacetobacter diazotrophicus* Pal5. Para avaliação morfoagronômica, 31 genótipos foram semeados na Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro em Campos dos Goytacazes. Para avaliação da inoculação de *G. diazotrophicus* Pal5, 11 genótipos foram semeados em casa de vegetação na Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Na cultura, foram avaliadas 10 características quantitativas: dias para ocorrerem emergência e floração, número total para sementes e vagens, peso (total de sementes, 100 sementes, total de vagens e 5 vagens), comprimento e largura de vagens; e 7 características qualitativas, incluindo tipo de vagem, hábito de crescimento,

coloração de flores, vagens e grãos (primária e secundária) e brilho de grão. As características morfoagronômicas mostraram diferenças altamente significativas ( $p < 0,01$ ) em todas as características avaliadas, incluindo variabilidade na coloração, tipo e hábitos de crescimento. O destaque ocorre para L21, L41 e L45, por combinar produtividade (peso total de sementes) e atributos de mercado (cor, brilho). A resposta à inoculação de *G. diazotrophicus* Pal5 mostrou efeitos positivos para L34 no peso de 100 sementes, negativos para L33 em peso total de vagens e neutros para o restante dos genótipos e características.

**Palavras-chave:** Feijão-vagem; variabilidade genética; bactéria diazotrófica; inoculação.

## ABSTRACT

PACHECO, Daniel Quintanilha; M.Sc.: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; March, 2025; Identification of high-efficiency snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.) lines in response to *Gluconacetobacter diazotrophicus* PAL-5. Advisor: Geraldo de Amaral Gravina; Co-advisors: Marcelo Vivas e Fabio Lopes Olivares.

Snap beans are a vegetable of great socioeconomic and nutritional relevance for family farming in Brazil, but their cultivation may be compromised by the scarcity of adapted cultivars. Plant Growth Promoting Bacteria, such as *Gluconacetobacter diazotrophicus* Pal5, emerge as a promising alternative to promote stress tolerance and improve plant development through biological nitrogen fixation. Thus, the present study aimed to evaluate snap bean genotypes regarding morphoagronomic characteristics and response to inoculation with *Gluconacetobacter diazotrophicus* Pal5. For morphoagronomic evaluation, 31 genotypes were sown at the Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro in Campos dos Goytacazes. To evaluate the inoculation of *G. diazotrophicus* Pal5, 11 genotypes were sown in a greenhouse at the Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Ten quantitative traits were evaluated in the crop: days to emergence and flowering, total number of seeds and pods, weight (total seeds, 100 seeds, total pods and 5 pods), length and width of pods; and 7 qualitative traits: pod type, growth habit, color of flowers, pods and grains (primary and secondary), and grain brightness. The morphoagronomic traits demonstrated highly significant differences ( $p < 0.01$ ) in all

traits evaluated, and variability in color, type and growth habits. The highlights were L21, L41 and L45, for combining productivity (total seed weight) and market attributes (color, brightness). The response to inoculation with *G. diazotrophicus* Pal5 demonstrated positive effects for L34 in the weight of 100 seeds, negative for L33 in total pod weight and neutral for the remaining genotypes and traits.

**Keywords:** Snap beans; genetic variability; diazotrophic bacteria; inoculation.

## 1. INTRODUÇÃO

O feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma leguminosa de elevada importância socioeconômica e nutricional na agricultura familiar brasileira, tanto para subsistência bem como para comercialização. Para as Regiões Norte e Noroeste Fluminense, a importância da produção de feijão-vagem torna-se evidente por ser uma cultura com boa adaptação a climas quentes e amenos (SANT'ANNA et al. 2020; PEIXOTO et al., 2002).

Apesar de o número exato de exemplares de *Phaseolus* ser desconhecido, revisões do gênero indicam pelo menos 52 espécies, o que abrange o feijão-comum, uma das principais espécies de valor econômico e cultural. O feijão-vagem destaca-se pela ampla composição de nutrientes, como fonte de cálcio, ferro, flúor, fósforo, potássio, fibras e vitaminas A, C e do complexo B (NERI et al., 2020). Seu consumo é sob a forma de grãos e vagens ainda verdes, constituindo uma importante fonte de renda e de alimentos para os agricultores familiares.

O Brasil é o sexto país maior produtor mundial de feijão-vagem, apresentando uma produção de 56 mil t.ano<sup>-1</sup>. As principais regiões produtoras são o Sudeste, Sul e Nordeste. No ano de 2015, foi relatada uma produção em torno de 37 mil t.ano<sup>-1</sup> pelos estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro, que, por sua vez, representaram 78 % da produção de todo o país (CEASA 2015).

O feijão-vagem tem sua importância, tanto em monocultura quanto em rotação, uma vez que garante uma produtividade maior por conta de sua longevidade, já que ocupa a área de cultivo por mais tempo, possibilitando várias colheitas, favorecendo pequenos produtores rurais, sendo uma boa alternativa para a diversificação da produção (FILGUEIRA 2013, PEIXOTO et al. 2002, VIDAL et al. 2007).

As cultivares de feijão-vagem são caracterizadas principalmente em função de caracteres como tipo de vagem do tipo “manteiga” e do tipo “macarrão” e pelo hábito de crescimento, determinado ou indeterminado. Apesar de a mecanização da colheita ser facilitada pelo hábito de crescimento determinado, o feijoeiro de crescimento indeterminado atinge maiores produções (SANT’ANNA, 2019).

No ano de 2021, a Central de Abastecimento do Estado do Rio de Janeiro (CEASA-RJ) divulgou que o feijão-vagem apresentou aumento de 33% no valor total de comercialização da vagem do tipo manteiga, já outras culturas apresentaram redução percentual. Esse dado reflete sua relevância no setor alimentício local (CEASA, 2021).

Comparativamente, o histórico de melhoramento de outros tipos de culturas é superior ao do feijão-vagem, isso fica claro quando há escassez de linhagens adaptadas a diferentes estresses bióticos e abióticos. Por conta disto, há uma demanda por maiores espaços de terras, ou mesmo pela utilização de fertilizantes minerais, cujo uso excessivo deteriora as áreas agrícolas e interfere nas águas subterrâneas e superficiais (SAVCI, 2012; COSTA et al., 2017).

Anualmente, as mudanças climáticas afetam os índices de produtividade na agricultura de forma gradual, bem como a segurança alimentar para os próximos anos. Dito isso, medidas e investimentos favoráveis de custo-benefício são almejados para lidar com as práticas como o uso e a gestão insustentáveis da terra, a fim de evitar efeitos em cascata em vários sistemas e setores.

Para suprir essa demanda, as Bactérias Promotoras do Crescimento Vegetal (BPCV) representam uma alternativa para melhorar a produção de alimentos, minimizando os efeitos nocivos associados ao uso massivo dos fertilizantes, defensivos e pesticidas químicos, contribuindo para o desenvolvimento de uma agricultura mais sustentável (GLICK, 2012; BASU et al., 2021). Bactérias endofíticas já foram isoladas de diversas culturas de interesse agrícola, incluindo o feijão (LOPES et al., 2015).

Estes microrganismos podem modular seus efeitos em plantas através de estímulos diretos ou indiretos. Os modos de ação por estímulos diretos incluem mecanismos como a fixação biológica de nitrogênio (FBN), a solubilização de fosfato, produção de sideróforos e a modulação dos níveis de fitormônios. Os mecanismos indiretos abrangem proteção contra estresses ambientais e controle biológico, o que pode ocorrer pela produção de antibióticos, enzimas líticas e pela indução de resistência sistêmica (GLICK, 2012).

Entre as BPCV, destaca-se *Gluconacetobacter diazotrophicus*, bactéria endofítica, que tem capacidade de promover a biomassa por meio da FBN, produção de fitormônios, atividade no controle biológico e solubilização de nutrientes (SARAVANAN et al., 2008). Na literatura já é descrito que esse microrganismo é capaz de modular o desenvolvimento de *P. vulgaris* L., de forma a ser possível obter incrementos em características fenotípicas de interesse (OLIVEIRA et al. 2019).

*G. diazotrophicus* Pal5 já se mostrou eficiente no incremento de biomassa, em uma variedade de culturas, além de apresentar características interessantes de resistência a estresses abióticos como seca, variações de temperatura, excesso de metais pesados, sacarose e sais de sulfato (CAVALCANTE; DÖBEREINER, 1988; TEJERA et al., 2003; INTORNE et al., 2012; de OLIVEIRA et al., 2016).

Sendo assim, a associação bacteriana e a intensidade dos benefícios induzidos por microrganismos variam com relação ao genótipo da planta e às condições ambientais, abrindo interessantes perspectivas para a atuação na produtividade de plantas. Dito isso, este trabalho visa ao estudo da diversidade genética de linhagens de feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) do Banco de Germoplasma de Feijões Especiais do Laboratório de Engenharia Agrícola (LEAG), quando associadas à *Gluconacetobacter diazotrophicus* Pal5.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

Investigar o desempenho de genótipos de feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) por meio da caracterização morfoagronômica e da avaliação da resposta à inoculação com *Gluconacetobacter diazotrophicus* Pal5.

### 2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar genótipos de feijão-vagem da coleção de feijões especiais do Laboratório de Engenharia Agrícola da UENF em seu desempenho produtivo.
- Avaliar o efeito da associação de *Gluconacetobacter diazotrophicus* Pal5 com diferentes genótipos de feijão-vagem.

### 3. CAPÍTULOS

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO E SUA VARIABILIDADE GENÉTICA EM SEU DESEMPENHO PRODUTIVO

##### 3.1.1 INTRODUÇÃO

O feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma leguminosa pertencente à família Fabaceae, de elevada importância socioeconômica e nutricional para a agricultura familiar brasileira, envolvendo produtores dos mais diversos perfis tecnológicos e em tamanho de área produtiva, seja para comercialização, seja para subsistência. A espécie abrange o feijoeiro comum, bem como o feijão-vagem, diferenciando-se apenas no modo de consumo, sob a forma de grãos e de vagens imaturas, respectivamente.

O feijão tem alto valor nutricional, sendo fonte de proteína vegetal, minerais, antioxidantes e compostos bioativos, compondo uma dieta rica em elementos essenciais, participando no prato de milhões de pessoas ao redor do globo (NERI et al., 2020).

O Brasil ocupa a sexta posição mundial na produção de feijão-vagem, com uma produção anual de 56 mil toneladas. As regiões Sudeste, Sul e Nordeste são as principais áreas produtoras. Em 2015, os estados de São Paulo,

Minas Gerais e Rio de Janeiro registraram uma produção de, aproximadamente, 37 mil toneladas por ano, representando 78% da produção nacional (CEASA, 2015).

Dito isso, o Rio de Janeiro, com foco para as regiões Norte e Noroeste Fluminense, tem importância na produção do feijoeiro para os produtores rurais familiares de menor porte, comprovando ser uma cultura com boa adaptação (SANT'ANNA et al. 2020).

As mudanças climáticas representam um grave problema para a segurança alimentar e para os meios de subsistência das comunidades rurais em todo o mundo. No relatório de Outubro de 2023, a *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO) relata que cerca de US\$ 3,8 trilhões em produção agrícola e pecuária foram perdidos nos últimos 30 anos. A organização reitera que a agricultura é um dos setores mais expostos e vulneráveis no contexto do risco de desastres, dada a sua alta dependência de recursos naturais e das condições climáticas.

O sistema de produção dessa leguminosa carece do desenvolvimento de técnicas que superem essa tendência, práticas que elevem a produtividade e que, ao mesmo tempo, estejam associadas com características ecologicamente viáveis e ao alcance especialmente do pequeno produtor (MATOSO; KUSDRA, 2014).

O rendimento agrícola é determinado por uma ampla gama de fatores, que abarcam desde as condições meteorológicas até as práticas de cultivo e manejo do solo, além destes fatores, há ainda a aparição de doenças e pragas, bem como a eventualidade de fenômenos climáticos adversos. Dada a situação apresentada, alternativas são averiguadas por pesquisadores do melhoramento vegetal do mundo todo (PATHAK et al. 2018; RAY et al. 2015; ANYAMBA et al. 2014; NIU et al. 2014; PARRY et al. 2005; CHALLINOR et al. 2014; SHAW et al. 2011).

Dada a situação apresentada, alternativas são averiguadas por pesquisadores do melhoramento vegetal do mundo todo, uma vez que, para cada grau de aumento da temperatura global, é estimada uma redução da produtividade para algumas culturas, bem como o favorecimento de desenvolvimento de seus patógenos (LIU et al. 2016; ASSENG et al. 2016).

### 3.1.2 REVISÃO

#### 3.1.2.1 O Feijão-Vagem

Ao longo dos anos de 1926 a 1934, Vavilov intensificou sua pesquisa e localizou para diversas culturas pelo menos uma região geográfica ou local onde uma espécie se originou ou onde ela foi primeiramente domesticada em diferentes partes do mundo, locais esses denominados de “centros de origem”. Bem como locais denominados “centros de diversidade”, onde ocorrem espécies silvestres relacionadas que apresentem características primitivas e alta frequência de caracteres dominantes.

O estudo da ancestralidade das espécies, relacionando a identificação de diversas regiões geográficas a estresses bióticos e/ou abióticos locais, auxiliou e impulsionou a compreensão do melhoramento genético de plantas ao longo das gerações. O papel dos melhoristas de plantas está em tentar atender às necessidades críticas para o melhoramento, sejam características ambientais, nutricionais ou mesmo de rendimentos mais elevados, como tolerância a estresses bióticos ou abióticos, características essas que são altamente moduladas pela domesticação (SINGH, 1989).

No entanto, apesar de suas contribuições para inúmeras espécies (VAVILOV, 1931), o feijoeiro levanta dúvidas quanto a seu centro de origem e à sua domesticação propriamente dita (GEPTS, DEBOUCK, 1991). Primariamente foi descrito ter sua origem nas Américas (VAVILOV, 1931), outrora foi descrito ter seu surgimento e domesticação há mais de 7.000 anos em dois centros de origem: a Mesoamérica (México e América Central) e a Região Andina (KAPLAN, 1981; DEBOUCK, 1988; GEPTS e DEBOUCK, 1991).

O feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) parece ter se separado de seus parentes mais próximos há, aproximadamente, 1,3 milhão anos, com base em dados de sequência espaçadora transcrita interna ribossômica (PICKERSGILL, 2007). É sugerido por Oca (1987) que, a partir de mutações genéticas na planta de feijão comum, originou-se o feijão-vagem, alterando sua morfologia, fisiologia e as características genéticas das cultivares atuais.

*Phaseolus vulgaris* L. é uma angiosperma representada pelo feijão-vagem (do inglês, snap beans), uma planta anual diploide ( $2n = 2x = 22$ ), não tendo uma

classificação própria, assim compartilhando espaço com o feijoeiro comum (do inglês, common beans) em classificações botânicas (Tabela 1). Como o feijão comum, seus cromossomos são considerados extremamente curtos quando comparados com os de outras espécies vegetais (VIEIRA et al., 1999). O feijoeiro tem a seguinte classificação botânica:

**Tabela 1.** Classificação botânica de *Phaseolus vulgaris* L., o feijão-vagem.

<b><i>Phaseolus vulgaris</i> L.</b>	
REINO	Plantae
DIVISÃO	Magnoliophyta
CLASSE	Magnoliopsida
ORDEM	Fabales
FAMÍLIA	Fabaceae
GÊNERO	<i>Phaseolus</i> L.
ESPÉCIE	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.

Na etimologia das palavras que compõem "*Phaseolus vulgaris*", o termo "*Phaseolus*" vem do grego antigo "*phasēlos*", que se refere especificamente a um tipo de feijão. Por sua vez, tem raízes em "*phasis*", que significa "feixe" ou "feixe de feijão", indicando a maneira como os feijões geralmente crescem em vagens em forma de feixe. Já o tempo "vulgaris" tem origem latina para "comum" ou "ordinário", bem como deriva do latim "*vulgus*", que se refere ao "povo" ou às "pessoas comuns". Portanto, quando aplicado de forma conjunta, "*Phaseolus vulgaris*" indica sua natureza de planta comum por ser amplamente cultivada e conhecida.

A planta tem caule volúvel, folhas trifolioladas, raízes superficiais, flores, vagens e grãos de cores diversas, a depender da variedade, bem como vagens alongadas (FILGUEIRA, 2013). Devido à estrutura de sua flor, o feijão-vagem é uma planta autógama, pois os órgãos masculinos e femininos estão protegidos pelas pétalas e, por ocasião da abertura da flor, os grãos de pólen caem sobre o estigma (VIEIRA, 1967), sendo ainda possível ocorrer fecundação cruzada (cerca de 5% dos cruzamentos).

Sua vagem apresenta uma ampla composição nutricional, sendo fonte de cálcio, ferro, flúor, fósforo, potássio, fibras e vitaminas A, C e do complexo B (NERI et

al., 2020). Suas sementes são um pouco mais compridas que as do feijão-comum, se encontrando ainda em um estágio imaturo (SILBERNAGEL et al., 1986; SINGH, 2001). Já seu mesocarpo é suculento e tem um reduzido teor de fibras.

