

VANDERLEY JOSÉ PEREIRA

COMO O MANEJO DO NITROGÊNIO DA PLANTA-MÃE INTERFERE NA BIOLOGIA
DE SEMENTES DE FEIJÃO CARIOLA SUPERPRECOCE?

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS-BRASIL
2019

VANDERLEY JOSÉ PEREIRA

**COMO O MANEJO DO NITROGÊNIO DA PLANTA-MÃE INTERFERE NA
BIOLOGIA DE SEMENTES DE FEIJÃO CARIOSA SUPERPRECOCE?**

Tese apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Doutorado, área de concentração em Fitotecnia, para obtenção do título de “Doutor”.

Orientador

Prof^a. Dr^a. Regina Maria Quintão Lana

Co-orientador

Prof. Dr. João Paulo Ribeiro de Oliveira

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

P436c
2019

Pereira, Vanderley José, 1986
Como o manejo do nitrogênio da planta-mãe interfere na biologia de sementes de feijão carioca superprecoce? [recurso eletrônico] / Vanderley José Pereira. - 2019.

Orientadora: Regina Maria Quintão Lana.

Coorientador: João Paulo Ribeiro de Oliveira.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia.

Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.te.2019.1246>

Inclui bibliografia.

Inclui ilustrações.

1. Agronomia. 2. Feijão - Semente. 3. Sementes - Fisiologia. 4. Sementes - Qualidade. 5. Nitrogênio - Fixação. I. Lana, Regina Maria Quintão, 1958, (Orient.). II. Oliveira, João Paulo Ribeiro de, (Coorient.). III. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDU: 631

Angela Aparecida Vicentini Tzi Tziboy – CRB-6/947

VANDERLEY JOSÉ PEREIRA

**COMO O MANEJO DO NITROGÊNIO DA PLANTA-MÃE INTERFERE NA BIOLOGIA
DE SEMENTES DE FEIJÃO CARIOSA SUPERPRECOCE?**

Tese apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Doutorado, área de concentração em Fitotecnia, para obtenção do título de “Doutor”.

APROVADA em 22 de Fevereiro de 2019.

Prof. Dr. Laercio Junio da Silva - UFV

Prof. Dr. Clesnan Mendes Rodrigues - UFU

Profª. Drª. Carla Gomes Machado - UFJ

Prof. Dr. João Paulo Ribeiro de Oliveira – UFU
ICIAG-UFU
(Co-orientador)

Profª. Drª. Regina Maria Quintão Lana
ICIAG-UFU
(Orientadora)



UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2019



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Agronomia
 Rodovia BR 050, Km 78, Bloco 1CCG, Sala 206 - Bairro Glória, Uberlândia-MG, CEP 38400-902
 Telefone: (34) 2512-6715/6716 - www.ppga.iaciag.ufu.br - posagro@ufu.br



ATA

Ata da defesa de TESE DE DOUTORADO junto ao Programa de Pós-graduação em Agronomia do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia.

Defesa de Doutorado, 03/2019, PPGAG

Data: 22 de fevereiro de 2019

Discente: VANDERLEY JOSÉ PEREIRA

Matrícula: 11513AGR009

Título do Trabalho: “Manejo de nitrogênio na planta mãe na biologia de sementes: Um estudo com feijão carioca superprecoce em solo do cerrado.”

Área de concentração: Fitotecnia

Linha de pesquisa: Produção Vegetal em Áreas de Cerrado

Às 08:00 horas do dia vinte e cinco de fevereiro do ano de 2019, na sala 102 do bloco 8C - Campus Umuarama da Universidade Federal de Uberlândia, reuniu-se a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, assim composta: Dr. João Paulo Ribeiro de Oliveira - UFU, Prof. Dr. Clesnan Mendes Rodrigues - UFU, Prof.ª Dr.ª Carla Gomes Machado - UFG, Prof. Dr. Laércio Junio da Silva - UFV e Prof.ª Dr.ª Regina Maria Quintão Lana - UFU - orientador(a) do(a) candidato(a).

Iniciando os trabalhos o(a) presidente da mesa, Prof.ª Dr.ª Regina Maria Quintão Lana - UFU apresentou a Comissão Examinadora e o(a) candidato(a), agradeceu a presença do público, e concedeu ao(à) discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do(a) discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa. A seguir o(a) senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos examinadores, que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o **conceito final (A)**.

Em face do resultado obtido, a Banca Examinadora considerou o(a) candidato(a) (A)provado, sugerindo (se for o caso) o novo título para o trabalho:

"Como o manejo do Nitrogênio da planta mãe interfere na biologia de sementes de feijão carioca superprecoce?

Esta defesa da Tese de Doutorado é parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor. O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, legislação e regulamentação internas da UFU, em especial do artigo 55 da resolução 12/2008 do Conselho de Pós-graduação e Pesquisa da Universidade Federal de Uberlândia.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos às (13:30h) horas. Foi lavrada a presente ata que após lida e em conformidade foi assinada pela Banca Examinadora.