A espécie abrange o feijoeiro comum, bem como o feijão-vagem, diferenciando-se principalmente no modo de consumo, grãos e vagens imaturas, respectivamente. Para as vagens, é possível aproveitar do fruto por completo, sendo a colheita do fruto feita cerca de 18 a 20 dias após sua polinização (Tessarioli Neto e Groppo, 1992). Além de seu modo de consumo, a espécie apresenta amplas colorações para vagens, sementes e flores a depender do genótipo.

O feijão pode ser classificado pelo seu tipo de vagem (manteiga e macarrão) e hábito de crescimento (determinado e indeterminado). As vagens do tipo manteiga são mais achatadas e alcançam 21 cm a 23 cm de comprimento e 1,5 cm a 2,0 cm de largura. Já as vagens tipo macarrão apresentam formato arredondado e alcançam 15 cm a 17 cm de comprimento e diâmetro médio de 1,0 cm.

Quanto ao hábito de crescimento, o hábito determinado é classificado pela porção terminal da haste que se encerra em uma inflorescência, e o hábito indeterminado é quando a extremidade da haste apresenta um meristema vegetativo, possibilitando a continuidade do crescimento da planta (CASTELLANE et al., 1998; VILHORDO et al., 1996).

Cultivares de feijão-vagem de ambos os portes apresentam vantagens e são cultivadas no país (FERNANDEZ et al., 1986). O cultivo de genótipos do tipo determinado costuma ser desejável por agricultores, uma vez que a mecanização durante a colheita é utilizada, além de não necessitar aplicar a técnica de tutoramento, facilitando o cultivo e o suporte durante seu ciclo. Apesar de o tipo indeterminado necessitar de maior cuidado durante seu cultivo, sua produtividade de vagens costuma ser superior, sendo mais favorável como fonte de renda e de alimentação para os agricultores familiares (FILGUEIRA, 2013).

### **3.1.2.2 Cultivo do feijoeiro**

Durante os diferentes estágios fenológicos, os efeitos bióticos e abióticos afetam constantemente as culturas, necessitando de condições ambientais e de manejos adequadas para o desenvolvimento da espécie. Dessa forma, a condução da cultura e seu estabelecimento em locais com fatores climáticos

favoráveis são essenciais para a obtenção de maiores produtividades, uma vez que o florescimento e a frutificação dependem diretamente do local onde as plantas estão inseridas (PEREIRA et al., 2014; GOMES et al., 2016).

O feijoeiro tem ciclo de vida curto, de cerca de 90 dias do plantio à colheita, precisa de solo com boa fertilidade, leve, profundo, com pH variando entre 5,5 e 6,8, com faixa ideal de temperatura entre 18 e 24°C, sendo que abaixo de 15°C as vagens apresentam deformações no seu desenvolvimento e acima de 30°C pode ocorrer o abortamento de flores, diminuindo a produção, (MARIOT, 1980; BOTELHO S. M, CHENG S. S., VIÉGAS I. J. M., GUSMÃO S. A. L. 2020). Ambientes com ventos fortes durante a floração podem causar queda das flores, sendo indicada a aplicação de bordadura entre blocos e parcelas para uma maior proteção da cultura.

O cultivo do feijão-vagem é feito no espaçamento de 0,50 m entre plantas e de 1,00 m entre linhas, colocando 3 a 4 sementes por cova ou vaso, na profundidade de 4 cm a 5 cm. Após a germinação, deve-se fazer o desbaste, retirando as plântulas mais fracas, deixando uma ou duas plantas por cova. Seu ciclo é de aproximadamente 90 dias, com início de produção aos 60 dias (BOTELHO S. M, CHENG S. S., VIÉGAS I. J. M., GUSMÃO S. A. L. 2020).

O feijão-vagem é uma boa alternativa para ser usado no período de entressafra de outras olerícolas, tanto em ambientes protegidos como não protegidos, pois, além de aproveitar as estruturas de tutoramento e a adubação residual, serve para quebrar o ciclo de algumas doenças, sendo uma boa alternativa para diversificação de cultura (SANTOS et al., 2012).

As linhagens de feijão-vagem com hábito de crescimento indeterminado, ou seja, feijoeiros com maior alongamento vertical (podendo ultrapassar 2 metros de altura), são apropriadas para cultivo com tutoramento, auxiliando suas gavinhas aos estímulos luminosos, favorecendo o fototropismo positivo e, por consequência, a biomassa. Por sua vez, plantas com hábito determinado apresentam vegetação arbustiva e baixo fototropismo positivo, não sendo necessário o tutoramento (CASTELLANE et al., 1998; VILHORDO et al., 1996).

As plantas de feijão-vagem são relativamente sensíveis a estresses bióticos e abióticos que podem ocorrer no campo, causando efeitos negativos em seu crescimento, produção e qualidade das vagens (EL-TOHAMY et al., 2007).

Outro fator limitante na produção do feijoeiro são as doenças, uma vez que a cultura é vulnerável a vários organismos fitopatogênicos (SILVA et al., 2009).

### **3.1.2.3 Importância Socioeconômica do feijoeiro**

O feijão-vagem tem sua importância, tanto em monocultura ou mesmo em cultura de rotação (ZIMMERMANN, 1996). O feijão-vagem, apesar de ter uma menor presença de mercado, se destaca no ponto de colheita (maturação) e em sua forma de consumo de grãos e vagens ainda verdes, sendo uma importante fonte de renda e de alimentação para os agricultores familiares, diferenciando-se dos outros tipos de feijão (LANA, 2007).

Os maiores produtores da leguminosa são China, Índia, Indonésia e Turquia, com uma produção média de 20 milhões de toneladas anuais (FAO, 2019). O Brasil ocupa a sexta colocação mundial, apresentando uma produção de 56 mil t.ano<sup>-1</sup>, de feijão-vagem, que é cultivado principalmente no Sudeste, Sul e Nordeste. O Sudeste produziu em torno de 37 mil t.ano<sup>-1</sup> em 2015, representado pelos estados de São Paulo, Minas Gerais e o Rio de Janeiro, que detêm 78% da produção de todo o país (IBGE, 2006).

No ano de 2009, foram comercializadas 7.637,43 toneladas de vagem na CEASA do Rio de Janeiro: 1.030,16 toneladas do tipo Macarrão e 6.607,28 toneladas do tipo Manteiga. Mas para complementar a demanda, o Estado do Rio de Janeiro importa o produto de Estados vizinhos como Espírito Santo, Minas Gerais e São Paulo (CEASA, 2010).

Ainda com base nos dados da CEASA-RJ, houve comercialização de aproximadamente 1.212,94 toneladas de feijão-vagem em 2009, provenientes das Regiões Norte e Noroeste Fluminense, tendo Campos dos Goytacazes contribuído com 19,31 toneladas desse montante. Desta forma, a produção do Norte e Noroeste Fluminense representou 15,88% do total comercializado nas unidades da CEASA do Estado do Rio de Janeiro no ano de 2009 (CEASA, 2010).

Em 2015, os estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro registraram uma produção de, aproximadamente, 37 mil toneladas por ano, compreendendo 78% da produção nacional (CEASA, 2015).

No ano de 2021, o CEASA-RJ realizou um relatório anual de comercialização, e, ao analisar economicamente a fim de entender a importância

do feijão-vagem no setor alimentício, obteve, no grupo dos alimentos que tiveram aumento no preço de comercialização, a vagem (do tipo manteiga), com uma variação de 33% em seu valor (CEASA, 2021).

A agricultura fluminense tem a olericultura como uma atividade promissora e, entre as culturas de valor econômico, está o feijão-vagem, que pode se tornar uma cultura de expressão para o Estado do Rio de Janeiro. O cultivo cresce nas regiões serranas, assim como em condições de baixada, como é o caso do Norte e Noroeste do Estado.

Dito isso, o Rio de Janeiro, com foco para as regiões Norte e Noroeste Fluminense, apresenta importância na produção do feijoeiro para os produtores rurais familiares de menor porte, se mostrando uma cultura com boa adaptação (SANT'ANNA et al. 2020).

Dessa forma, o sistema de produção dessa leguminosa ainda carece do desenvolvimento de técnicas que superem essa tendência, práticas que elevem a produtividade e que, ao mesmo tempo, estejam associadas com características ecologicamente viáveis, ao alcance especialmente do pequeno produtor (MATOSO; KUSDRA, 2014).

### **3.1.3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1.3.1 Introdução do material vegetal no germoplasma**

A primeira etapa consistiu na introdução de 12 cultivares comerciais de feijão-vagem e 3 de feijão-comum no banco de germoplasma, que já conta com 16 acessos de feijão-vagem, totalizando 31 genótipos diferentes, conforme a Tabela 2. Essa introdução visou a incrementar o número de acessos já inseridos, bem como a variabilidade genética do atual banco de sementes de feijões especiais do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas da Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF (Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil).

**Tabela 2.** Relação de genótipos pertencentes ao banco de sementes especiais da UENF.

<i>ACESSO</i>	<i>CLASSE</i>	<i>TIPO</i>	<i>SITUAÇÃO</i>	<i>ORIGEM</i>
L1	Linhagem	Vagem	Presente	UENF
L4	Linhagem	Vagem	Presente	UENF
L6	Linhagem	Vagem	Presente	UENF
L7	Linhagem	Vagem	Presente	UENF
L8	Linhagem	Vagem	Presente	UENF
L9	Linhagem	Vagem	Presente	UENF
L10	Linhagem	Vagem	Presente	UENF
L11	Linhagem	Vagem	Presente	UENF
L12	Linhagem	Vagem	Presente	UENF
L13	Linhagem	Vagem	Presente	UENF
L18	Linhagem	Vagem	Presente	UENF
L21	Linhagem	Vagem	Presente	UENF
L22	Linhagem	Vagem	Presente	UENF
L23	Linhagem	Vagem	Presente	UENF
L27	Linhagem	Vagem	Presente	UENF
L28	Linhagem	Vagem	Presente	UENF
L32	Cultivar comercial	Vagem	Introduzido	ISLA Sementes
L33	Cultivar comercial	Vagem	Introduzido	ISLA Sementes
L34	Cultivar comercial	Vagem	Introduzido	TOPSEED
L35	Cultivar comercial	Vagem	Introduzido	Hortec Sementes
L36	Cultivar comercial	Vagem	Introduzido	FELTRIN
L37	Cultivar comercial	Vagem	Introduzido	FELTRIN
L38	Cultivar comercial	Vagem	Introduzido	ISLA Sementes
L39	Cultivar comercial	Comum	Introduzido	IAC
L40	Cultivar comercial	Comum	Introduzido	Embrapa
L41	Cultivar comercial	Vagem	Introduzido	ISLA Sementes
L42	Cultivar comercial	Vagem	Introduzido	ISLA Sementes
L43	Linhagem	Vagem	Introduzido	Produtor-SC
L44	Cultivar comercial	Vagem	Introduzido	TOPSEED
L45	Linhagem	Vagem	Introduzido	Produtor-MG
L46	Cultivar comercial	Comum	Introduzido	IAPAR

### 3.1.3.2 Avaliação de germoplasma em campo de genótipos de feijão-vagem

Para uso experimental, 31 genótipos de feijão (19 linhagens e 12 cultivares comerciais) foram instalados na área experimental da Empresa de Pesquisa

Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro (PESAGRO) em Campos dos Goytacazes para multiplicar as sementes, bem como para sua caracterização morfológica.



**Figura 1.** Área experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro (PESAGRO) em Campos dos Goytacazes, nos anos de 2023 e 2024.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso com repetições biológicas, utilizando o espaçamento de 1 metro entre linhas e 0,5 metro entre plantas, conforme o modelo:

$$Y_{ij} = \mu + G_i + B_j + e_{ij},$$

Em que:

$Y_{ij}$ : Valor observado referente à variável Y, que recebeu o tratamento i (i= 1,2, ..., I) no bloco j (j= 1, 2, ..., J);

$\mu$ : Média geral;

$G_i$ : Efeito fixo do tratamento i;

$B_j$ : Efeito aleatório do bloco j; e

$e_{ij}$ : efeito do erro experimental referente à observação  $Y_{ij}$ .

A parcela experimental foi constituída por 4 metros lineares. Foi feita adubação em sulco de semeadura à base de N-P-K, na formulação 4-14-8, numa proporção de 120 kg por hectare. A irrigação utilizada foi do tipo aspersão com

turnos de rega em dias alternados e de acordo com a necessidade hídrica da cultura e a capina foi manual.

O tutoramento foi feito utilizando arame liso e barbante assim que as plantas emitiam os ramos. A colheita ocorrerá assim que as vagens atingirem o padrão comercial.

Com base nas instruções para execução dos experimentos de distinguibilidade, homogeneidade e estabilidade de cultivares de feijão, publicados no Diário Oficial do MAPA (BRASIL, 2015), as variáveis a serem avaliadas durante o desenvolvimento do feijão-vagem serão:

- Classe de genótipo;
- Tipo de vagem (TIPV);
- Hábito de crescimento (HABC);
- Cor da vagem (CORV);
- Cor de semente primária (COR1SEM);
- Cor de semente secundária (COR2SEM);
- Brilho de semente (BRISEM);
- Número de dias para a emergência (NDE);
- Número de dias para o florescimento (NDF);
- Número de sementes por vagem (NSV), dado por contagem
- Peso de 5 vagens por planta (P5V), dado em gramas;
- Peso de cem sementes (P100S), dado em gramas;
- Peso total de sementes (PTS), dado em gramas;
- Número total de vagem (TV),
- Peso total de vagens (PTV), dado em gramas;
- Comprimento de vagem (CV), dado em centímetros; e
- Diâmetro de vagem (DV), dado em milímetros.

### **3.1.3.3 Análise estatística**

Os dados gerados foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos comparados pelo teste Scott-Knott ao nível de 1% e 5% de

probabilidade e feita correlação entre as variáveis. As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do software R

### **3.1.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1.4.1 Avaliação de sementes**

A variação genotípica observada nas sementes de feijão-vagem é um aspecto fundamental que contribui para a diversidade de características fenotípicas como coloração, brilho, tamanho e peso. Essa variação genética é resultado de diferentes fatores, incluindo o melhoramento genético e a adaptação a condições ambientais específicas. Cada genótipo pode expressar características únicas, o que permite a existência de uma ampla gama de cultivares com propriedades distintas.

A Figura 2 mostra que as sementes variam em tonalidade, desde tons claros de bege e amarelo até cores mais escuras, como marrom e preto. Além disso, o brilho das sementes também varia, com algumas apresentando uma superfície mais opaca e outras com um aspecto mais lustroso, o que pode influenciar sua atratividade visual e aceitação no mercado.

A coloração das sementes, por exemplo, é influenciada por genes que controlam a produção e a distribuição de pigmentos, como antocianinas e flavonoides. Essa diversidade de cores não apenas tem implicações estéticas, mas também pode estar associada a diferentes níveis de resistência a doenças e a estresses ambientais. O brilho das sementes, por sua vez, pode variar devido à composição da cutícula e à presença de ceras na superfície, características que também são geneticamente determinadas.

A variação no tamanho e no peso das sementes é outro reflexo da diversidade genotípica. Genótipos diferentes podem produzir sementes com tamanhos variados, o que pode influenciar a germinação, o vigor das plântulas e a produtividade da cultura. Os genótipos apresentam variações significativas. A escala de 9,0 cm presente na imagem serve como referência, mas as sementes individualmente têm dimensões e pesos distintos.

Essa heterogeneidade no tamanho e no peso pode ser mais bem explorada ao destacar a característica do peso de 100 sementes (P100). O P100 é uma característica frequentemente utilizada, sendo um indicador importante da qualidade e da uniformidade das sementes, pois reflete seu vigor, aspecto crucial para a propagação da cultura.



**Figura 2.** *Screening* de sementes pertencentes ao banco de feijões especiais da UENF, evidenciando sua diversidade genotípica para coloração, tamanhos e brilho distintos.

Uma coleção diversificada de sementes permite a conservação de um vasto pool genético, que pode ser explorado para o desenvolvimento de novas variedades com características melhoradas. Essa diversidade genética é crucial para enfrentar os desafios atuais e futuros da agricultura, como mudanças climáticas, surgimento de novas pragas e doenças e a necessidade de aumentar a produtividade de forma sustentável.

Uma coleção de sementes com ampla diversidade genotípica oferece inúmeras oportunidades para pesquisa. Primeiramente, permite a identificação de genes associados a características desejáveis, como resistência a doenças, tolerância a estresses abióticos (como seca ou salinidade), e melhor qualidade nutricional.

Investigar como diferentes genótipos respondem a variações ambientais é essencial para prever o impacto das mudanças climáticas na agricultura e desenvolver estratégias de mitigação. A diversidade também permite a realização de cruzamentos controlados, visando a combinar características favoráveis de diferentes genótipos.

Outro aspecto importante é a possibilidade de explorar a diversidade para o desenvolvimento de variedades com maior aceitação no mercado. Diferentes genótipos podem apresentar variações em características como tamanho, cor, brilho e textura das sementes, que são fatores importantes para a preferência dos consumidores.

Embora o foco principal da cultura do feijão-vagem sejam a produção e o consumo das vagens, as sementes também desempenham papel significativo. A qualidade das sementes, incluindo sua uniformidade, peso e aparência, é essencial para a escolha dos agricultores e para a cadeia produtiva. Sementes com características visuais atraentes e consistentes tendem a ser mais valorizadas, reforçando a importância de uma análise detalhada desses atributos tanto no contexto científico quanto no mercado agrícola.

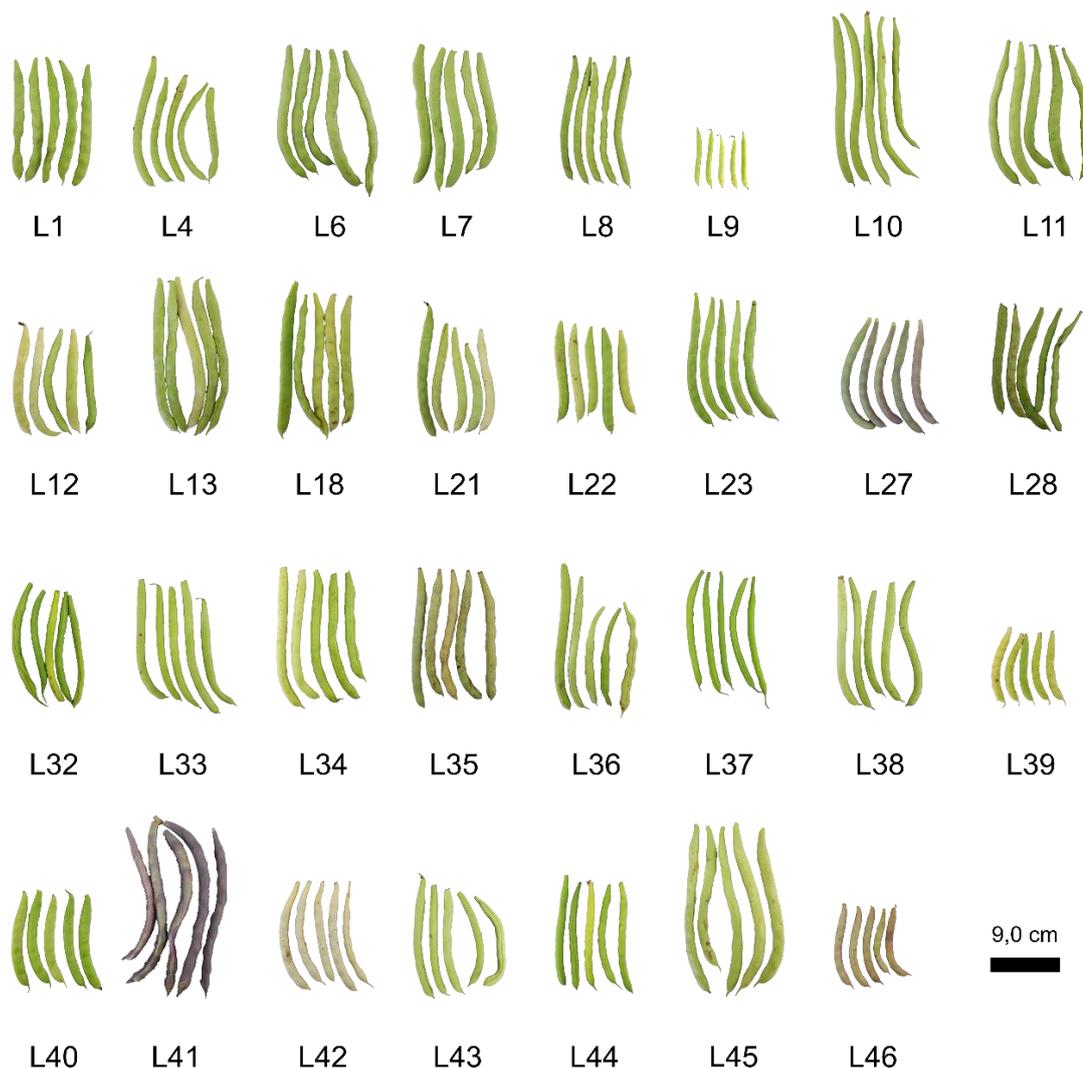
#### **3.1.4.2 Avaliação de vagens**

A pesquisa e o desenvolvimento de genótipos que produzam vagens maiores e de alta qualidade são essenciais para atender à demanda crescente. A seleção de genótipos superiores, baseada em métricas como o tamanho das vagens ou seu peso, é crucial para o melhoramento genético da cultura e para a sustentabilidade.

É possível ser observada na Figura 3 uma triagem de diferentes genótipos de feijão-vagem, com variações notáveis em seu tamanho, na forma das vagens e em sua pigmentação. Utilizando a escala de 9,0 cm como

referência, é possível identificar os genótipos que apresentam as maiores vagens, o que é um fator importante para a aceitação no mercado.

Vagens maiores são frequentemente preferidas pelos consumidores, pois oferecem maior rendimento e versatilidade na cozinha. Além disso, o tamanho das vagens pode ser indicativo de vigor e produtividade da planta, características altamente desejáveis para os agricultores.



**Figura 3.** *Screening* de vagens pertencentes ao banco de feijões especiais da UENF, evidenciando sua diversidade genotípica para tipo de vagem, coloração, formatos e tamanhos distintos.

A seleção de genótipos que produzem vagens maiores e de alta qualidade é essencial para atender às demandas do mercado, que valoriza não apenas o aspecto visual, mas também a consistência e o rendimento do produto.

A imagem permite uma análise comparativa entre os diferentes genótipos, destacando aqueles que têm potencial.

A diversidade genética apresentada na imagem reforça a importância de investir em pesquisa e melhoramento genético para garantir a sustentabilidade e a competitividade do feijão-vagem no mercado agrícola. A variante manteiga se destaca em particular pois a combinação de características como maior tamanho, textura e sabor faz da vagem manteiga um produto altamente valorizado, tornando-a a escolha no mercado, cujo potencial pode ser ainda mais bem explorado por meio de estudos genéticos e técnicas de melhoramento.

### **3.1.4.3 Avaliação de germoplasma**

A avaliação de germoplasma e a sua diversidade genética são um processo essencial para a agricultura e a conservação de recursos genéticos, por desempenharem papel crucial na identificação, caracterização e uso de variedades e espécies de interesse agrícola.

Fundamentalmente, a busca por diferentes linhagens embarca os diferentes interesses, como a conservação da biodiversidade agrícola, o melhoramento genético, a segurança alimentar, a resiliência às mudanças climáticas, bem como o uso sustentável de recursos genéticos. Em suma, o melhoramento genético é indispensável para identificar acessos com alto potencial aos diferentes interesses agrônômicos, garantindo que futuras gerações tenham acesso a cultivos produtivos e adaptáveis.

A Tabela 3 mostra a variabilidade da coleção de feijões, identificando sua classe (linhagem ou cultivar), tipo de vagem, hábito de crescimento, cor da vagem, cor de semente primária e secundária, bem como o nível de brilho da semente.

**Tabela 3.** Descrição dos genótipos pertencentes ao banco de germoplasma de feijão-vagem do programa de melhoramento de feijões especiais da UENF.

GENÓTIPO	CLASSE	IDENTIFICAÇÃO	TIPO DE VAGEM	HÁBITO	COR DA VAGEM	COR DE SEMENTE PRIMÁRIA	COR DE SEMENTE SECUNDÁRIA	BRILHO DE SEMENTE
L01	LINHAGEM	L01	MANTEIGA	INDETERMINADO	ROSA	AMARELO	MARROM	INTERMEDIÁRIO
L04	LINHAGEM	L04	MANTEIGA	INDETERMINADO	ROSA	MARROM	BEGE	INTERMEDIÁRIO
L06	LINHAGEM	L06	MANTEIGA	INDETERMINADO	VERDE	BEGE	MARROM	INTERMEDIÁRIO
L07	LINHAGEM	L07	MANTEIGA	INDETERMINADO	VERDE	BEGE	MARROM	INTERMEDIÁRIO
L08	LINHAGEM	L08	MANTEIGA	INDETERMINADO	VERDE	MARROM	BEGE	INTERMEDIÁRIO
L09	LINHAGEM	L09	MANTEIGA	DETERMINADO	VERDE	MARROM	BEGE	BRILHOSO
L10	LINHAGEM	L10	MANTEIGA	INDETERMINADO	VERDE	BEGE	CINZA	INTERMEDIÁRIO
L11	LINHAGEM	L11	MANTEIGA	INDETERMINADO	VERDE	BEGE	MARROM	INTERMEDIÁRIO
L12	LINHAGEM	L12	MANTEIGA	INDETERMINADO	AMARELO	MARROM	NÃO	INTERMEDIÁRIO
L13	LINHAGEM	L13	MANTEIGA	INDETERMINADO	AMARELO	MARROM	NÃO	INTERMEDIÁRIO
L18	LINHAGEM	L18	MANTEIGA	INDETERMINADO	ROSA	AMARELO	MARROM	INTERMEDIÁRIO
L21	LINHAGEM	L21	MANTEIGA	INDETERMINADO	ROSA	AMARELO	MARROM	BRILHOSO
L22	LINHAGEM	L22	MANTEIGA	DETERMINADO	ROSA	AMARELO	MARROM	BRILHOSO
L23	LINHAGEM	L23	MANTEIGA	INDETERMINADO	ROSA	PRETO	NÃO	BRILHOSO
L27	LINHAGEM	L27	MANTEIGA	INDETERMINADO	ROXO	VERDE	MARROM	OPACO
L28	LINHAGEM	L28	MANTEIGA	INDETERMINADO	ROXO	PRETO	NÃO	OPACO
L31	LINHAGEM	L31	MACARRÃO	INDETERMINADO	ROXO	MARROM	NÃO	OPACO
L32	CULTIVAR	Xaxá	MACARRÃO	INDETERMINADO	VERDE	BRANCA	MARROM	INTERMEDIÁRIO
L33	CULTIVAR	Xirú	MACARRÃO	INDETERMINADO	AMARELO	BRANCA	CINZA	INTERMEDIÁRIO
L34	CULTIVAR	Blueline	MACARRÃO	INDETERMINADO	AMARELO	BRANCA	CINZA	INTERMEDIÁRIO

**Tabela 3. Cont.**

GENÓTIPO	CLASSE	IDENTIFICAÇÃO	TIPO DE VAGEM	HÁBITO	COR DA VAGEM	COR DE SEMENTE PRIMÁRIA	COR DE SEMENTE SECUNDÁRIA	BRILHO DE SEMENTE
L35	CULTIVAR	Brasília-Hortitec®	MACARRÃO	INDETERMINADO	ROXO	PRETO	NÃO	BRILHOSO
L36	CULTIVAR	FELTRIN - Macarrão Trepador	MACARRÃO	INDETERMINADO	AMARELO	BRANCA	CINZA	INTERMEDIÁRIO
L37	CULTIVAR	FELTRIN - Macarrão Rasteiro	MACARRÃO	DETERMINADO	AMARELO	BRANCA	CINZA	INTERMEDIÁRIO
L38	CULTIVAR	ISLA - Favorito Trepador	MACARRÃO	INDETERMINADO	AMARELO	BRANCA	CINZA	INTERMEDIÁRIO
L39	CULTIVAR	IAC1849 - POLACO	MANTEIGA	DETERMINADO	AMARELO	BEGE	MARROM	INTERMEDIÁRIO
L40	CULTIVAR	BRS FP403	MANTEIGA	DETERMINADO	AMARELO	PRETO	NÃO	OPACO
L41	CULTIVAR	ISLA CHAPECÓ - TREPADOR	MANTEIGA	INDETERMINADO	ROXO	BEGE	MARROM	INTERMEDIÁRIO
L42	CULTIVAR	ISLA MANTEIGA BAIXO	MANTEIGA	DETERMINADO	AMARELO	PRETO	MARROM	BRILHOSO
L43	LINHAGEM	BLUMENAU	MANTEIGA	INDETERMINADO	AMARELO	BRANCA	MARROM	INTERMEDIÁRIO
L44	CULTIVAR	TOPSEED	MACARRÃO	DETERMINADO	AMARELO	BRANCA	CINZA	INTERMEDIÁRIO
L45	LINHAGEM	Carangola- Crioulo Fz. Brauna	MANTEIGA	INDETERMINADO	AMARELO	MARROM	BEGE	BRILHOSO
L46	CULTIVAR	URUTAU	MANTEIGA	DETERMINADO	ROXO	PRETO	MARROM	OPACO

De modo geral, a coleção de sementes apresenta vagens com uma ampla variedade de cores, incluindo verde, amarelo, rosa e roxo. Essa diversidade é importante para atender às diferentes preferências do mercado. Suas sementes também variam em cor, com predominância de tons como amarelo, marrom, bege, preto e branco.

Quanto ao tipo de vagem, a maioria dos genótipos é do tipo Manteiga, valorizado por sua textura macia e sabor suave, detendo maior participação na comercialização e produção, predominantemente seus genótipos têm hábito de crescimento indeterminado. Para o brilho das sementes, que varia entre brilhoso, intermediário e opaco, é possível destacar genótipos de sementes brilhantes, geralmente mais atraentes para o mercado.

Os genótipos L09 e L22 apresentam hábito determinado e sementes brilhosas, o que pode ser vantajoso para a colheita mecanizada e a atratividade do mercado. L35 e L41 são promissores por terem comprimento longo e coloração roxa da vagem, uma característica visualmente distinta, que pode atrair consumidores.

Por óbvio, a diversidade é essencial para o melhoramento genético, permitindo a seleção de genótipos com características desejáveis e aceitação no mercado. A presença de genótipos com vagens coloridas (roxas, rosadas) e sementes brilhantes sugere oportunidades para o desenvolvimento, podendo atender a nichos de mercado específicos e aumentar a rentabilidade da cultura.

Não obstante, a seleção de variedades de feijão-vagem que apresentem maior tolerância a diferentes ambientes e altas temperaturas é crucial, uma vez que o abortamento de flores em altas temperaturas é um desafio significativo para a agricultura, especialmente em um cenário de mudanças climáticas. O melhoramento genético pode ajudar a minimizar os impactos negativos do estresse térmico, assegurando a continuidade da produção de alimentos.

A Tabela 4 apresenta as características avaliadas, incluindo emergência, florescimento, número de sementes por vagem (NSV), peso de 5 vagens (P5V), peso de cem sementes (P100S), peso total de sementes (PTS), total de vagens (TV), peso total de vagem (PTV), comprimento de vagem (CV) e diâmetro de vagem (DV). Foram observadas diferenças altamente significativas ( $p < 0,01$ ), indicando variabilidade genética substancial entre os genótipos, sugerindo potencial para seleção de materiais superiores em programas de melhoramento.

Variáveis como peso de cem sementes (P100S,  $p < 0,01$ ) e diâmetro da vagem (DV,  $p < 0,01$ ) foram fortemente influenciadas pelo ambiente, ressaltando a importância das condições de cultivo. Já o peso total de sementes (PTS) não mostrou efeito ambiental significativo, possivelmente em razão da estabilidade dessa característica.

Todas as variáveis tiveram interação significativa ( $p < 0,01$ ), indicando que a performance dos genótipos varia conforme o ambiente, reforçando a necessidade de testes multiambientais para identificar materiais adaptados a condições específicas.

Características como florescimento (CV = 4,94%) e número de sementes por vagem (CV = 11,48%) apresentaram menor dispersão, sugerindo maior precisão experimental. Já o peso total de sementes (PTS, CV = 48,55%) e peso total de vagens (PTV, CV = 45,29%) e número total de vagens (TV, CV = 45,20%) mostraram maior variabilidade, possivelmente em razão da heterogeneidade genética.

A Tabela 5 apresenta os agrupamentos de médias para cada genótipo de feijão-vagem na perspectiva de cada uma das dez características quantitativas avaliadas

**Tabela 4.** Resumo da análise de variância para as variáveis número de dias para a emergência (NDE), número de dias para o florescimento (NDF), número de sementes por vagem (NSV), peso de 5 vagens (P5V), peso de cem sementes (P100S), peso total de sementes (PTS), total de vagens (TV), peso total de vagem (PTV), comprimento de vagem (CV) e diâmetro de vagem (DV) de 29 genótipos de feijão-vagem pertencentes ao banco de sementes da UENF.

<b>Resumo da Anova</b>		<b>NDE</b>	<b>NDF</b>	<b>NSV</b>	<b>P5V</b>	<b>P100S</b>	<b>PTS</b>	<b>TV</b>	<b>PTV</b>	<b>CV</b>	<b>DV</b>
FV	<b>GL</b>	<b>QM</b>	<b>QM</b>	<b>QM</b>	<b>QM</b>	<b>QM</b>	<b>QM</b>	<b>QM</b>	<b>QM</b>	<b>QM</b>	<b>QM</b>
BLOCOS	2	0,14	5,33	0,28	70,55	1,17	81168,64	7718,26	111911,44	3,16	0,04
BLxAMB	2	0,11	7,66	2,53	252,99	14,00	20804,36	13309,12	98335,85	2,85	0,88
BLOCOS/AMB	4	0,13	6,49	1,40	161,77	7,58	50986,50	10513,69	105123,64	3,00	0,46
TRATAMENTOS	28	2,01**	19,71**	1,88**	644,15**	92,49**	34356,23**	11545,45**	119583,77**	26,12**	3,59**
AMBIENTES	1	2,30*	92,70*	2,66	7736,00**	1081,51**	115017,80	93343,14*	51565,64	6,26	2568,35**
TRATxAMB	28	0,91**	9,60**	1,06**	175,97**	23,74**	35745,02**	10733,31**	50994,03*	14,26**	5,11**
RESÍDUO	112	0,29	3,21	0,46	46,16	6,61	12418,71	5381,42	27030,92	2,29	0,51
CV(%)		11,48	4,94	9,02	14,42	9,63	48,55	45,20	45,29	9,81	15,15
<b>MÉDIA</b>		<b>4,67</b>	<b>36,26</b>	<b>7,53</b>	<b>47,12</b>	<b>26,69</b>	<b>229,53</b>	<b>162,30</b>	<b>363,02</b>	<b>15,42</b>	<b>4,69</b>

Variáveis marcadas com \* e \*\* representam significância de 5% e 1%, respectivamente, pelo teste F.