Dr. João Paulo Ribeiro de Oliveira	UFU	()
Prof. Dr. Clesnan Mendes Rodrigues	UFU	()
Prof.ª Dr.ª Carla Gomes Machado	UFG	()

Prof. Dr. Laércio Junio da Silva

UFV ()

Prof.ª Dr.ª Regina Maria Quintão Lana

UFU ()

Orientador



Documento assinado eletronicamente por **Regina Maria Quintão Lana, Professor(a) do Magistério Superior**, em 22/02/2019, às 13:47, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Clesnan Mendes Rodrigues, Professor(a) do Magistério Superior**, em 22/02/2019, às 13:50, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Carla Gomes Machado, Usuário Externo**, em 22/02/2019, às 13:51, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Laércio Junio da Silva, Usuário Externo**, em 22/02/2019, às 13:52, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **JOAO PAULO RIBEIRO DE OLIVEIRA, Usuário Externo**, em 25/02/2019, às 14:36, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1020644** e o código CRC **8E3E37DA**.

*Pela oportunidade de continuar a minha vida acadêmica, ofereço à
Regina Maria Quintão Lana;*

*e, pelo exemplo de vida, profissionalismo e amizade ,ofereço ao
Carlos Machado do Santos*

*Aos meus amigos João Paulo Ribeiro de Oliveira, Adilio de Sá Junior e Augusto César de Oliveira Gonzaga por todo o apoio.
Eu dedico!!!*

O deixador

*Eu tenho mania de deixar tudo para depois...
Depois a contagem das cartas a responder...
Depois a arrumação das coisas...
Depois, Adalgisa...
Ah, Me lembrar mais uma vez de romper definitivamente com Adalgisa!
Depois, tanta, tanta coisa...
Depois o testamento as últimas vontades a morte.
Só porque vai sempre deixando tudo para depois
É que Deus é eterno
E o mundo incompleto
Inquieto...
Só é verdadeiramente vida a que tem um inquieto depois!*

Poeminho do Contra

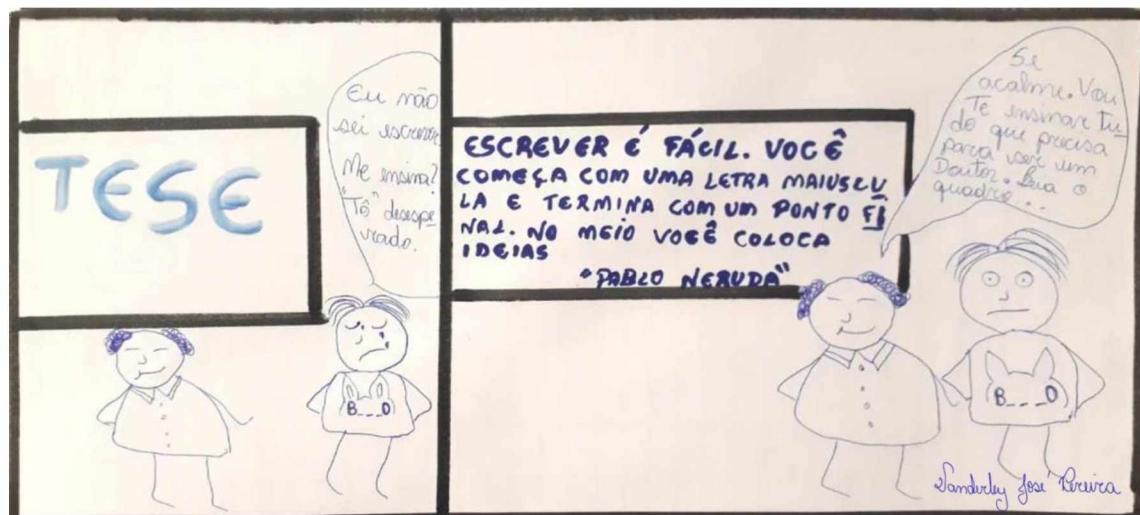
*Todos esses que aí estão
Atravancando meu caminho,
Eles passarão...
Eu passarinho!*

Do amoroso esquecimento

*Eu agora — que desfecho!
Já nem penso mais em ti...
Mas será que nunca deixo
De lembrar que te esqueci?*

QUINTANA, Mário. **Poesia completa**. Rio de Janeiro: Nova Aguilar, 2005.