**Tabela 5.** Agrupamento de médias das variáveis número de dias para a emergência (NDE), número de dias para o florescimento (NDF), número de sementes por vagem (NSV), peso de 5 vagens (P5V), peso de cem sementes (P100S), peso total de sementes (PTS), total de vagens (TV), peso total de vagem (PTV), comprimento de vagem (CV) e diâmetro de vagem (DV) de 29 genótipos de feijão-vagem pertencentes ao banco de sementes da UENF.

Genótipo	NDE		NDF		NSV		P5V		P100S											
	2023	2024	2023	2024	2023	2024	2023	2024	2023	2024										
L01	5,33	A a	5,33	A a	35,00	B c	40,00	A a	7,87	A a	7,60	A a	62,57	A b	38,67	B c	27,50	A c	26,00	A b
L04	5,33	A a	6,00	A a	35,00	A c	37,00	A a	8,73	A a	7,30	B b	59,07	A b	27,50	B d	32,00	A b	22,53	B c
L06	5,67	A a	5,00	A b	40,00	A a	36,67	B a	7,90	A a	8,27	A a	52,93	A b	46,83	A b	27,77	A c	22,23	B c
L07	5,00	A a	5,33	A a	40,00	A a	36,00	B b	8,00	A a	8,53	A a	60,40	A b	34,00	B d	26,33	A c	19,13	B d
L08	5,33	A a	5,00	A b	37,67	A b	39,00	A a	8,17	A a	7,13	A b	50,80	A b	33,50	B d	25,73	A c	22,97	A c
L09	5,00	A a	5,33	A a	38,00	A b	38,00	A a	6,40	A b	6,73	A b	30,40	A c	41,50	A c	27,50	A c	25,93	A b
L10	5,00	A a	4,67	A b	35,00	A c	35,67	A b	9,20	A a	7,27	B b	65,60	A b	41,33	B c	30,50	A b	21,77	B c
L11	4,33	A b	4,00	A c	35,00	A c	36,00	A b	8,20	A a	7,80	A a	59,43	A b	32,77	B d	31,77	A b	23,67	B c
L12	4,67	A a	5,00	A b	33,00	A c	34,00	A c	6,67	A b	7,40	A a	45,40	A c	34,50	A d	32,77	A b	22,50	B c
L13	5,00	B a	6,00	A a	35,00	B c	39,00	A a	8,07	A a	7,40	A a	65,83	A b	32,83	B d	39,17	A a	23,13	B c
L18	4,00	B b	5,00	A b	35,00	B c	38,00	A a	7,93	A a	6,80	B b	58,67	A b	33,67	B d	29,83	A b	21,57	B c
L21	4,00	B b	5,67	A a	35,00	B c	41,00	A a	7,60	A a	8,40	A a	54,70	A b	46,33	A b	32,00	A b	27,43	B b
L22	5,00	A a	5,00	A b	35,00	B c	39,00	A a	7,60	A a	7,47	A a	40,40	A c	34,33	A d	26,77	A c	29,23	A b
L23	5,33	A a	5,00	A b	37,00	B b	40,00	A a	8,20	A a	7,50	A a	44,33	A c	42,00	A c	26,83	A c	27,40	A b
L27	5,00	A a	4,67	A b	35,00	A c	34,00	A c	8,00	A a	6,80	B b	54,63	A b	33,17	B d	31,50	A b	23,17	B c
L28	4,67	A a	5,00	A b	35,00	A c	34,67	A b	7,93	A a	6,70	B b	42,87	A c	42,17	A c	27,67	A c	22,87	B c
L31	3,00	A c	3,33	A d	35,00	A c	35,67	A b	7,60	A a	7,60	A a	41,00	A c	41,00	A c	23,90	A d	23,93	A c
L32	4,67	A a	4,00	A c	33,00	B c	38,00	A a	7,13	A b	8,00	A a	41,10	A c	31,17	A d	21,67	A d	16,90	B d
L33	4,67	A a	4,33	A c	35,00	B c	39,00	A a	6,87	A b	7,93	A a	59,20	A b	46,50	B b	31,50	A b	24,10	B c
L34	4,33	A b	4,33	A c	35,00	B c	38,00	A a	7,53	A a	6,73	A b	66,57	A b	50,83	B b	30,83	A b	25,30	B b
L35	4,33	A b	3,00	B d	35,00	A c	35,33	A b	7,60	A a	8,40	A a	60,33	A b	65,33	A a	27,50	A c	24,37	A c

**Tabela 5. Cont.**

Genótipo	NDE				NDF				NSV				P5V				P100S			
	2023		2024		2023		2024		2023		2024		2023		2024		2023		2024	
L36	4,33	A b	3,33	B d	35,00	A c	36,67	A a	7,60	A a	7,73	A a	61,37	A b	50,17	B b	29,67	A b	21,87	B c
L37	5,00	A a	3,67	B d	35,00	A c	34,00	A c	7,60	A a	6,07	B b	35,27	A c	18,83	B d	19,50	A d	15,57	A d
L38	4,33	A b	3,67	A d	37,00	A b	38,00	A a	7,60	A a	6,73	A b	62,43	A b	41,67	B c	28,83	A c	25,80	A b
L41	5,00	A a	3,33	B d	34,33	A c	32,00	A c	8,33	A a	7,53	A a	73,50	A a	56,83	B a	34,00	A a	30,43	A b
L42	5,00	A a	4,00	B c	32,33	B c	37,00	A a	6,00	A b	6,00	A b	38,20	A c	32,77	A d	34,83	A a	27,30	B b
L43	5,00	A a	3,67	B d	35,00	B c	38,00	A a	6,93	A b	7,27	A b	58,13	A b	46,50	B b	29,67	A b	27,83	A b
L44	5,33	A a	4,67	A b	33,00	A c	32,00	A c	6,40	A b	7,00	A b	33,40	A c	28,83	A d	21,67	A d	18,53	A d
L45	5,00	A a	4,67	A b	40,00	A a	41,00	A a	8,27	A a	8,67	A a	81,40	A a	67,67	B a	37,17	A a	38,30	A a
<b>Média</b>	<b>4,78</b>		<b>4,55</b>		<b>35,53</b>		<b>36,99</b>		<b>7,65</b>		<b>7,41</b>		<b>53,79</b>		<b>40,46</b>		<b>29,19</b>		<b>24,20</b>	

**Tabela 5. Cont.**

Genótipo	PTS				TV				PTV				CV				DV			
	2023		2024		2023		2024		2023		2024		2023		2024		2023		2024	
L01	170,67	A b	230,03	A a	102,50	A b	196,00	A a	312,00	A c	344,17	A b	16,70	A b	14,53	A e	4,00	B b	7,97	A c
L04	287,17	A b	190,90	A b	133,00	A a	177,00	A b	397,60	A c	335,00	A b	17,17	A b	12,87	B e	6,00	B b	9,10	A b
L06	73,00	B b	333,87	A a	39,00	B c	259,00	A a	109,83	B c	500,67	A a	15,10	A b	16,43	A d	5,00	B b	8,20	A c
L07	256,33	A b	251,00	A a	158,00	A a	246,33	A a	475,20	A b	409,50	A a	16,73	A b	14,17	B e	5,00	B b	7,80	A c
L08	281,20	A b	130,40	A b	83,33	A b	133,67	A b	162,67	A c	213,00	A b	17,47	A b	14,83	B d	2,80	B c	7,43	A c
L09	371,00	A a	71,87	B b	98,00	A b	98,00	A b	187,00	A c	187,00	A b	5,40	B d	14,23	A e	3,00	B c	9,03	A b
L10	198,27	A b	299,13	A a	96,00	B b	288,67	A a	315,67	A c	447,17	A a	20,40	A a	13,33	B e	5,70	B a	7,77	A c
L11	184,27	A b	268,00	A a	95,50	B b	244,67	A a	285,93	A c	422,17	A a	17,07	A b	13,63	B e	4,70	B b	7,70	A c
L12	565,27	A a	126,47	B b	282,00	A a	113,33	B b	646,67	A b	230,67	B b	13,57	A c	14,03	A e	5,00	B b	8,17	A c
L13	443,17	A a	155,80	B b	159,67	A a	127,00	A b	537,90	A b	317,00	A b	18,20	A a	13,77	B e	5,00	B b	7,70	A c
L18	255,00	A b	84,83	A b	177,00	A a	89,33	A b	531,53	A b	152,50	B b	16,93	A b	15,43	A d	3,70	B c	7,90	A c

**Tabela 5. Cont.**

Genótipo	PTS				TV				PTV				CV				DV			
	2023		2024		2023		2024		2023		2024		2023		2024		2023		2024	
L21	350,00	A a	381,67	A a	187,00	B a	323,33	A a	512,10	A b	665,83	A a	15,47	A b	15,70	A d	4,30	B b	8,50	A c
L22	227,00	A b	236,07	A a	109,50	A a	171,00	A b	220,23	A c	347,00	A b	11,90	B c	14,63	A e	4,00	B b	8,07	A c
L23	346,17	A a	300,97	A a	186,33	A a	259,00	A a	416,20	A c	485,17	A a	15,53	A b	15,67	A d	4,00	B b	7,97	A c
L27	254,33	A b	169,07	A b	91,50	A a	164,00	A b	250,73	A c	278,67	A b	17,00	A b	13,23	B e	4,00	B b	7,93	A c
L28	333,33	A a	73,27	B b	193,00	A a	124,67	A b	389,13	A c	299,00	A b	12,97	B c	15,60	A d	5,00	B b	9,00	A b
L31	151,30	A b	151,30	A b	126,30	A a	126,33	A b	237,50	A c	237,50	A b	14,20	A c	14,20	A e	7,60	A a	7,60	A c
L32	164,33	A b	81,23	A b	154,33	A a	161,50	A b	320,20	A c	208,27	A b	14,37	A c	13,60	A e	6,00	B a	7,90	A c
L33	285,50	A b	212,17	A a	187,00	A a	205,00	A a	557,17	A b	350,67	A b	15,83	A b	15,57	A d	7,00	B a	9,43	A b
L34	444,17	A a	232,37	B a	275,67	A a	245,00	A a	931,00	A a	454,83	B a	16,07	A b	15,23	A d	8,00	B a	9,87	A b
L35	268,17	A b	315,40	A a	145,67	A a	229,33	A a	431,27	A c	557,00	A a	16,37	B b	21,00	A b	6,70	B b	11,60	A a
L36	201,33	A b	207,70	A a	102,67	B a	224,67	A a	328,33	A c	378,00	A a	15,57	A b	15,87	A d	6,70	B b	10,27	A b
L37	112,27	A b	64,27	A b	116,50	A a	139,00	A b	205,73	A c	120,33	A b	14,77	A b	12,93	A e	4,70	B b	6,90	A c
L38	185,17	B b	457,37	A a	110,33	B a	253,33	A a	335,63	A c	461,33	A a	16,57	A b	15,37	A d	7,00	B a	8,77	A c
L41	189,50	A b	135,70	A b	104,67	A a	91,67	A b	372,60	A c	197,17	A b	19,00	A a	18,37	A c	7,00	B A	9,93	A b
L42	92,83	A b	103,83	A b	89,00	A a	100,00	A b	178,77	A c	163,77	A b	14,13	A c	14,10	A e	5,30	B b	8,40	A c
L43	233,83	A b	279,33	A a	156,33	A a	267,67	A a	488,77	A b	442,17	A a	15,03	A b	15,90	A d	6,00	B b	9,67	A b
L44	112,50	A b	104,67	A b	96,67	A b	143,33	A b	151,03	A c	182,17	A b	12,90	A c	13,73	A e	5,70	B b	8,67	A c
L45	365,00	A a	262,20	A a	178,67	A a	176,67	A b	738,43	A a	640,67	A a	20,33	B a	23,77	A a	4,70	B b	8,30	A c
<b>Média</b>	<b>255,24</b>		<b>203,82</b>		<b>139,14</b>		<b>185,47</b>		<b>380,24</b>		<b>345,81</b>		<b>15,61</b>		<b>15,23</b>		<b>8,50</b>		<b>8,54</b>	

As letras maiúsculas indicam grupos estatísticos entre genótipos (linhas), enquanto as minúsculas diferenciam os anos (colunas). Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas na horizontal e minúsculas na vertical não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Skott-Knott ao nível de 5% de probabilidade

A avaliação da emergência, Tabela 5, revelou genótipos com desempenho destacado. O genótipo L31, acompanhado pela letra “c” e “d”, demonstrou ser o mais precoce em ambos os anos, com 3,00 dias em 2023 e 3,33 dias em 2024, respectivamente. No ano de 2024, os genótipos mais precoces são acompanhados da letra “d”, como L31, L35, L36, L37, L38, L41 e 43. Já os genótipos L01, L04 e L08, por exemplo, que apresentaram uma emergência tardia são acompanhados pela letra “a”, não sendo recomendados se esta for a característica de interesse, apresentando uma média de 5,33 dias em ambos os anos.

No florescimento, Tabela 5, foram observados genótipos precoces com estabilidade temporal em alguns genótipos. Os mais indicados são os genótipos L12, L27, L37, L41 e L44, acompanhados pela letra “c” em ambos os anos, sendo que L41 se destacou com floração precoce em ambos os anos (34,33 dias em 2023 e 32,00 dias em 2024). Em contraste, genótipos acompanhados pela letra “a” são indicados apenas se o interesse forem vagens tardias, e genótipos como o L21, que apresentou atraso expressivo em 2024 (41 dias) em relação a 2023 (35 dias), indicam sensibilidade às variações ambientais.

Quanto ao número de sementes por vagem (NSV), Tabela 5, L01, L06, L07, L11, L13, L21, L22, L23, L31, L35, L36, L41 e L45 se mantiveram estáveis em ambos os anos com as maiores médias de produções de sementes por vagem e estabilidade, acompanhados da letra “a”.

No desempenho em peso de 5 vagens (P5V), Tabela 5, L41 e L45 foram os mais produtivos, com 73,50 e 81,4g em 2023, embora tenham sofrido uma queda para 56,83 g em 2024. Os genótipos mais indicados são L41 e L45, acompanhados pela letra “a”, em razão da sua estabilidade e maior peso.

Com relação à variável peso de 100 sementes (P100S), Tabela 5, é mais indicada a utilização de L45 por apresentar a maior estabilidade entre os dois anos semeados, com 37,17 g e 38,30 g. Diversos genótipos apresentaram sensibilidade ambiental e perderam sua estabilidade no ano seguinte, sendo que L13 teve uma redução drástica, de 39,17 g em 2023 para 23,13 g em 2024. A média geral situou-se entre 25 e 30 g, com tendência de redução em 2024.

No peso total de sementes (PTS), Tabela 5, o destaque para os maiores peso e estabilidade são L21, L23, L34 e L45 (acompanhados da letra “a” em ambos os anos). L34 foi o genótipo mais produtivo em 2023, com 931,00 g, porém

sofreu uma queda acentuada em 2024, com 454,83 g. O genótipo L12 também apresentou forte instabilidade, reduzindo de 646,67 g em 2023 para 230,67 g em 2024. A média geral caiu de 255,24 g em 2023 para 203,82 g em 2024.

Quanto ao número total de vagens (TV), Tabela 5, o genótipo L21 foi o mais produtivo no ano de 2024, com 323,33 vagens. Também foi observado incremento de L43, que produziu 156,33 vagens em 2023 e 267,67 vagens em 2024, ambas acompanhadas da letra "A". A média geral aumentou de 139 vagens em 2023 para 185 vagens em 2024, indicando tendência positiva.

No peso total de vagens (PTV), Tabela 5, L45 foi o genótipo mais produtivo, com 738,43 g em 2023 e 640,67 g em 2024, mantendo sua classificação. Em contraste, L34, apesar de ter sido o mais produtivo em 2023, com 931,00 g, apresentou queda acentuada em 2024 (454,83 g). A média geral foi de 380 g em 2023 e de 346 g em 2024, sem variação significativa.

No comprimento da vagem (CV), Tabela 5, o genótipo L45 destacou-se com um aumento significativo, passando de 20,33 cm em 2023 para 23,77 cm em 2024. Em contrapartida, o L10 sofreu uma redução drástica, de 20,40 cm em 2023 para 13,33 cm em 2024, passando de A para B, indicando forte interação com o ambiente.

No diâmetro da vagem (DV), Tabela 5, os genótipos L31, L32, L33, L34, L38 e L41 apresentam médias altas e consistentes entre os anos.

### 3.1.5 CONCLUSÕES

- Os genótipos L31, L35, L36, L37, L38, L41 e L43 se destacam por terem sementes mais precoces para emergência, por outro lado, L01, L04 e L08 são mais tardios.
- No florescimento, destacam-se como genótipos mais precoces L12, L27, L37, L41 e L44.
- Para a avaliação da semente, os genótipos L41 e L45 se destacam no peso de 100 sementes (P100S). No peso total de sementes (PTS), os destaques para os maiores pesos e estabilidade são L21, L23, L34 e L45. Logo, o mais indicado, levando em conta seu alto vigor e estabilidade, é o genótipo L45.

Quanto ao número de sementes por vagem (NSV), L01, L06, L07, L11, L13, L21, L22, L23, L31, L35, L36, L41 e L45 se mantiveram estáveis.

- Para o desempenho de vagem, L41 e L45 são os genótipos mais indicados para o peso de 5 vagens (P5V). Quanto ao total de vagens (TV), os genótipos L12 e L21 foram os mais produtivos nos anos de 2023 e 2024, respectivamente. No peso total de vagens (PTV), L34 e L21 são referências para os anos de 2023 e 2024, respectivamente, contudo o L45 não apenas se destaca pela sua alta produção, como também pela estabilidade em ambos os anos. Para comprimento, destaca-se o genótipo L45, e para diâmetro, os genótipos L31. L32, L33, L34, L38 e L41 são destaques.

- De forma geral, L21, L41 e L45 são destaques na maior parte das características avaliadas.

### **3. 2 EFEITO DE *GLUCONACETOBACTER DIAZOTROPHICUS* PAL5 NO DESEMPENHO AGRONÔMICO DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO-VAGEM**

#### **3.2.1 INTRODUÇÃO**

O feijão-vagem é uma hortaliça de elevada importância socioeconômica para a agricultura familiar brasileira em razão da sua facilidade de cultivo e das fontes de proteínas e vitaminas. No entanto, com o crescimento populacional e a crescente demanda por alimentos de qualidade, a utilização de fertilizantes nitrogenados tem sido intensificada para maximizar a produtividade das culturas.

O uso excessivo desses insumos pode acarretar impactos ambientais significativos, como a contaminação do solo e dos recursos hídricos, além de elevar os custos de produção. Essa realidade reforça a urgência de adotar alternativas que promovam o uso racional dos nutrientes, conciliando produtividade e sustentabilidade.

As BPCVs (Bactérias Promotoras de Crescimento Vegetal) são microrganismos benéficos que se associam às plantas, proporcionando uma série de vantagens para o seu desenvolvimento. Elas atuam na solubilização de nutrientes, na fixação de nitrogênio e na produção de hormônios naturais que estimulam o crescimento, além de oferecer proteção contra patógenos. Essa atuação contribui para o fortalecimento do sistema radicular e para a melhoria da eficiência na absorção de nutrientes, sendo uma ferramenta valiosa na promoção de uma agricultura mais sustentável.

Nesse sentido, *Gluconacetobacter diazotrophicus* Pal5, uma BPCV diazotrófica endofítica, capaz de sintetizar reguladores vegetais, surge como promissora alternativa, principalmente por estabelecer simbiose com o feijão-vagem. Assim, este trabalho visa a avaliar o efeito de *G. diazotrophicus* Pal5 em diferentes genótipos de feijão-vagem a fim de identificar os mais eficientes.

Em síntese, diante dos desafios impostos pelas mudanças climáticas, pelo aumento da demanda agrícola e pelo uso intensivo de fertilizantes, torna-se imperativo explorar estratégias que integrem inovação e sustentabilidade. A inoculação com BPCV, como *Gluconacetobacter diazotrophicus* Pal5, se apresenta como uma solução promissora para melhorar o vigor e a eficiência dos genótipos de feijão-vagem. Assim, este projeto se justifica pela necessidade de identificar os genótipos mais eficientes, contribuindo para uma produção mais resiliente, ambientalmente equilibrada e economicamente viável.

### 3.2.2 REVISÃO

#### 3.2.2.1 Fertilizantes minerais

Desde a década de 1950, os fertilizantes minerais se destacam como um dos principais elementos responsáveis pelo aumento da produtividade das culturas agrícolas (ROBERTSON; VITOUSEK, 2009). Esses insumos contêm os três macronutrientes essenciais para as plantas: nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K). No período de 2018-2019, o consumo global de fertilizantes alcançou aproximadamente 188 milhões de toneladas (RANDIVE; RAUT; JAWADAND, 2021), com projeções que indicam uma demanda de cerca de 324 milhões de toneladas até 2050 (DRESCHER et al., 2011).

Atualmente, a agropecuária brasileira sustenta aproximadamente 10% da população mundial (PORTAL EMBRAPA, 2021). Para suprir essa demanda, o país utiliza cerca de 8,5% dos fertilizantes minerais, posicionando-se na quarta colocação global, atrás apenas de China, Índia e Estados Unidos. Enquanto esses países figuram entre os maiores produtores mundiais de fertilizantes, o Brasil, por sua vez, importou aproximadamente 89% dos 43 milhões de toneladas

consumidas na produção agrícola em 2021 (CANAL RURAL, 2022). Essa dependência externa torna-se, assim, uma ameaça à segurança da agricultura nacional, tanto do ponto de vista econômico quanto no que diz respeito ao abastecimento do insumo (TORTORELLA; LEMOS, 2022).

De acordo com Tortorella e Lemos (2022), em 2021 os preços finais dos fertilizantes minerais atingiram níveis elevados no Brasil. Segundo os autores, o custo do cloreto de potássio (KCl), principal fonte de potássio empregada pelos produtores nacionais, aumentou em média 46,6% em relação ao ano anterior. Para os fertilizantes à base de fósforo (P) e nitrogênio (N), amplamente utilizados, os reajustes foram de 64,9% e 48,7%, respectivamente, quando comparados a 2020 (TORTORELLA; LEMOS, 2022). Esses aumentos foram influenciados por tensões geopolíticas como o conflito entre Rússia e Ocidente, pela crise energética na China e pelas sanções logísticas e econômicas impostas à Bielorrússia pela União Europeia e pelos Estados Unidos (CNA BRASIL, 2021).

Além de elevar os custos de produção, o uso de fertilizantes minerais está associado a significativos impactos ambientais. Uma parcela considerável do nitrogênio aplicado não é absorvida pelas plantas, podendo contaminar águas subterrâneas e superficiais. Entre os efeitos adversos, destaca-se a eutrofização, que, ao ocorrer nas camadas inferiores, gera ambientes com baixo teor de oxigênio, reduz a biodiversidade aquática, promove a proliferação de espécies indesejadas e ocasiona problemas de odor (SAVCI, 2012). Ademais, o uso contínuo de fertilizantes nitrogenados acidificantes pode reduzir o pH do solo, comprometendo a eficiência das culturas se não houver a correção por meio da calagem. A amônia, liberada a partir desses fertilizantes, pode evaporar e se depositar em ecossistemas, causando danos à vegetação. Quando oxidada, essa amônia se transforma em ácido nítrico, o que pode desencadear a formação de chuva ácida, prejudicando a flora e os organismos presentes em lagos e reservatórios (SAVCI, 2012).

Projeta-se que, em 2050, a população mundial alcance 9,7 bilhões, implicando um aumento de 60% na demanda por alimentos. Embora seja possível intensificar a produção agrícola com o uso ampliado de fertilizantes, esse modelo de agricultura convencional revela-se insustentável, tanto econômica quanto ambientalmente. Portanto, torna-se imprescindível investir em tecnologias que possibilitem a produção de alimentos de forma mais sustentável, preservando as

condições ecológicas do planeta e minimizando os riscos à saúde (FRÓNA; SZENDERÁK; HARANGI-RÁKOS, 2019).

### **3.2.2.2 Bactérias Promotoras do Crescimento Vegetal**

Bactérias promotoras do Crescimento Vegetal (BPVC) representam uma alternativa para combater os impactos ambientais adversos causados pelo uso indiscriminado dos fertilizantes minerais (BASU et al., 2021). Diversas estirpes destas bactérias são implementadas como materiais de estudo para a interação planta-BPCV, diferenciando-se pelos métodos de associação com o hospedeiro, podendo ser simbiótica, endofítica ou associada à proximidade radicular e do solo (DE SOUZA; AMBROSINI; PASSAGLIA, 2015).

A interação entre esses microrganismos e as raízes da planta pode ser benéfica, prejudicial ou neutra para a planta, sendo que, em algumas vezes, o efeito dos microrganismos pode variar como consequência das condições do solo (MEHMOOD et al., 2018).

Nas últimas duas décadas, houve um notável aumento no interesse por pesquisas focadas em bactérias promotoras do crescimento vegetal (BPCV) e suas interações positivas com as plantas. Esse crescente interesse é impulsionado pela observação de que, a cada ano, uma quantidade maior dessas bactérias está sendo integrada às práticas de agricultura sustentável, visando a melhorar a eficiência produtiva e a reduzir o impacto ambiental (GLICK, 2012).

Para responder a essa demanda crescente, as BPCV são reconhecidas como alternativas estratégicas para a produção de alimentos, contribuindo significativamente para o desenvolvimento de práticas agrícolas mais sustentáveis e ambientalmente amigáveis (GLICK, 2012; BASU et al., 2021). Bactérias endofíticas, particularmente, têm sido isoladas de uma ampla gama de culturas agrícolas, comprovando seu papel fundamental no aumento da produtividade e na resistência das plantas a estresses bióticos e abióticos (LOPES et al., 2015).

Particularmente, as BPCVs simbióticas emergem como candidatas robustas para inoculantes agrícolas, pois colonizam efetivamente as raízes e criam condições favoráveis ao desenvolvimento vegetal. Essas relações endofíticas acontecem dentro dos espaços intercelulares dos tecidos vegetais, proporcionando acesso direto a uma rica fonte de carboidratos, aminoácidos e

nutrientes inorgânicos, fundamentais para o sustento e o crescimento das plantas (DE SOUZA; AMBROSINI; PASSAGLIA, 2015).

As BPCVs desempenham papel crucial na otimização da nutrição vegetal, fortalecendo a resistência das plantas e potencializando a sustentabilidade global da agricultura, sendo que, por meio dessas interações, seus modos de ação são categorizados em mecanismos diretos e indiretos aos estresses encontrados.

Os mecanismos diretos incluem a disponibilidade de nutrientes para as plantas, como a fixação biológica de nitrogênio (FBN), solubilização de fosfato, produção de sideróforos, fornecendo N fixo ou minerais solubilizados, como P, K, zinco e ferro, e/ou o crescimento e desenvolvimento das plantas pela regulação dos níveis de hormônios vegetais, como auxinas, giberelinas, ácido abscísico (ABA) e etileno.

Os efeitos indiretos incluem influenciar a saúde das plantas, suprimindo patógenos e outros microrganismos deletérios através do parasitismo e competição por nicho e nutrientes, produzindo substâncias antagônicas e enzimas líticas, induzindo respostas de defesa contra uma ampla gama de estresses bióticos e abióticos (GLICK, 2012; MORALES-CEDEÑO et al., 2021).

Mesmo sem contato físico, microrganismos são capazes de alterar o desenvolvimento do sistema radicular da planta, sua fisiologia e vias hormonais, produção de biomassa e indução de fotossíntese, em razão da produção e liberação de compostos voláteis (TSUKANOVA et al., 2017; VENNEMAN et al., 2020).

A interação das plantas com microrganismos benéficos pode resultar em um aumento considerável de metabólitos secundários nas partes comestíveis das plantas. Estes metabólitos incluem compostos nutricionalmente ricos e funcionalmente importantes, tais como ácido ascórbico, compostos fenólicos, terpenoides e carotenoides, todos essenciais para a promoção da saúde humana (GANUGI et al., 2021).

Microrganismos capazes de realizar o processo de fixação biológica do nitrogênio recebem o nome de diazotróficos. Entre estes microrganismos, destacam-se os rizóbios, bactérias gram-negativas, que se associam simbioticamente com plantas leguminosas, induzindo a formação de nódulos radiculares. *Azorhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Mesorhizobium*, *Rhizobium* e *Burkholderia* são alguns dos gêneros aos quais estas bactérias pertencem (DWIVEDI et al., 2015)

Na pesquisa realizada por Katsenios (2022), que examinou o desempenho de 10 linhagens de bactérias promotoras do crescimento vegetal em milho doce, notou-se que a aplicação de *Bacillus licheniformis* resultou em um incremento nas taxas de fotossíntese, transpiração e condutância estomática ao longo do ciclo de cultivo.

Entre muitas cepas de bactérias promotoras do crescimento vegetal dos gêneros *Pseudomonas*, *Azobactor* e *Azospirillum*, um dos mais importantes gêneros bacterianos é o *Bacillus*, que tem elevada capacidade de induzir tolerância ao estresse abiótico em plantas cultivadas. Além disso, sob todos os tipos de estresses abióticos (temperatura, seca e salinidade), constatou-se que o *Bacillus* melhora o crescimento das plantas, alivia a toxicidade associada a estresses abióticos, melhora a absorção de fosfato e o teor de clorofila (ALI et al., 2022; ABDELMOTELEB, GONZALEZ-MENDOZA, 2020).

Wang e colaboradores (2018) também estudaram bactérias do gênero *Bacillus*, e seus resultados demonstraram alta atividade de ACC desaminase, produção de sideróforos e solubilização de fosfato, levando à melhoria do estresse salino.

A alta atividade de ACC desaminase, uma enzima presente em algumas bactérias promotoras do crescimento vegetal (BPCV), pode provocar vários efeitos benéficos nas plantas, especialmente em condições de estresse. A ACC desaminase é capaz de regular os níveis de etileno, metabolizando o precursor para sua biossíntese (ALI et al., 2014).

O ferro é um micronutriente essencial para as plantas, sendo abundante na maioria dos solos, no entanto, é predominantemente encontrado na forma de Fe<sup>+3</sup>. Neste sentido, algumas bactérias conseguem sintetizar as moléculas denominadas sideróforos, que atuam como quelantes, tornando o ferro assimilável.

Plantas de feijão inoculadas com a bactéria do gênero *Pseudomonas*. GRP3, em condições de limitação de ferro, apresentaram maior quantidade de clorofila e reduzido sintoma clorótico quando comparadas às plantas não inoculadas com esta mesma estirpe, denotando sua participação e função.

A associação de rizóbios com outras bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPPB), como o *Azospirillum*, tem o potencial de aumentar a produtividade das culturas. Filipini e colaboradores (FILIPINI et al. 2021)

avaliaram como *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isoladamente ou em combinação, afetam o crescimento e a produtividade de grãos de feijão.

A coinoculação de *Rhizobium* e *Azospirillum* nas sementes e a combinação da inoculação de *Rhizobium* com a pulverização foliar de *Azospirillum* resultaram em maior biomassa aérea, acúmulo de nitrogênio e produtividade de grãos do que o tratamento controle.

Os resultados indicaram que a coinoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense* nas sementes associadas à pulverização foliar de *A. brasilense* é uma alternativa à adubação nitrogenada mineral. Além disso, a coinoculação de *Rhizobium* e *Azospirillum* nas sementes, bem como a combinação da inoculação de sementes de *Rhizobium* com pulverização foliar de *Azospirillum*, resultaram em maior biomassa aérea, nitrogênio acumulado, peso de mil grãos e produtividade de grãos do que o tratamento controle sem inoculação ou pulverização foliar de *Azospirillum*.

Os compostos voláteis microbianos são metabólitos secundários emitidos pelas bactérias, fungos e protistas, que participam da comunicação intra e inter-reinos (SCHULZ-BOHM; MARTÍN-SÁNCHEZ; GARBEVA, 2017), podendo ser de natureza orgânica e inorgânica (EFFMERT et al., 2012). A produção de compostos voláteis por rizobactérias é um método eficaz que pode ter efeitos positivos tanto na proteção quanto na promoção do crescimento das plantas.

Esses compostos voláteis são metabólitos secundários liberados pelas bactérias no ambiente que podem desempenhar diversas funções, incluindo a supressão de patógenos e o estímulo ao crescimento das plantas. Giorgio *et al.* (2015) isolaram seis rizobactérias associadas ao feijão comum e realizaram o teste de antagonismo *in vitro* com 17 fungos fitopatogênicos. Os efeitos dos VOCs bacterianos produzidos foram visíveis em todos os fungos testados, afetando desde a inibição do micélio até a coloração de colônias fúngicas

Na proteção, as rizobactérias podem produzir compostos voláteis que inibem o crescimento de patógenos do solo, como fungos e bactérias fitopatogênicas. Esses compostos podem atuar diretamente sobre os patógenos, interferindo em seu crescimento, reprodução ou virulência, ou indiretamente, estimulando as defesas naturais das plantas contra esses organismos nocivos. Assim, as rizobactérias que produzem compostos voláteis têm sido exploradas como uma estratégia de controle biológico de doenças de plantas, reduzindo a

necessidade de pesticidas químicos, promovendo uma agricultura sustentável (SCHMIDT et al., 2015).

Além da proteção, os compostos voláteis produzidos por rizobactérias também podem promover o crescimento das plantas. Esses compostos podem atuar como sinais de comunicação entre as bactérias e as plantas, desencadeando respostas fisiológicas benéficas, como a promoção do crescimento radicular, o aumento da absorção de nutrientes e a indução de resistência a estresses bióticos e abióticos. Portanto, as rizobactérias que produzem compostos voláteis têm sido amplamente estudadas como agentes de promoção de crescimento vegetal, especialmente em culturas agrícolas, onde podem aumentar a produtividade e a qualidade das colheitas (EFFMERT et al., 2012).