EPÍGRAFE



BIOGRAFIA

Para atualizar os “dados” deste “Curriculo lattes”, analogias foram o foco, pois seriedade não cabe aqui, uma vez que é Vandy por Vandy! Esta semente (nome científico da espécie: Vanderley José Pereira¹; sinônima: Sublime, O Poder, Vam, Vandy, Vandeco, Emo Loiro, Wandy Wamcura, Vandinho, Dedey, Bolo, Pilutuco, Ticutuco, Deninho, Mamão Macho, Limão, Pão de Queijo, entre outras), fruto de uma quimera genética (filho de Cezária, Claricinda e José), com forte efeito materno e foi dispersa em 1986 no coração do Brasil, estado de Goiás, em um Cerrado típico localizado em Itumbiara – apesar da espécie também apresentar características de florestas temperadas. Ficou em quiescência durante grande parte da vida, compondo, aos 18 anos, um lote de sementes nada homogêneo (Exército “TG 11-014”) ao defender seu habitat (Brasil). Nesse meio tempo, foi autosemeado em campo fértil (Curso de Engenharia Agronômica no Instituto Luterano de Ensino Superior ILES/ULBRA), passando por condições ambientais adversas, mas, ainda assim, germinando. Em 2010 foi transplantado para outro recipiente (ingressou no Mestrado em Fitotecnia pela Universidade Federal de Uberlândia - UFU), no qual fez interações ecológicas complexas com diversas espécies, dentre as quais, destaca-se o mutualismo. Nesta fenofase desenvolveu intensamente, apresentando alto vigor, em parte por ser uma planta C4 e, por pressão adaptativa, passou por um estresse voluntário restringindo seu crescimento meristemático secundário. Em 2012, esta plântula foi avaliada quanto à normalidade ou anormalidade (Defesa de dissertação), sendo considerada normal. Mais tarde, quando já um tirodentro ou uma planta jovem, esta espécie disseminou seus propágulos (atuou na docência), mas sentindo que o efeito do ambiente estava sobrepujando a genética (efeito maternal), resolveu se autotransferir para outro ambiente (Doutorado). Nessa etapa, a planta mostrou-se bastante totipotente e rústica frente aos estresses bióticos e abióticos. A planta passará por um processo de seleção para avaliar seu potencial para ser matriz de “banco clonal” (Defesa de tese). E o futuro? Aguarde! Pois esta espécie ainda é pouco estudada e não se conhece sua fenologia, ecologia e outros aspectos biológicos, sendo necessários maiores estudos.

¹ Endereço para acessar este curriculum vitae Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3025084621830390>

AGRADECIMENTOS

Agradeço nominalmente as pessoas que se dispuseram a me ajudar: Clesnan Mendes Rodrigues, Gabriella de Freitas Alves, Nádia Giaretta Biase, Maria Imaculada de Sousa Silva, Leandro Alves Pereira, Angélica das Graças Borges Silva, Fernanda Heloisa Litz, Evandro de Abreu Fernandes, Sara Moraes Mendes Almeida, Matheus Giroto Costa Mota (meu filho), Andreia Cecília Silva (minha filha), Fernanda Carvalho Barros, Bianca Fernandes Estrela Netto, Lorena Almeida de Oliveira e a toda minha família e amigos.

Por fim, agradeço a todos que por ventura acham-se dignos e merecedores do meu agradecimento, a vocês meu mais sincero muito obrigado.

PREFÁCIO

Vanderley José Pereira, homem de 32 anos nascido “no Goiás”. Há 48 meses começou seu projeto de tese.

A persistência, empenho, assiduidade, pontualidade, honestidade e amabilidade são algumas características deste eterno estudante da ciência.

No início, o tema da tese deu origem a alguns questionamentos, normais para um doutorando. Porém, como todo cientista, verificou várias oportunidades de estudos no decorrer destes quatro anos. A tese por si só não consegue expressar os vários dias e noites passados em diversos laboratórios. Muitas vezes sem o conhecimento necessário para análises específicas de outras áreas do conhecimento. A busca de quem conhece foi difícil; e de quem se propõem em ajudar, mais ainda. Melhor saber que, no ambiente da Universidade, encontramos profissionais que se dispuseram a sempre ajudar.

Como sempre, a ciência nos leva em busca de várias respostas, as quais nem sempre apresentam os resultados esperados. Mas, como profissional da ciência, o autor buscou elucidar o maior número possíveis de pressuposições.

Neste trabalho, estudou o nitrogênio na cultura do feijoeiro e, como a semente que possui o germe de uma nova planta, apesar de estar em quiescência, só precisa de um fator favorável para despertar o que há de melhor: A VIDA.

Parabéns a você que está lendo esta tese, pois foi realizada com muito trabalho, dedicação e ciência.

Adílio de Sá Júnior

PRÓLOGO

No primeiro semestre de 2016 cursei a disciplina do doutorado “Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas”, ministrada pela então Professora Regina Maria Quintão Lana. Disciplina esta cursada para concluir os créditos necessários, sem maiores ambições. A primeira impressão foi de maravilhamento: que universo lindo, que dinamismo. Eu já havia trabalhado com fertilidade de nutrição de plantas, mas foi por oportunismo, nunca foi meu foco; mas, sempre tive interesse. Neste sentido, minha monografia foi com soja, adubação nitrogenada e inoculação². (Curioso os caminhos do destino, não?!).

Meu primeiro contato como profissional com a Prof^a. Dr^a. Lana foi ali. Modestia à parte, eu fui um ótimo aluno. Como todo aluno deve ser: fui participativo, curioso, presente e atencioso ainda que com dificuldade e sem uma boa base teórica e prática. Nesta disciplina, curiosamente, eu fiquei incubido de ser o primeiro a apresentar seminário, juntamente com um colega, cujo tema foi “Bacterias fixadoras de nitrogênio em gramíneas”. (Novamente algo me chamando para esse universo). Tive sucesso na apresentação e, a partir dali, me tornei próximo da Professora, por sempre ser um dos mais críticos e participativos nesse ciclo de seminários. Foi uma das melhores experiência da Pós-Graduação; a turma, como um todo, trabalhava em conjunto. Saímos da zona de conforto, reuníamos diariamente para estudar, as dificuldades e deficiências não eram só minhas, mas de todos. A professora estava ali apenas mediando, não desmerecendo seu brilhante trabalho, muito pelo contrário! o conhecimento era gerado por nós e ela trazia a “luz” do conhecimento. Ainda sobre essa disciplina, na primeira prova eu ‘travei’: entreguei-a em branco. Isso foi o motivador par eu me esforçar mais e mais; na segunda chamada, tive êxito. Na disciplina, nossas discussões eram acalouradas sobre os mais diversos temas, e, na aula de recomendações de fertilização, questionei sobre um assunto, um tanto negligenciado, a fertilização para produção de sementes. Neste mesmo dia, em uma conversa de corredor, eu disse a ela que num futuro minha linha de pesquisa seria “Produção e tecnologia de sementes e sua interface com a fertilidade”. (Seria intuição?). Mal sabia eu que isso estava mais próximo que eu imaginava! Na mesma disciplina, tive contato com inúmeros profissionais, dentre eles, Augusto César de Oliveira Gonzaga, que trabalhava com manejo de fertilização nitrogenada em feijoeiro superprecoce, juntamente com a EMBRAPA.

No dia 4 de agosto de 2016 minha vida tomou outro rumo. Desde a graduação, eu trabalhei com sementes (cultivadas, exóticas, nativas, florestais etc.), porém, nesta data, minha vida profissional resolveu dar um salto. Entrei em contato com a Professora Regina e solicitei orientação – praticamente dois anos após eu entrar no doutorado –; ela, mesmo reticente, aceitou prontamente; afinal, eu teria menos de dois anos para produzir uma tese. Eu digo TESE! Reticente, pois eu era das sementes, da fisiologia e da estatística. Nunca vi a agricultura como uma máquina produtiva, mas sim como um elo entre a natureza e o homem. Nisso, e, por isso, ela me apresentou algumas linhas de projeto que estava trabalhando. Todos mais ligados a sustentabilidade e não só a produtividade. Em uma das reuniões, o Augusto estava presente (um adento: as reuniões com a Regina são dinâmicas como o nitrogênio. Muitas pessoas sendo atendidas ao mesmo tempo, muitas atividades sendo executadas em simultâneo, e, muitas interações com as mais diversas pessoas.). (Coincidências não existem: *maktub*). Eu, logo na primeira reunião como orientado, a avisei que gostaria de continuar trabalhando com sementes. Ela aceitou, mas disse que precisaria de apoio e perguntou se eu tinha base suficiente. Eu mais que depressa disse que, sim. Votando a nossa reunião, enquanto

² PEREIRA, V.J.; RODRIGUES, J.F.; GOMES FILHO, R.R.; REIS, J.M.R. Comportamento da soja (*Glycine max* (L.) merrill) submetida à adubação nitrogenada de plantio. **Enciclopédia Biosfera**, v 6, n. 0, p.1-5, 2010.

o Augusto discutia seu resultado e me pedia ajuda estatística, eu perguntei se eu poderia trabalhar com as suas sementes. Afinal, aquelas sementes, de um campo de multiplicação da EMBRAPA, tinha o elo que eu precisava a fertilidade da Regina e a tecnologia de sementes minha. Nesta mesma hora eu delinei o que pretendia trabalhar e quais as abordagens que eu daria. Nesse meio tempo, eu, como um sem teto, ocupei um ‘lugarzinho’ no laboratório de sementes do Professor Carlos Machado dos Santos – onde, ora ou outra, discutia como produzir sementes com ele e com Adilio de Sá Júnior – lugar onde desenvolvi meus experimentos.

Em simultâneo a toda essa efusividade em minha vida, meu ex-orientador (ainda que informal) voltou para Uberlândia: João Paulo Ribeiro de Oliveira. Quando eu mudei de orientação, e até antes, ele me ofereu ajuda. (Isso não foi por acaso, mas me recuso a acreditar em sorte!). Era o que faltava para ter êxito em meu trabalho. Somente então a equipe foi formada. Equipe mentora por assim dizer, pois ao longo do caminho fui agregando amigos (Matheus Giroto Costa Mota, Andreia Cecília Silva, Bianca Fernandes Estrela Netto), que me ajudaram nessa empreitada. Eles me ofertaram “braços” e eu “conhecimento”. Tive a sorte de encontrar almas boas (Nádia Giaretta Biase, Maria Imaculada de Sousa Silva, Leandro Alves Pereira, Angélica das Graças Borges Silva, Fernanda Heloisa Litz, Evandro de Abreu Fernandes) ao longo do caminho que me ajudou ou me ofereceu recurso.

Portanto, a tese que virá é um fruto serendipitoso³, o qual meu destino me preparou. Boa leitura!