É importante ressaltar que a eficácia das BPCV pode variar consideravelmente dependendo da espécie de bactéria e da planta hospedeira. Nem todas as cepas de BPCV são igualmente eficazes para todas as culturas, portanto, é essencial realizar estudos detalhados para identificar as cepas mais adequadas, levando em consideração fatores como a compatibilidade genética e as condições ambientais específicas.

O uso de microrganismos benéficos na agricultura, frequentemente referido como bioestimulantes microbianos, está ganhando popularidade nos últimos anos como uma abordagem sustentável para promover o crescimento e a produtividade das plantas (GANUGI et al., 2021).

A utilização de bactérias promotoras do crescimento vegetal (BPCV) representa uma alternativa promissora no sentido de melhorar a produção de alimentos, minimizando os efeitos nocivos associados ao uso massivo dos fertilizantes, defensivos e pesticidas químicos, contribuindo para o desenvolvimento de uma agricultura mais sustentável (GLICK, 2012; BASU et al., 2021).

### **3.2.2.3 *Gluconacetobacter diazotrophicus* Pal5**

No ano de 1988, Cavalcante e Döbereiner descobriram *Gluconacetobacter diazotrophicus* Pal5, uma bactéria endofítica diazotrófica, gram-negativa e aeróbica obrigatória, pertencente ao filo Proteobacteria, classe Alphaproteobacteria, ordem Rhodospirillales, família Acetobacteraceae, gênero *Gluconacetobacter*. Tem formato de haste e extremidades arredondadas com

tamanho de 0,7-0,9 µm por 2 µm. Originalmente encontrada no interior de folhas e tecidos radiculares de cultivares de cana-de-açúcar, sem efeito patogênico à planta (CAVALCANTE; DÖBEREINER, 1988; KERSTERS et al., 2006).

Sua capacidade de associação não se limita apenas à cana-de-açúcar, pois a *G. diazotrophicus* pode colonizar diversas plantas hospedeiras não nativas, como milho, arroz, trigo, canola (COCKING; STONE; DAVEY, 2006), sorgo (LUNA et al., 2010). *Arabidopsis thaliana* (RANGEL DE SOUZA et al., 2016) pode colonizar, mandioca (LOPES et al., 2019), alface (SEBRING et al., 2022) bem como o feijão (DE OLIVEIRA et al., 2019). A associação bacteriana e a intensidade dos benefícios induzidos por microrganismos variam com relação ao genótipo da planta e às condições ambientais, abrindo interessantes perspectivas quanto à atuação na produtividade de plantas.

A capacidade de introduzir *G. diazotrophicus* em diversos hospedeiros forneceu não só evidências acerca dos métodos de inoculação, localização e sobrevivência dentro das plantas, como também sua contribuição no crescimento e proteção das plantas (ESKIN et al., 2014).

Seu genoma completo foi sequenciado no ano de 2009, utilizando a estirpe *G. diazotrophicus* Pal5 (ATCC 49037) pela RioGene no Brasil. Fornecendo evidências relacionadas à sua fisiologia endofítica como fixação biológica de nitrogênio (FBN), bem como a promoção do crescimento vegetal, metabolismo de açúcar, sistemas de transporte e síntese de auxinas (BERTALAN et al., 2009).

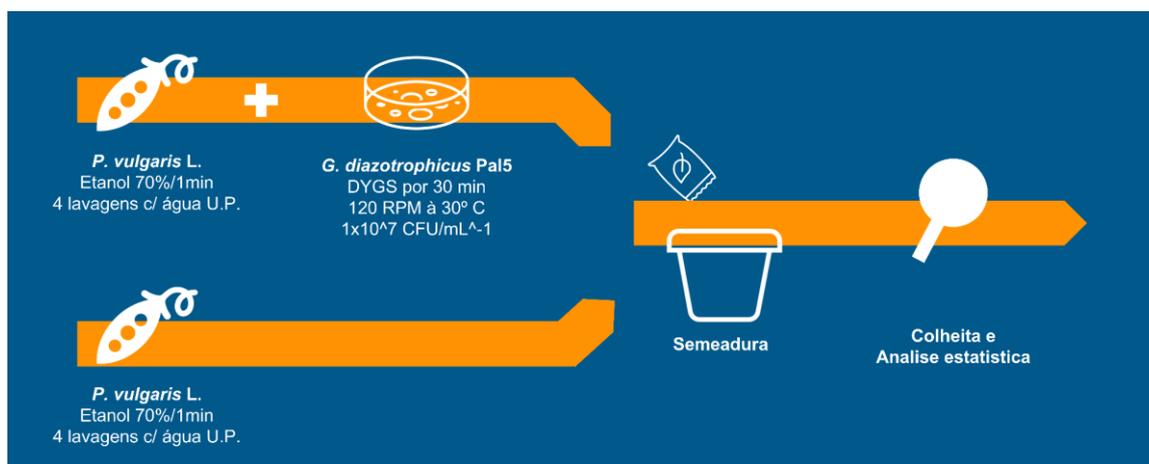
Embora a fixação do nitrogênio biológico (FBN) seja sua principal característica, fornecendo a quantidade necessária de nitrogênio, a *G. diazotrophicus* é capaz de regular os níveis de hormônios vegetais como a síntese de ácido indol-3-acético (AIA) (FUENTES-RAMÍREZ et al., 1993) e giberelinas (BASTIÁN et al., 1998).

*G. diazotrophicus* Pal5 já se mostrou eficiente no incremento de biomassa, em uma variedade de culturas, além disso, apresenta características interessantes de resistência, induzindo respostas de defesa contra estresses bióticos e abióticos para seca, déficit hídrico, solos salinizados e contaminados por metais pesados, variações de temperatura, sacarose e sais de sulfato, em razão dos seus diversos mecanismos moleculares de resistência nessas condições adversas (INTORNE et al., 2012; de OLIVEIRA et al., 2016; LEANDRO et al., 2020; LEANDRO et al., 2021; MOREIRA et al., 2022),

Sendo assim, *G. diazotrophicus* é uma BPCV bastante promissora para a expressão gênica de resistência em progênies advindas de cruzamentos controlados, bem como para atuar na produtividade da planta. Torna-se oportuno associar o estudo do uso de BPCVs, aliado à resistência genética, para a promoção de uma agricultura mais sustentável.

### 3.2.3 MATERIAL E MÉTODOS

Para uso experimental, 11 genótipos de feijão-vagem, Figura 8, foram instalados em telado na Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, com o intuito de investigar os efeitos da inoculação com *G. diazotrophicus* Pal5 (Figura 4).



**Figura 4.** Esquema experimental de inoculação bacteriana instalado em telado.

#### 3.2.3.1 Cepa bacteriana

A estirpe bacteriana *Gluconacetobacter diazotrophicus* Pal5 foi gentilmente cedida pelo Prof. Dr. Fábio Lopes Olivares do Laboratório de Biologia Celular e Tecidual (LBCT) da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF).

Para uso experimental, Figura 8, a cepa foi cultivada no meio de cultura generalizado para crescimento bacteriano, o DYGS líquido (composição em g.L<sup>-1</sup>: 2,0 glicose; 1,5 peptona bacteriológica; 2,0 extrato de levedura; 0,5 K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>; 0,5

MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O; e 1,5 ácido glutâmico) com pH ajustado para 6,0 (RODRIGUES et al., 1986), mantidos sob constante agitação e temperatura (120 min<sup>-1</sup> e 30°C). Ágar (15 g.L<sup>-1</sup>) foi adicionado ao meio quando necessário. O meio foi autoclavado a 1 ATM por 20 minutos.

Para o preparo do pré-inóculo, uma cultura estoque de *G. diazotrophicus* Pal5 (RODRIGUES et al., 1986), mantida em meio DYGS sólido a 4°C, foi transferida para um Erlenmeyer de 125 mL em fluxo laminar, coberto com manta de algodão fino e gaze, contendo 25 mL de meio DYGS líquido. O frasco ficou sob constante agitação e temperatura (120 min<sup>-1</sup> e 30°C) por 15 horas. Uma alíquota de 5% (v/v) desta pré-cultura foi transferida para frascos do tipo Erlenmeyer de 500 mL contendo 100 mL de meio DYGS, que foram incubados por 18 horas nas mesmas condições de cultivo.

### 3.2.3.2 Preparo do material vegetal

As sementes, Tabela 6, foram submetidas à desinfestação superficial por imersão em etanol 70% durante um minuto, seguida de quatro lavagens com água ultrapura estéril para remoção do excesso do reagente.

Após a desinfestação superficial, as sementes tratadas foram imersas na suspensão bacteriana de *G. diazotrophicus* Pal5, com concentração celular corrigida para 10<sup>7</sup> CFU/mL<sup>-1</sup> com base na contagem em câmara de Neubauer, durante 30 minutos. O tratamento controle foi simulado com sementes não expostas à suspensão bacteriana.

**Tabela 6.** Descrição dos 11 genótipos a serem inoculados.

	TIPO	HÁBITO
L6	MANTEIGA	INDETERMINADO
L9	MANTEIGA	DETERMINADO
L12	MANTEIGA	INDETERMINADO
L22	MANTEIGA	DETERMINADO
L23	MANTEIGA	INDETERMINADO
L33	MACARRÃO	INDETERMINADO
L34	MACARRÃO	INDETERMINADO
L37	MACARRÃO	DETERMINADO
L38	MACARRÃO	INDETERMINADO
L42	MANTEIGA	DETERMINADO
L44	MACARRÃO	DETERMINADO

### **3.2.3.3 Avaliação de germoplasma em telado de genótipos de feijão-vagem**

A germinação das sementes foi instalada em casa de vegetação na Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF.

A semeadura ocorreu em vasos de cinco litros, contendo substrato comercial Basaplant®, e após cinco dias, foi feito o desbaste, deixando apenas uma planta por vaso.

A irrigação automática foi feita por aspersores durante 30 minutos por dia até a colheita. A capina foi feita manualmente. O tutoramento foi feito utilizando arame liso e barbante assim que as plantas emitiam os ramos.

O delineamento experimental utilizado foi o fatorial duplo com quatro réplicas biológicas, utilizando o espaçamento de 0,8 metro entre linhas e 0,5 metro entre plantas.

O trabalho foi conduzido com base nas instruções para execução dos experimentos de distinguibilidade, homogeneidade e estabilidade de cultivares de feijão, publicados no Diário Oficial do MAPA (BRASIL, 2015). As variáveis avaliadas durante o desenvolvimento do feijão-vagem foram:

- Número de dias para a emergência (NDE);
- Número de dias para o florescimento (NDF);
- Número de sementes por vagem (NSV), dado por contagem
- Peso de 5 vagens por planta (P5V), dado em gramas;
- Peso de cem sementes (P100S), dado em gramas;
- Peso total de sementes (PTS), dado em gramas;
- Número total de vagem (TV);
- Peso total de vagens (PTV), dado em gramas;
- Comprimento de vagem (CV), dado em centímetros; e
- Diâmetro de vagem (DV) dado em centímetros.

### **3.2.3.4 Análise estatística**

Os dados gerados foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos comparadas pelo teste Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade e feita correlação entre as variáveis. As análises estatísticas foram feitas com auxílio do software R.

### 3.2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para identificar os efeitos da associação bacteriana nas características agronômicas de feijão-vagem (em suas sementes e vagens), sementes de feijoeiro foram inoculadas com *G. diazotrophicus* Pal5 e, posteriormente, transportadas para vasos, sementes sem exposição formaram as plantas na situação controle (Figura 5).



**Figura 5.** Três momentos do experimento em telado na Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF: Semeadura, tutoramento e produção de vagem.

Os resultados, Tabela 7, mostraram que os tratamentos têm efeito altamente significativo ( $p < 0,01$ ) em todas as variáveis. Tais achados reforçam que os tratamentos, representando genótipos, influenciaram diretamente suas características.

No que diz respeito à influência de bactérias, apenas o PTS apresentou efeito significativo, sugerindo que a presença de microrganismos nas concentrações e método de inoculação utilizado afeta principalmente a produção de sementes dos genótipos estudados.

A interação entre linhagens e bactérias foi significativa a 5% para o PTS, indicando que o efeito dos tratamentos pode variar de acordo com a presença de bactérias para essa característica específica, em razão dos genótipos testados.

**Tabela 7.** Resumo da análise de variância para as variáveis número de dias para a emergência (NDE), número de dias para o florescimento (NDF), número de sementes por vagem (NSV), peso de 5 vagens (P5V), peso de cem sementes (P100S), peso total de sementes (PTS), número total de vagens (TV), peso total de vagem (PTV), comprimento de vagem (CV) e diâmetro de vagem (DV) de 11 genótipos de feijão-vagem pertencentes ao banco de sementes da UENF.

<i>Resumo Anova</i>		<i>NDE</i>	<i>NDF</i>	<i>NSV</i>	<i>P5V</i>	<i>P100S</i>	<i>PTS</i>	<i>TV</i>	<i>PTV</i>	<i>CV</i>	<i>DV</i>
<i>FV</i>	GL	QM	QM	QM	QM	QM	QM	QM	QM	QM	QM
<i>BLOCOS</i>	3	1,30	17,48	1,86	22,66	42,48	198,95	276,52	2566,24	1,05	17,84
<i>LINHAGEM</i>	10	3,60**	66,79**	3,08**	82,56**	214,86**	72,74**	169,75**	1270,42**	17,70**	7,06**
<i>BACTÉRIA</i>	1	0,05	8,91	0,98	1,10	6,20	138,08**	20,05	91,37	1,68	0,90
<i>LIN x BAC</i>	10	0,22	1,91	0,32	10,46	16,75	42,93*	29,75	317,00	0,99	0,48
<i>RESÍDUO</i>	63	0,37	4,03	0,54	11,28	24,08	18,58	29,58	346,10	1,40	0,72
<i>CV(%)</i>		14,80	5,56	12,30	28,65	26,83	29,85	36,26	52,03	8,93	9,93
<i>MÉDIA</i>		4,09	36,14	5,96	11,72	18,29	14,44	15	35,75	13,26	8,54

Variáveis marcadas com \* e \*\* representam significância de 5% e 1%, respectivamente, pelo teste F

O coeficiente de variação (CV%) revelou que algumas variáveis apresentaram baixa variabilidade experimental, como o florescimento (CV = 5,56%) e o comprimento da vagem (CV, CV = 8,93%), o que indica alta semelhança entre os genótipos. Por outro lado, variáveis como o peso de 5 vagens (P5V, CV = 28,65%), o total de vagens (TV, CV = 36,26%) e o peso total de vagens (PTV, CV = 52,03%) evidenciaram alta variabilidade experimental.

Em conclusão, a ANOVA evidenciou que a interação significativa observada para o PTS ressalta a necessidade de testar outros genótipos e avaliar os efeitos de *G. diazotrophicus* Pal5 nas características avaliadas, no intuito de encontrar genótipos beneficiados com a simbiose bacteriana. Esses resultados são fundamentais para orientar a seleção de genótipos superiores e para a otimização das práticas agrícolas no cultivo de feijão-vagem.

Tabela 8. Agrupamento de médias das variáveis número de dias para a emergência (NDE), número de dias para o florescimento (NDF), número de sementes por vagem (NSV), peso de 5 vagens (P5V), peso de cem sementes (P100S), peso total de sementes (PTS), número total de vagens (TV), peso total de vagem (PTV), comprimento de vagem (CV) e diâmetro de vagem (DV) de 11 genótipos de feijão-vagem pertencentes ao banco de sementes da UENF em duas condições: com associação bacteriana (Com) e sem associação (Sem).