O autor.

³ Serendipitoso: Que é feliz ou agradável e é descoberto por acaso ou acontece de forma inesperada (ex.: eventos serendipitosos), in Dicionário Priberam da Língua Portuguesa [em linha], 2008-2013, <https://dicionario.priberam.org/serendipitoso> [consultado em 09-02-2019].

Parece que foi Walter B. Cannon (1945) que teria popularizado entre os pesquisadores a palavra "serendipidade" (*serendipity*), na obra *The way of an investigator*. Entretanto, sabemos que ele a tomou emprestada a Horace Walpole (1676-1745) quem, por sua vez, a teria encontrado no conto, "The Three Princes of Serendip" onde se descreve e se ilustra uma certa faculdade particular dos três protagonistas do conto. Providos dessa capacidade, eles podiam fazer accidentalmente descobertas inintencionais. A língua inglesa não tinha palavra para expressar essa faculdade. Assim, o autor do conto inventou a palavra aparentemente intranslúcidavel "*serendipity*." (CAON, 1997)

CAON, J.L. Serendipidade e situação psicanalítica de pesquisa no contexto da apresentação psicanalítica de pacientes. **Psicologia: reflexão e crítica**. v.10, n.1, p.105-123, 1997.

SÚMARIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	<i>i</i>
LISTA DE TABELAS	<i>iv</i>
RESUMO	<i>vi</i>
ABSTRACT	<i>vii</i>
INTRODUÇÃO	21
MATERIAL E MÉTODOS	25
<i>Produção de sementes</i>	25
<i>Descrição do cultivar</i>	25
<i>Obtenção das sementes</i>	26
<i>Análise físico-química das sementes</i>	30
<i>Análise fisiológica da germinação stricto sensu</i>	34
<i>Desenvolvimento inicial de plantas jovens stricto sensu ou plântulas</i>	37
<i>Teste de desempenho categorizado – Teste Padrão de 'Germinação'</i>	37
<i>Crescimento de plantas jovens stricto sensu</i>	38
<i>Teste de estresse em sementes – Teste de 'Envelhecimento Acelerado'</i>	39
<i>Análise estatística</i>	40
RESULTADOS.....	44
<i>Composição físico-química</i>	44
<i>Análise fisiológica da germinação</i>	56
<i>Dinâmica da germinação stricto sensu</i>	56
<i>Medidas de Germinação</i>	77
<i>Desenvolvimento inicial de plantas jovens stricto sensu ou plântulas</i>	91
<i>Desempenho hierarquizado de plantas jovens stricto sensu</i>	91
<i>Crescimento de plantas jovens stricto sensu</i>	97
<i>Estresse em sementes</i>	106
<i>Correlações</i>	112
<i>Resultado Geral</i>	121
DISCUSSÃO.....	129
CONCLUSÃO.....	141
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	142

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Climatograma do período correspondente ao experimento para a produção de sementes da cultivar superprecoce de feijão-comum BRS FC104 no município de Santo Antônio de Goiás, estado de Goiás, nas coordenadas geográficas 16°29'51,5" S; 49°17'03,4" W.....	27
Figura 2. Teor volumétrico de água no solo (%) para as profundidades de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm, durante o ciclo da cultivar superprecoce de feijão-comum BRS FC104. Santo Antônio de Goiás, GO, 2016.....	29
Figura 3. Orientação e espaçamento das sementes sobre o papel de germinação para condução do teste de crescimento e desenovolvimento de plântula (adaptado de Pereira et al., 2009).....	38
Figura 4. Caracterização física ((a) Umidade e (b) massa de 100 sementes) das sementes de feijão oriundas de plantas com diferentes manejos de fertilização nitrogenada (fixação biológica, dose e estádio fenológico de aplicação de <i>N</i> -fertilizante)	45
Figura 5. Teores de (a) lipídios e (b) fibra brutas de sementes de feijão oriundas de plantas com diferentes manejos de fertilização nitrogenada (fixação biológica, dose e estádio fenológico de aplicação de <i>N</i> -fertilizante)	47
Figura 6. Teores de (a) proteína e de (b) carboidratos - extrato não nitrogenado e (c) cinzas em sementes de feijão oriundas de plantas com diferentes manejos de fertilização nitrogenada (fixação biológica, dose e estádio fenológico de aplicação de <i>N</i> -fertilizante)	49
Figura 7. Teores de (a) nitrogênio, (b) fósforo, (c) potássio e (d) e cálcio em sementes de feijão oriundas de plantas com diferentes manejos de fertilização nitrogenada (fixação biológica, dose e estádio fenológico de aplicação de <i>N</i> -fertilizante)	51
Figura 8. Teores de (a) Magnésio e (b) Enxofre em sementes de feijão oriundas de plantas com diferentes manejos de fertilização nitrogenada (fixação biológica, dose e estádio fenológico de aplicação de <i>N</i> -fertilizante)	53
Figura 9. Teores de (a) Ferro, (b) Cobre, (c) Zinco e (d) Manganês em sementes de feijão oriundas de plantas com diferentes manejos de fertilização nitrogenada (fixação biológica, dose e estádio fenológico de aplicação de <i>N</i> -fertilizante).....	55

Figura 10. Dinâmica da germinação de sementes de feijão produzidas por plantas (a) inoculadas com bactérias fixadoras de nitrogênio e (b) sem nenhum aporte manejo de fertilização nitrogenada, seja mineral ou bacteriano.....	57
Figura 11. Dinâmica da germinação de sementes de feijão produzidas por plantas (a) inoculadas com bactérias fixadoras de nitrogênio e fertilizadas no estádio V_0 com (a) 50; (b) 100 e 150 kg ha ⁻¹ de nitrogênio.....	59
Figura 12. Dinâmica da germinação de sementes de feijão produzidas por plantas (a) inoculadas com bactérias fixadoras de nitrogênio e fertilizadas no estádio V_2 com (a) 50; (b) 100 e 150 kg ha ⁻¹ de nitrogênio.....	61
Figura 13. Dinâmica da germinação de sementes de feijão produzidas por plantas inoculadas com bactérias fixadoras de nitrogênio e fertilizadas no estádio V_4 com (a) 50; (b) 100 e 150 kg ha ⁻¹ de nitrogênio.....	62
Figura 14. Dinâmica da germinação de sementes de feijão produzidas por plantas fertilizadas no estádio V_0 com (a) 50; (b) 100 e (c) 150 kg ha ⁻¹ de nitrogênio.....	64
Figura 15. Dinâmica da germinação de sementes de feijão produzidas por plantas fertilizadas no estádio V_2 com (a) 50; (b) 100 e (c) 150 kg ha ⁻¹ de nitrogênio.....	66
Figura 16. Dinâmica da germinação de sementes de feijão produzidas por plantas (a) fertilizadas no estádio V_4 com (a) 50; (b) 100 e (c) 150 kg ha ⁻¹ de nitrogênio.....	67
Figura 17. Análise da sobrevivência de sementes de feijão produzidas por diferentes manejos de fertilização nitrogenada. a: processo germinativo completo; b parte inicial; e c parte final do processo germinativo.....	77
Figura 18. Germinabilidade de sementes de feijão provenientes de plantas (a) inoculadas e (b) não com bactérias fixadas de nitrogênio e submetidas à fertilização com doses de nitrogênio aplicada em diferentes estádios fenológicos....	81
Figura 19. Tempo inicial e final da germinação de sementes de feijão provenientes de plantas (a e c) inoculadas e (b e d) não com bactérias fixadas de nitrogênio e submetidas à fertilização com doses de nitrogênio aplicada em diferentes estádios fenológicos.....	82
Figura 20. Tempo médio e mediano da germinação de sementes de feijão provenientes de plantas (a e c) inoculadas e (b e d) não com bactérias fixadas de nitrogênio e submetidas à fertilização com doses de nitrogênio aplicada em diferentes estádios fenológicos.....	84
Figura 21. Velocidade média e de Maguire da germinação de sementes de feijão provenientes de plantas (a e c) inoculadas ou (b e d) não com bactérias fixadas de nitrogênio e submetidas à fertilização com doses de nitrogênio aplicada em diferentes estádios fenológicos.....	85
Figura 22. Amplitude temporal, coeficiente de variação do tempo, incerteza e sincronia da germinação de sementes de feijão provenientes de plantas (a, c, e e g) inoculadas ou (b, d, f e h) não com bactérias fixadas de nitrogênio e submetidas à fertilização com doses de nitrogênio aplicada em diferentes estádios fenológicos....	90
Figura 23. Plântulas normais (a), forte (b) e fracas (c) provenientes do teste de desempenho categorizado de inicial de plântulas oriunda de sementes de feijão produzidas por plantas-mãe com diferentes manejos de fertilização nitrogenada (fixação biológica, dose e estádio fenológico de aplicação de N-fertilizante).....	94
Figura 24. Plântulas anormais danificadas (a) e deterioradas (b) e sementes motas (c) provenientes do teste de desempenho categorizado inicial de plântulas oriunda de sementes de feijão produzidas por plantas-mãe com diferentes manejos de fertilização nitrogenada (fixação biológica, dose e estádio fenológico de aplicação de N-fertilizante).....	96

Figura 25. Massa de parte aérea (a), radicular (b) e total (c) e relação da massa de parte aérea e da parte radicular (d) de plântulas normais provenientes do teste de germinação de sementes de feijão oriundas de plantas com diferentes manejos de fertilização nitrogenada (fixação biológica, dose e estádio fenológico de aplicação de <i>N</i> -fertilizante)	102
Figura 26. Comprimento de parte aérea (a), radicular (b) e total (c) e relação do tamanho de parte aérea e da parte radicular (d) de plântulas normais provenientes do teste de germinação de sementes de feijão oriundas de plantas com diferentes manejos de fertilização nitrogenada (fixação biológica, dose e estádio fenológico de aplicação de <i>N</i> -fertilizante).....	106
Figura 27. Plântulas normais (a) e anormais deterioradas (b) e danificadas (c) provenientes do teste de envelhecimento acelerado de sementes de feijão oriundas de plantas com diferentes manejos de fertilização nitrogenada (fixação biológica, dose e estádio fenológico de aplicação de <i>N</i> -fertilizante).....	111
Figura 28. Sementes mortas (a), duras (b) e sementes dormentes (c) do teste de envelhecimento acelerado de sementes de feijão oriundas de plantas com diferentes manejos de fertilização nitrogenada (fixação biológica, dose e estádio fenológico de aplicação de <i>N</i> -fertilizante).....	112