Genótipo	NDE		NDF		NSV		P5V		P100S	
	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem
<b>L6</b>	3,75 A bc	3,5 A b	38,5 A a	38,5 A ab	6,85 A ab	6,65 A a	21,34 A a	18,28 A a	19,58 A abcd	15,8 A ab
<b>L9</b>	4 A bc	4 A ab	36,25 A ab	37,25 A abc	6,25 A abc	5,95 A a	13,47 A ab	10,35 A ab	12,74 A cd	15,18 A ab
<b>L12</b>	4 A bc	3,75 A b	35,75 A abc	36,25 A bcd	6,25 A abc	6,2 A a	11,27 A b	11,59 A ab	24,41 A ab	25,53 A a
<b>L22</b>	5 A ab	4,75 A ab	35,25 A abc	37,5 A abc	6,45 A abc	6,3 A a	11,29 A b	12,55 A ab	14,01 A bcd	16,83 A ab
<b>L23</b>	6 A a	5,25 A a	39,5 A a	41 A a	7,55 A a	6,55 A a	13,33 A b	10,36 A ab	20,03 A abcd	21,49 A a
<b>L33</b>	3,25 A c	3,5 A b	38,25 A a	38 A ab	5,5 A bc	5,7 A a	10,08 A b	14,58 A ab	17,41 A bcd	17,29 A ab
<b>L34</b>	3,75 A bc	4,25 A ab	37,5 A a	36,25 A bcd	6,15 A abc	5,5 A a	12,66 A b	11,83 A ab	20,78 A abcd	15,55 A ab
<b>L37</b>	3,5 A c	3,5 A b	31,25 A c	33 A cd	5,8 A bc	5,25 A a	6,14 A b	7,525 A b	10,46 A d	9,48 A b
<b>L38</b>	3,5 A c	3,75 A b	38,25 A a	38,75 A ab	5,85 A abc	5,75 A a	11,28 A b	10,87 A ab	22,5 A abc	19,31 A ab
<b>L42</b>	4 A bc	4 A ab	32 A bc	32,5 A d	4,75 A c	5,13 A a	11,17 A b	11,65 A ab	29,57 A a	26,49 A a
<b>L44</b>	4,5 A bc	4,5 A ab	31,5 A c	32 A d	5,3 A bc	5,4 A a	8,185 A b	8,16 A b	12,6 A cd	15,32 A ab
<b>Média</b>	4,11	4,07	35,82	36,45	6,06	5,85	11,84	11,61	18,55	18,02

**Tabela 8.** Cont.

<i>Genótipo</i>	PTS		TV		PTV		CV		DV	
	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem
<i>L6</i>	19,63 A abc	15,55 A a	15,25 A abc	15,75 A ab	69 A a	58,88 A a	15 A ab	14,8 A a	10,24 A a	9,15 A a
<i>L9</i>	11,98 A bcd	13 A a	15 A abc	15,75 A ab	38,38 A ab	34,38 A a	14,26 A abc	13,44 A abc	8,73 A ab	8,24 A a
<i>L12</i>	15,8 A abcd	11,1 A a	10,25 A bc	7,5 A b	23,25 A b	17,13 A a	14,22 A abc	13,01 A abc	8,39 A abc	8,29 A a
<i>L22</i>	14,05 A bcd	11,15 A a	16,75 A abc	11,25 A ab	39,5 A ab	29,88 A a	11,71 A cd	11,27 A bc	8,88 A ab	8,9 A a
<i>L23</i>	20,28 A ab	14,65 A a	14,75 A abc	10,75 A ab	38,13 A ab	22,38 A a	15,52 A a	14,63 A a	8,34 A abc	7,97 A ab
<i>L33</i>	9,98 A cd	15,9 A a	11,25 A bc	17,75 A ab	24,75 <b>B</b> b	54,13 A a	13,21 A abcd	13,74 A ab	8,59 A ab	9,22 A a
<i>L34</i>	24,98 A a	12,93 <b>B</b> a	19 A abc	16 A ab	52,5 A ab	43,13 A a	14,07 A abc	12,93 A abc	9,32 A ab	8,73 A a
<i>L37</i>	10,88 A bcd	11,08 A a	20,75 A ab	23 A a	27,75 A ab	34,75 A a	11,61 A cd	11,29 A bc	6,41 A c	6,22 A b
<i>L38</i>	18,65 A abcd	15,4 A a	15 A abc	15 A ab	34,38 A ab	34,75 A a	14,57 A ab	15,11 A a	9,61 A ab	9,26 A a
<i>L42</i>	9,2 A d	10,47 A a	6,5 A c	8 A b	14,5 A b	20,33 A a	12,55 A bcd	13,35 A abc	8,78 A ab	9,33 A a
<i>L44</i>	17,23 A abcd	13,85 A a	25,75 A a	19 A ab	42,38 A ab	32,38 A a	10,65 A d	10,75 A c	7,78 A bc	7,53 A ab
<b>Média</b>	15,69 *	13,19 *	15,48	14,52	36,77	34,73	13,4	13,12	8,64	8,44

Letras maiúsculas indicam grupos estatísticos para a presença ou ausência de bactéria (colunas), enquanto as minúsculas diferenciam os genótipos (linhas). Valores seguidos pela mesma letra não diferem estatisticamente ( $p > 0,05$ ).

### 3.2.4.1 Efeito de *Gluconacetobacter diazotrophicus* Pal5 na germinação e produção floral de feijão-vagem

Os resultados do teste de Tukey, Tabela 8, mostram que a simbiose bacteriana com *G. diazotrophicus* Pal5 provoca efeitos neutros nas características associadas à germinação entre os 11 genótipos avaliados na contagem de dias decorrentes da emergência das sementes, visto que esta característica não se diferencia estatisticamente quando comparada aos acessos controle.

Esta associação bacteriana não provocou estresse e toxicidade, tampouco senescência dos genótipos avaliados durante o experimento. Essa característica demonstra que sua simbiose com plantas de feijão-vagem em concentrações superiores pode apresentar efeitos adversos, como a promoção ou regressão desta característica, ou seja, acelerar ou atrasar a emergência, respectivamente (MEHMOOD et al., 2018).

De forma análoga ao observado na germinação, a simbiose com *G. diazotrophicus* Pal5 mostrou efeito neutro na produção floral dos genótipos avaliados. A contagem de dias até a abertura completa da primeira flor foi estatisticamente semelhante aos controles, evidenciando que a interação bacteriana não altera o desenvolvimento reprodutivo inicial. Esse resultado reforça a ideia de que, sob as condições experimentais adotadas, a simbiose não promove nem retarda o florescimento, podendo variar conforme a característica avaliada.

A associação bacteriana com diferentes genótipos de feijoeiro mostra um padrão genótipo-dependente, refletindo a influência dos fatores genéticos na interação. Essa variação pode ser observada nas diferentes disposições físicas dos tratamentos apresentados na Tabela 7, sugerindo que cada genótipo responde de maneira específica à presença bacteriana.

Em plantas de *Arabidopsis thaliana*, a associação bacteriana se mostra dose-dependente, variando conforme as concentrações utilizadas na interação. Esse comportamento indica que a resposta das plantas à bactéria pode ser modulada não apenas pelos fatores genéticos, mas também pela intensidade da exposição, o que pode influenciar os mecanismos de adaptação e colonização (BERG et al., 2018).

Diante disso, a interação entre plantas e bactérias pode ser modulada tanto por fatores genéticos quanto pela disponibilidade e concentração dos microrganismos no ambiente (microbioma da raiz). Compreender essas relações é essencial para otimizar o uso de bactérias benéficas na agricultura, possibilitando estratégias mais eficientes para a promoção do crescimento vegetal e o melhor aproveitamento do potencial agrônômico dos genótipos estudados.

#### **3.2.4.2 Efeito de *Gluconacetobacter diazotrophicus* Pal5 em vagem de feijão-vagem**

De acordo com os resultados do teste de Tukey, Tabela 8, a inoculação com *Gluconacetobacter diazotrophicus* Pal5 não provocou alterações estatisticamente significativas no peso de 5 vagens (P5V) dos genótipos de feijão-vagem avaliados. Essa constatação evidencia que o acúmulo de biomassa reprodutiva, medido por essa característica, manteve-se estável em comparação aos acessos controle, indicando que a presença do microrganismo não interfere no desenvolvimento deste parâmetro específico.

No que diz respeito ao número total de vagens (TV), a análise estatística demonstrou que os genótipos inoculados apresentaram resultados equivalentes aos controles. Essa uniformidade na formação de vagens reforça a ideia de que a simbiose bacteriana não afeta a produtividade reprodutiva, mantendo a capacidade destes genótipos de formar frutos em quantidade similar à observada na condição não inoculada.

A avaliação do peso total de vagens (PTV) também evidenciou um comportamento neutro, com os valores obtidos para as plantas inoculadas sendo estatisticamente semelhantes aos valores dos controles, exceto para L33, que apresentou redução nessa característica quando em associação com *G. diazotrophicus*, acompanhada pela letra "B". Esse resultado sugere que a interação com *G. diazotrophicus* Pal5 não influencia o rendimento final dos frutos, preservando o acúmulo global de biomassa reprodutiva dos genótipos estudados.

Quanto ao comprimento médio das vagens (CV), os dados indicaram ausência de diferenças significativas entre as condições inoculadas e o controle. A estabilidade nesse quesito morfológico evidencia que a simbiose bacteriana não altera os processos de alongação e desenvolvimento estrutural dos frutos,

mantendo a uniformidade necessária para a qualidade e comercialização do produto.

Por fim, a medição do diâmetro médio das vagens (DV) revelou que as dimensões dos frutos permaneceram inalteradas entre os genótipos inoculados e os controles. Essa constância nas características físicas dos frutos confirma que a inoculação com *G. diazotrophicus* Pal5 não impõe modificações adversas na conformação desses frutos, reafirmando um efeito neutro da simbiose nas condições experimentais adotadas.

Apesar de a associação com *Gluconacetobacter diazotrophicus* Pal5 não ter mostrado efeito de promoção do crescimento vegetal nas características e genótipos avaliados, não foi constatado que a interação bacteriana tenha comprometido a integridade fisiológica ou a produtividade das plantas em sua simbiose, uma vez que foi obtido um padrão de desenvolvimento quando comparado às situações controle (MEHMOOD et al., 2018). No entanto, vale ressaltar que os efeitos da interação podem ainda ser modulados por características genéticas específicas e pelas condições ambientais.

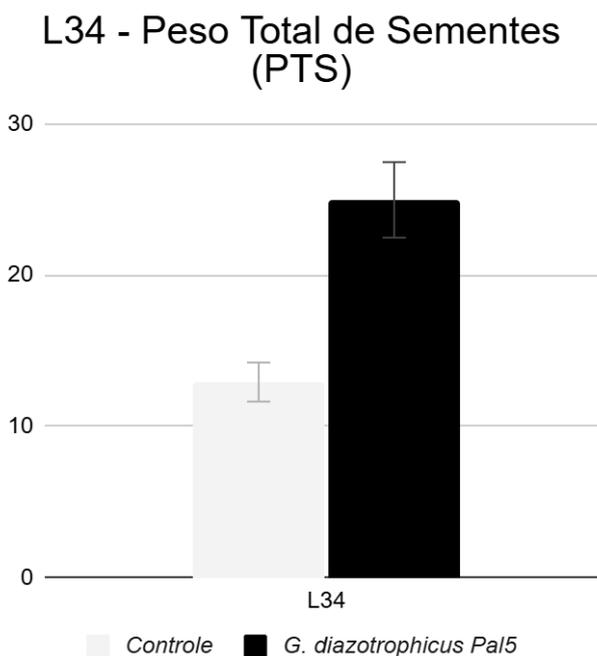
#### **3.2.4.3 Efeito de *Gluconacetobacter diazotrophicus* Pal5 em sementes de feijão-vagem**

A análise do número de sementes por vagem (NSV) revelou que a inoculação com *Gluconacetobacter diazotrophicus* Pal5 não resultou em diferenças estatísticas entre os genótipos avaliados. Esse resultado indica que a simbiose bacteriana não influenciou a formação e o desenvolvimento das sementes dentro das vagens, mantendo-se semelhante ao padrão observado nos controles.

De modo similar, o peso de 100 sementes (P100S) também não apresentou variação significativa entre os genótipos inoculados e os controles. A manutenção desse parâmetro sugere que a associação bacteriana não afetou o acúmulo de reservas nas sementes, garantindo a estabilidade dessa característica independentemente da presença do microrganismo.

A avaliação do peso total de sementes (PTS) mostrou que a inoculação com *Gluconacetobacter diazotrophicus* Pal5 teve efeito de incremento em um dos genótipos avaliados. Esse genótipo, o L34, Figura 6, apresentou aumento

expressivo no acúmulo de biomassa das sementes, passando de 12,93 g para 24,98 g, o que representa um crescimento de, aproximadamente, 93,3%. Esse resultado evidencia que a interação bacteriana pode potencializar o desenvolvimento reprodutivo em determinadas combinações genótipo-microrganismo, reforçando a relevância da variabilidade genética na resposta à inoculação e seu potencial para estratégias de bioinoculação na agricultura.



**Figura 6.** Efeito de *Gluconacetobacter diazotrophicus* Pal5 em simbiose do genótipo L34 de feijão-vagem para a característica Peso Total de Sementes (PTS).

Este aumento na biomassa das sementes pode estar associado a uma melhor absorção e assimilação de nutrientes, maior eficiência no metabolismo do carbono ou até mesmo ao estímulo da fixação biológica de nitrogênio promovido pela bactéria.

No caso do genótipo L34, sementes mais pesadas podem apresentar maior vigor, maior taxa de germinação e melhor qualidade fisiológica, fatores essenciais para a produção e o melhoramento genético da cultura. Esses achados reforçam a importância de explorar microrganismos benéficos na agricultura para aumentar a produtividade e melhorar a qualidade das sementes.

Os genótipos que não apresentaram promoção significativa para as demais características não demonstraram, por outro lado, quaisquer efeitos deletérios decorrentes da interação com *Gluconacetobacter diazotrophicus* Pal5. A ausência de resposta promotora não pode ser interpretada como um impacto negativo, pois esses genótipos mantiveram suas características morfoagronômicas preservadas ao longo do experimento. Além disso, não houve indícios de senescência precoce ou perda total das plantas, evidenciando que a simbiose não impôs qualquer prejuízo ao seu desenvolvimento.

A resposta neutra observada para essas características também não invalida o potencial da interação bacteriana. Embora a promoção do crescimento e da produtividade seja um dos focos principais de estudos com microrganismos benéficos, sua funcionalidade pode ser mais ampla e expressiva sob diferentes condições ambientais (GLICK, 2012; MORALES-CEDEÑO et al., 2021). Assim, investigações futuras considerando cenários de estresse hídrico, salino ou até mesmo desafios bióticos, como a presença de organismos patogênicos, podem revelar respostas mais significativas da simbiose para os genótipos testados (GIORGIO et al., 2015).

A interação entre *Gluconacetobacter diazotrophicus* Pal5 e os genótipos de feijão-vagem pode apresentar variações conforme a concentração bacteriana utilizada, visto que essa simbiose é dose-dependente. Diferentes concentrações podem influenciar a dinâmica da colonização, a disponibilidade de metabólitos secundários e a ativação de vias fisiológicas específicas na planta. Assim, enquanto a inoculação na concentração testada resultou em efeitos neutros para a maioria das características avaliadas, é possível que ajustes na dosagem modifiquem esse cenário, promovendo respostas mais expressivas no crescimento, desenvolvimento reprodutivo e produtividade.

Estudos anteriores com outras espécies vegetais mostraram que a resposta à inoculação pode variar de acordo com a quantidade de bactérias presentes no ambiente radicular, podendo ocorrer desde efeitos positivos, como a promoção do crescimento, até efeitos negativos, quando em concentrações excessivas que resultam em competição por nutrientes ou desbalanço fisiológico.

Portanto, novas investigações considerando diferentes níveis de inoculação são essenciais para compreender a relação ótima entre *G.*

*diazotrophicus* Pal5 e o feijão-vagem, possibilitando estratégias mais precisas para potencializar os benefícios dessa simbiose.

Dessa forma, mesmo quando os efeitos diretos sobre características produtivas são limitados, a associação com Bactérias Promotoras do Crescimento Vegetal (BPCV), bem como o foco neste trabalho, a estirpe *G. diazotrophicus* Pal5, continua sendo uma ferramenta promissora para a resiliência e o desempenho agrônomo de diversas culturas de interesse, incluindo o feijão-vagem (GANUGI et al., 2021).

### 3.2.5 CONCLUSÕES

- A associação bacteriana por *Gluconacetobacter diazotrophicus* Pal5 em plantas de feijão-vagem, em suma, teve seu efeito neutro, ou seja, não provocou estresse e toxicidade, tampouco a senescência dos genótipos avaliados durante o experimento;
- O genótipo L34, sob efeito da inoculação com *G. diazotrophicus* Pal5, comprovou promoção do peso total de sementes (PTS), em comparação ao controle, tendo se diferenciado estatisticamente ao nível de 1%;
- O genótipo L34, sob efeito da inoculação com *G. diazotrophicus* Pal5, em outros parâmetros avaliados, exibiu efeito neutro em comparação ao controle;
- O genótipo L33, sob efeito da inoculação com *G. diazotrophicus* Pal5, demonstrou redução de peso total de vagens (PTV)
- Os outros genótipos, sob efeito da inoculação com *G. diazotrophicus* Pal5, mostraram efeito neutro para todas as características avaliadas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANYAMBA A, SMALL JL, BRITCH SC, TUCKER CJ, PAK EW, REYNOLDS CA, CRUTCHFIELD J, LINTHICUM KJ (2014). Recent weather extremes and impacts on agricultural production and vectorborne disease outbreak patterns. *PLoS One*, 9;
- ASSENG S, EWERT F, MARTRE P, ROTTER RP, LOBELL DB, CAMMARANO D, KIMBALL BA, OTTMAN MJ, WALL GW, WHITE JW et al. (2015). Rising temperatures reduce global wheat production. *Nat Clim Change*, 5:143-147;
- BASTIÁN, F. et al. (1998). Production of indole-3-acetic acid and gibberellins A1 and A3 by *Acetobacter diazotrophicus* and *Herbaspirillum seropedicae* in chemically-defined culture media. *Plant Growth Regulation*, v. 24, n. 1, p. 7–11,;
- BASU, A. et al. (2021). Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) as green bioinoculants: recent developments, constraints, and prospects. *Sustainability*, v. 13, n. 3, p. 1140;
- BERG, Maureen; KOSKELLA, Britt. Nutrient-and dose-dependent microbiome-mediated protection against a plant pathogen. *Current Biology*, v. 28, n. 15, p. 2487-2492. e3, 2018.