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Caracterização química do solo da área experimental.....	28
Tabela 2. Esquema da análise de variancia adotado para as variáveis obtidas a partir de sementes feijão oriundas de plantas submetidas a diferentes manejos da fertilização nitrogenada (fixação biológica, dose e estádio fenológico de aplicação de <i>N</i> -fertilizante).....	42
Tabela 3. Probabilidade de sobrevivência por Kaplan-Meier ($P=S(t)$) e respectivos intervalos de confiança a 95%, em cada tempo da germinação de sementes de feijão, oriunda de plantas submetidas a variação de manejos de fertilização nitrogenada.....	69
Tabela 4. Comparação emparelhada das probabilidades da germinação de sementes de feijão, oriunda de plantas submetidas variação de manejos de fertilização nitrogenada, usando o método de Holm-Sidak, posterior aos teste de Gehan-Breslow e Log-rank.....	75
Tabela 5. Medidas de capacidade, tempo e velocidade do processo germinativo sementes de feijão oriundas de plantas com diferentes manejos da fertilização nitrogenada (fixação biológica, dose e estádio fenológico de aplicação de <i>N</i> -fertilizante)	79
Tabela 6. Medidas de uniformidade, sincronia, amplitude temporal e velocidade do processo germinativo de sementes de feijão oriundas de plantas com diferentes manejos da fertilização nitrogenada (fixação biológica, dose e estádio fenológico de aplicação de <i>N</i> -fertilizante)	87
Tabela 7. Medidas de tempo, uniformidade, sincronia, incerteza e amplitude temporal do processo germinativo de sementes de feijão oriundas de plantas fertilizadas com diferentes dose de nitrogênio aplicadas em estádios fenológicos distintos.....	88
Tabela 8. Desempenho categorizado de inicial de plântulas e vigor por classificação de plântulas (forte e fraca) de sementes de feijão oriundas de plantas com diferentes manejos da fertilização nitrogenada (fixação biológica, dose e estádio fenológico de aplicação de <i>N</i> -fertilizante)	92
Tabela 9. Crescimento e desenvolvimento de plântulas normais de feijão advindas de sementes oriundas de plantas com diferentes manejos da fertilização nitrogenada (fixação biológica, dose e estádio fenológico de aplicação de <i>N</i> -fertilizante)	99
Tabela 10. Relação entre as massa e tamanhos de plântulas normais de feijão advindas de sementes oriundas de plantas com diferentes manejos da fertilização nitrogenada (fixação biológica, dose e estádio fenológico de aplicação de <i>N</i> -fertilizante)	101
Tabela 11. Relação entre as massa de plântulas normais de feijão advindas de sementes oriundas de plantas com diferentes dose de <i>N</i> -fertilizante aplicado nos fenológico V_0 , V_2 e V_4	101
Tabela 12. Comparação da fixação biológica de nitrogênio nas características das massa e tamanho da parte radicular, massa total e relação entre o tamanho da parte aérea e radicular em plântulas de sementes de feijão oriundas de plantas com diferentes manejos da fertilização nitrogenada (fixação biológica, dose e estádio fenológico de aplicação de <i>N</i> -fertilizante)	104

Tabela 13. Teste de envelhecimento acelerado de sementes de feijão oriundas de plantas com diferentes manejos da fertilização nitrogenada (fixação biológica, dose e estádio fenológico de aplicação de <i>N</i> -fertilizante).....	108
Tabela 14. Comparação do uso ou não da fixação biológica de nitrogênio para as variáveis plântulas normais e sementes mortas do teste de envelhecimento acelerado de sementes de feijão oriundas de plantas com diferentes manejos da fertilização nitrogenada (fixação biológica, dose e estádio fenológico de aplicação de <i>N</i> -fertilizante).....	110
Tabela 15. Coeficiente de correlação linear de Pearson (<i>r</i>) entre as variáveis dos testes feitos com sementes de feijão oriundas de plantas submetidas a diferentes manejos da fertilização nitrogenada (fixação biológica, dose e estádio fenológico de aplicação de <i>N</i> -fertilizante)	116

RESUMO

PEREIRA, VANDERLEY JOSÉ. **Como o manejo do nitrogênio da planta-mãe interfere na biologia de sementes de feijão carioca superprecoce?**. 2019. 153p. Tese (Doutorado em Agronomia – Fitotecnia) – Instituto de Ciências Agrária. Universidade Federal de Uberlândia. 2019⁴.