- BERTALAN et al. (2009). Complete genome sequence of the sugarcane nitrogen-fixing endophyte *Gluconacetobacter diazotrophicus* Pal5. *BMC genomics*, v. 10, p. 1-17;
- BOTELHO S. M, CHENG S. S., VIÉGAS I. J. M., GUSMÃO S. A. L. (2020). Recomendações de calagem e adubação para hortaliças: Feijão-vagem e feijão-de-metro. Cap 2, p. 303-304;
- BRASIL. Ato no. 4 de 13 de julho de 2015 (2015). Instruções para execução dos experimentos de distinguibilidade, homogeneidade e estabilidade de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). *Diário oficial da República Federativa do Brasil, Brasília*, p.2 a 4, seção 1;
- CASTELLANE, P.D.; VIEIRA, R.D.; CARVALHO, N.M. (1998) Feijão-de-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.): cultivo e produção de sementes. *Jaboticabal: FCAV-UNESP*. 60p.;
- CAVALCANTE, V. A.; DOBEREINER, J. (1988). A new acid-tolerant nitrogen-fixing bacterium associated with sugarcane. *Plant and Soil*, v. 108, n. 1, p. 23–31;
- CEASA (2010). PROHORT - Programa Brasileiro de Modernização do Mercado de Hortigranjeiro. Disponível em: [www.ceasa.gov.br/precos.htm](http://www.ceasa.gov.br/precos.htm) - Acesso em fev. 2024;
- CEASA (2015). PROHORT – Progama Brasileiro de Modernização do Mercado de Hortigranjeiro. Disponível em: <http://www.ceasa.gov.br/precos.php> - Acesso em fev. 2024;
- CEASA (2021). Relatório Anual De Comercialização: A CEASA-RJ Em Números. Disponível em: [https://www.ceasa.rj.gov.br/sites/default/files/arquivos\\_paginas\\_-](https://www.ceasa.rj.gov.br/sites/default/files/arquivos_paginas_-) Acesso em fev. 2024;
- CHALLINOR AJ, WATSON J, LOBELL DB, HOWDEN SM, SMITH DR, CHHETRI N: A (2014). meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation. *Nat Clim Change*, 4:287-291;

- COCKING, E. C.; STONE, P. J.; DAVEY, M. R. (2006). Intracellular colonization of roots of Arabidopsis and crop plants by *Gluconacetobacter diazotrophicus*. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*, v. 42, n. 1, p. 74–82;
- COSTA, D.D., KEMPKA, A.P., SKORONSKI, E., 2017. A contaminação de mananciais de abastecimento pelo nitrato: o panorama do problema no Brasil, suas consequências e as soluções potenciais. *REDE 10*, 49–61;
- DE OLIVEIRA, T. R. A. et al. (2019). The performance of bean pod lineage inoculated with *Gluconacetobacter diazotrophicus* PAL5. *Scientia Horticulturae*, v. 249, p. 65–70,
- DE SOUZA, R.; AMBROSINI, A.; PASSAGLIA, L. M. P. (2015). Plant growth-promoting bacteria as inoculants in agricultural soils. *Genetics and Molecular Biology*, v. 38, n. 4, p. 401–419;
- DE OLIVEIRA, M.V.V., INTORNE, A.C., VESPOLI, L.D.S., MADUREIRA, H.C., LEANDRO, M.R., PEREIRA, T.N., OLIVARES, F.L., BERBERT-MOLINA, M.A., DE SOUZA FILHO, G.A. (2016). Differential effects of salinity and osmotic stress on the plant growth-promoting bacterium *Gluconacetobacter diazotrophicus* PAL5. *Arch. Microbiol.*:1-8;
- EL-TOHAMY, W.A., EL-GREADLY, N.H.M. (2007) Physiological Responses, Growth, Yield and Quality of Snap Beans in Response to Foliar Application of Yeast, Vitamin E and Zinc under Sandy Soil Conditions. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*. 1 (3): p.294-299;
- ESKIN, N. et al. (2014). Research progress and perspectives of nitrogen fixing bacterium, *Gluconacetobacter diazotrophicus*, in monocot plants. *International Journal of Agronomy*;
- FAO - Food and Agriculture Organization (2019). Statistical databases – Agriculture. Rome: FAO. Disponível em: Acesso em: 16 de fev. de 2024;
- FERNÁNDEZ, F.; GEPTS, P.; LÓPEZ, M. (1986). Etapas de desarrollo de la planta de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). *Calí. Centro Internacional de Agricultura Tropical*, p.34;

- FILGUEIRA, FAR. 2013. Novo Manual de Olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. *Viçosa: UFV*. p.421;
- FRANCELINO, F.M.A., GRAVINA, G.A., MANHÃES, C.M.C., CARDOSO, P.M.R., ARAÚJO, L.C. (2011) Avaliação de linhagens de feijão-de-vagem para as regiões Norte e Noroeste Fluminense. *Revista Ciência Agronômica*, 42 (2): p.554-562;
- FUENTES-RAMÍREZ, L. E. et al. (1993). *Acetobacter diazotrophicus*, an indoleacetic acid producing bacterium isolated from sugarcane cultivars of México. *Plant and Soil*, v. 154, n. 1, p. 145–150;
- GANUGI, P., MARTINELLI, E., & LUCINI, L. (2021). Microbial biostimulants as a sustainable approach to improve the functional quality in plant-based foods: a review, *Current Opinion in Food Science*, 41, 217–223
- GEPTS, P.; DEBOUCK, D.G. (1991). Origin, domestication, and evolution of the common bean (*Phaseolus vulgaris*). In: Schoonhoven, A. van; Voysest, O. (Ed.). *Common beans: research for crop improvement*. Cali: CIAT, p.7-53;
- GOMES. G. R. et al. (2016). Desempenho produtivo de genótipos de feijão-vagem arbustivo em dois ambientes. *Scientia Agropecuaria, Londrina-PR*, v.7, n.2, p. 85-92, jun. 2016;
- GLICK, B.R., (2012). Plant growth-promoting bacteria: mechanisms and applications. *Scientifica* 1–15. <https://doi.org/10.6064/2012/963401>. 2012;
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2006). Censo Agropecuário. Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA: <http://www.sidra.ibge.gov.br> em 16 fev. 2024;
- INTORNE, A.C., DE OLIVEIRA, M.V.V., PEREIRA, L.D.M., DE SOUZA FILHO, G.A. (2012). Essential role of the *czc* determinant for cadmium, cobalt and zinc resistance in *Gluconacetobacter diazotrophicus* PAI 5. *Int. Microbiol.* 15(2):69-78;
- KAPLAN, L. (1981). What is the origin of the common bean? *Economic Botany* 35(2): 240-254;

- KATSENIOS, N., ANDREOU, V., SPARANGIS, P., DJORDJEVIC, N., GIANNOGLOU, M., CHANIOTI, S., KASIMATIS, C.N., KAKABOUKI, I., LEONIDAKIS, D., DANALATOS, N., KATSAROS, G., & EFTHIMIADOU, A. (2022). Assessment of plant growth promoting bacteria strains on growth, yield and quality of sweet corn. *Scientific Reports*, 12, 11598;
- KERSTERS, K., LISDIYANTI, P., KOMAGATA, K. SWINGS, J. (2006) The family acetobacteraceae: the genera *Acetobacter*, *Acidomonas*, *Asaia*, *Gluconacetobacter*, *Gluconobacter*, and *Kozakia*. *The Prokaryotes: Volume 5: Proteobacteria: Alpha and Beta Subclasses*:163-200.
- LANA, Â. M. Q.; CARDOSO, A. A.; CRUZ, C. D. (2007) Herdabilidades e correlações entre caracteres de linhagens de feijão obtidas em monocultivo e em consórcio com o milho. *Ciência Rural, Santa Maria*, 33(6): p.1031-1037;
- LEANDRO, M. et al. (2020). Comparative proteomics reveals essential mechanisms for osmotolerance in *Gluconacetobacter diazotrophicus*. *Research in Microbiology*, v. 172, n. 1, p. 103785;
- LEANDRO, M. R. et al. (2021). DegP protease is essential for tolerance to salt stress in the plant growth-promoting bacterium *Gluconacetobacter diazotrophicus* PAL5. *Microbiological Research*, v.243, p. 126654;
- LIU B, ASSENG S, MULLER C, EWERT F, ELLIOTT J, LOBELL DB, MARTRE P, RUANE AC, WALLACH D, JONES JW et al. (2016). Similar estimates of temperature impacts on global wheat yield by three independent methods. *Nat Clim Change*, 6:1130-1136;
- LOPES, E. L. P. et al. (2019). Co-inoculation of growth promoting bacteria and *Glomus clarum* in micropropagated cassava plants. *Revista Caatinga*, v. 32, n. 1, p. 152–166;
- LOPES, R.B.M., DE OLIVEIRA COSTA, L.E., VANETTI, M.C.D., DE ARAÚJO, E.F., DE QUEIROZ, M.V. (2015) Endophytic bacteria isolated from common bean (*Phaseolus vulgaris*) exhibiting high variability showed antimicrobial activity and quorum sensing inhibition. *Curr. Microbiol.* 71(4):509-516;

- LUNA, M. F. et al. (2010). Colonization of sorghum and wheat by seed inoculation with *Gluconacetobacter diazotrophicus*. *Biotechnology Letters*, v. 32, n. 8, p. 1071–1076;
- MARIOT, E. J. (1989). Ecofisiologia do feijoeiro. p. 25-41. In Iapar. *O feijão no Paraná*. Londrina. 303 p. (Circular 63);
- MATOSO, S C. G.; KUSDRA, J. F. Nodulação e crescimento do feijoeiro em resposta à aplicação de molibdênio e inoculante rizobiano. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 18, n. 6, p.567-573, 17 jan. 2014;
- MEHMOOD, UMAIR et al. (2018). A brief review on plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): a key role in plant growth promotion. *Plant protection*, v. 2, n. 2, p. 77-82;
- MORALES-CEDEÑO, LUZMARIA R. et al. (2021). Plant growth-promoting bacterial endophytes as biocontrol agents of pre-and post-harvest diseases: Fundamentals, methods of application and future perspectives. *Microbiological Research*, v. 242, p. 126612,;
- MOREIRA, J. R. et al. (2022). Essential role of extracytoplasmic proteins in the resistance of *Gluconacetobacter diazotrophicus* to cadmium. *Research in Microbiology*, v. 173, n. 4-5, p. 103922;
- NÉRI, HELIANA RIBEIRO ET AL. (2020). Seed production of bush snap beans genotypes in conventional and organic systems. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 15, n. 1;
- NIU S, LUO Y, LI D, CAO S, XIA J, LI J, SMITH MD. (2014). Plant growth and mortality under climatic extremes: an overview. *Environ. Exp. Bot.*, 98:13-19;
- OCA, G.M. (1987). Mejoramiento genético de la habichuela en el CIAT y resultados de viveros internacionales. *In: El mejoramiento genético de la habichuela en América Latina. Memorias de un taller*. Cali;

- ONU, Organização das Nações Unidas Brasil (2019). Disponível: <<https://brasil.un.org/ptbr/83427-populacao-mundial-deve-chegar-97-bilhoes-de-pessoas-em-2050-dizrelatorio-da-onu>>. Acesso em: 05 out. 2022;
- PARRY M, ROSENZWEIG C, LIVERMORE M. (2005). Climate change, global food supply and risk of hunger. *Philos Trans R Soc B Biol Sci*, 360:2125-2138;
- PATHAK TB, MASKEY ML, DAHLBERG JA, KEARNS F, BALI KM, ZACCARIA D. (2018). Climate change trends and impacts on California agriculture: a detailed review. *Agronomy*, 8:25;
- PEIXOTO, N., BRAZ, L.T., BANZATTO, D.A., MORAES, E.A., MOREIRA, F.M. (2002). Características agronômicas, produtividade, qualidade de vagens e divergência genética em feijão-vagem de crescimento indeterminado. *Horticultura Brasileira*, Brasília, 20 (3): 447-451;
- PEREIRA, V. G. C. et al. (2014). Exigências Agroclimáticas para a Cultura do Feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v.3, n.1, p. 32-42;
- PICKERSGILL, B.; DEBOUCK, D.G.; ARIAS, J.S. (2007) Phylogeographic analysis of the chloroplast DNA variation in wild common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in the Americas. *Plant Syst. Evol.*, 266, 175–195;
- RANGEL DE SOUZA, A. L. S. et al. (2016) Endophytic colonization of *Arabidopsis thaliana* by *Gluconacetobacter diazotrophicus* and its effect on plant growth promotion, plant physiology, and activation of plant defense. *Plant and Soil*, v. 399, n. 1–2, p. 257–270;
- RAMÍREZ, N.S.; ESTRADA, J.A.E.; GONZÁLEZ, M.T.R.; MONTES, E.S (2012). Rendimiento y calidad nutrimental de frijol ejotero en dos ambientes. *Fitotecnia Mexicana*, v.35, n.4, p.317-323;
- RAY DK, GERBER JS, MACDONALD GK, WEST PC (2015) Climate variation explains a third of global crop yield variability. *Nat Commun*, 6:1-9;

- RODRIGUES NETO, J. (1986) Meio simples para o isolamento e cultivo de *Xanthomonas campestris* pv. citri tipo B. *Summa Phytopathol*;
- SANT'ANNA, CQSS; GRAVINA, GA; CRUZ, DP; OLIVEIRA, TRA; GRAVINA, LM; GOMES, ABS; ENTRINGER, GC; VIVAS, M; DAHER, RF; ARAÚJO, KC; SILVA, MGM. (2019). Snap bean cultivar UENF Goytacá: a new choice for small farmers. *Horticultura Brasileira* 37: 239-242. DOI - <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-053620190217>;
- SANT'ANNA, C,Q,S,S., OLIVEIRA, T,R,A., GRAVINA, G,A., CRUZ, D,P., GOMES, A., DAHER, R,F., VIVAS, M., OLIVEIRA, G,H,F., ENTRINGER, G,C., COELHO, F,C. (2020). Distinctness, uniformity and stability and GT biplot tests for the selection of snap bean lines, *Horticultura Brasileira*, 38: 370-377.
- SANTOS, D. et al (2012). Tamanho ótimo de parcela para a cultura do feijão-vagem. *Ciência Agronômica*, Fortaleza–CE, v. 43, n.1, p. 119-128;
- SARAVANAN, V., MADHAIYAN, M., OSBORNE, J., THANGARAJU, M, SA, T. (2008) Ecological occurrence of *Gluconacetobacter diazotrophicus* and nitrogen-fixing Acetobacteraceae members: their possible role in plant growth promotion. *Microb. Ecol.* 55(1):130-140;
- SAVCI, S. (2012) Investigation of effect of chemical fertilizers on environment. *APCBEE Procedia*, v. 1, p. 287–292;
- SEBRING, R. L. et al. (2022) *Gluconacetobacter diazotrophicus* inoculation of two lettuce cultivars affects leaf and root growth under hydroponic conditions. *Applied Sciences*, v. 12, n. 3, p. 1585;
- SHAW MW, OSBORNE TM (2011): Geographic distribution of plant pathogens in response to climate change. *Plant Pathol*, 60:31-43;
- SILBERNAGEL, M.J. (1986). Snap breeding. In: Basset, M.J (ed.) Breeding vegetable crops. *New York: Avi Publishing*, p. 243-282;
- SILVA, A. DA, SANTOS, I. DOS, BALBINOT, A.L., MATEI, G., OLIVEIRA, P.H. DE. (2009) Reação de genótipos de feijão ao crestamento bacteriano

- comum, avaliado por dois métodos de inoculação. *Ciênc. agrotec.*, 33: p.2019-2024;
- SINGH, S.P. (1989) Patterns of variation in cultivated common bean (*Phaseolus vulgaris*, Fabaceae). *Econ. Bot.*, 43, 39–57;
- SINGH, S.P. (2001). Broadening the Genetic Base of Common Bean Cultivars: A Review. *Crop Science*, v. 41, p.1659-1675;
- TEJERA, N.A., ORTEGA, E., GONZALEZ-LOPEZ, J., LLUCH, C. (2003) Effect of some abiotic factors on the biological activity of *Gluconacetobacter diazotrophicus*. *J. Appl. Microbiol.* 95(3):528-535;
- VIDAL, V.L., JUNQUEIRA, A.M.R., PEIXOTO, N., MORAES, E.A. (2007) Desempenho de feijão-vagem arbustivo, sob cultivo orgânico em duas épocas. *Horticultura Brasileira*, Brasília, 25 (1): 10-14;
- VIEIRA, C. (1967). O feijoeiro comum: cultura, doenças e melhoramento. Viçosa: Universidade Rural do Estado de Minas Gerais. 486 p.;
- Vieira, C.; Borém, A.; Ramalho, M.A.P. (1999). Melhoramento do feijão. In: BORÉM, A. Melhoramento de espécies cultivadas. Viçosa. Ed. UFV, p. 273-349;
- VILHORDO, B.W.; MIKUSINSKI, O.M.F.; BURIN, M.E.; GANDOLF, V.H. (1996). MORFOLOGIA. IN: ARAÚJO, R.S.; RAVA, C.A.; STONE, L.F.; ZIMMERMANN, M.J.O (eds.). Cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade. *Associação Brasileira da Potassa e do Fosfato*, p. 669 -700;
- ZIMMERMANN, M.J.O.; TEIXEIRA, M.G. (1996) Origem e evolução. In: Zimmermann, M.J.O.; Rocha, M.; Yamada, T. Cultura do feijoeiro comum no Brasil. *Associação Brasileira da Potassa e do Fosfato*.