Na literatura sobre produção e tecnologia de sementes, a temática fertilização é corriqueira, mas esses trabalhos baseiam-se em recomendações estabelecidas para a produção de grão, sobretudo em sistema de semeadura convencional. Frente a essa lacuna, estabeleu-se a hipótese: o manejo do nitrogênio na nutrição da planta-mãe modifica a biologia das sementes, ao alterar aspectos de composição química e, por conseguinte, a germinação e o desenvolvimento inicial de plantas. A cultivar BRS FC104 serviu como modelo biológico por ser superprecoce e, teoricamente, crítica na resposta quanto ao manejo da fertilização nitrogenada. Assim, o objetivo é avaliar a biologia das sementes de feijão-comum superprecoce BRS FC104, produzidas por plantas-mãe em mutualismo com bactérias fixadoras de nitrogênio (*Rhizobium leucaenae*) e/ou fertilizadas com doses de nitrogênio, aplicadas nos estádios fisiológicos de maior demanda do nutriente para a cultura sob o sistema de semeadura direta. Para o estudo, as plantas foram submetidas a variações de nitrogênio (50, 100 e 150 kg ha⁻¹) em cobertura, épocas de aplicação do nitrogênio baseadas em estádios fisiológicos (V_0 ; V_2 ; e V_4), e a inoculação ou não com bactérias fixadoras de nitrogênio (FBN) (*Rhizobium leucaenae*). Cada dose foi aplicada em única vez. Foram acrescidos dois tratamentos adicionais, um com e outro sem a FBN, ambos com 0 Kg ha⁻¹ de $N_{fertilizante}$. Portanto, os experimentos seguiram o esquema fatorial $3 \times 3 \times 2 + 2$, em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. Com as sementes colhidas, procedeu-se as seguintes análises: físico-química, fisiologia da germinação (medidas de germinação, análise de sobrevivência, taxa de risco, germinação acumulada e frequência relativa), desempenho do crescimento de plantas jovens *stricto sensu* e fisiologia de estresse em sementes. De modo geral, o padrão germinativo do feijoeiro-comum (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivar BRS FC104, é uma característica conservativa espécie-específico. A planta-mãe em estresse aumenta a variabilidade dos descendentes. A fertilização precoce aumenta a uniformidade dos indivíduos-plântulas e a tolerância dos indivíduos-sementes ao estresse, todavia reduz os teores de lipídios. A fertilização tardia tem impacto no desenvolvimento de indivíduos-plântulas, que se apresentam menores. O $N_{fertilizante}$ isolado resulta em maior probabilidade de não germinar na menor dose e menor probabilidade na maior dose; e, quando associada a FBN, aumenta a probabilidade das sementes não germinarem inicialmente. A dose de 50 kg ha⁻¹ promove germinação com cinética mais uniforme e previsível. O aumento da dose acarreta em redução dos teores de enxofre e reduz a tolerância da semente à estresse. A FBN não afeta de modo substancial a deposição de reservas das sementes, todavia aumenta a probabilidade de germinação ao longo do tempo; e, quando associada com 100 kg ha⁻¹ de N aplicados precocemente, melhora o estabelecimento de plântulas. Aumentos dos teores de carboidratos, o cobre e o potássio são apontados como indutores à tolerância ao estresse em sementes de feijão.

Palavras-chaves: Estresse em sementes; Efeito maternal; Fixação biológica de nitrogênio; Qualidade fisiológica de sementes; *Rhizobium leucaenae*.

⁴ Comitê orientador: Regina Maria Quintão Lana – UFU (orientadora) e João Paulo Ribeiro de Oliveira – UFU (Co-orientador)

ABSTRACT

PEREIRA, VANDERLEY JOSÉ. **How nitrogen management of mother plants affect seed biology in common Bean?** 2019. 153p. Thesis (Doctor's Degree in Agronomy – Crop Science) - Institute of Agricultural Science, Federal University of Uberlândia. Uberlândia. 2019⁵.

In literature on seed technology, mother plant fertilization is a common issue, but papers are based on established recommendations for grain production, especially in conventional agronomy systems. Taking this into account, I hypothesized that nitrogen management in the mother plant nutrition modifies seed biology by altering aspects of chemical composition of seeds and, therefore, the germination and early development of plants. The BRS FC104 cultivar from common bean served as a biological model because it was superprecise and theoretically critical in the response to nitrogen fertilization management. My objective was to evaluate the biology of BRS FC104 super-common bean seeds, produced by mother plants in mutualism with nitrogen-fixing bacteria (*Rhizobium leucaenae*) and / or fertilized with nitrogen doses, applied in the physiological stages of higher demand nutrient for the crop under the no-tillage system. For that, mother plants were submitted to nitrogen variations (50, 100 and 150 kg ha⁻¹), nitrogen application times based on physiological stages (V₀, V₂, and V₄) and inoculation with or without nitrogen fixing bacteria (FBN) (*Rhizobium leucaenae*). Dose application was performed only once, independently of the N dose. Two additional treatments were performed, one with and one without FBN, both with 0 kg ha⁻¹ of N fertilizer. Therefore, the experiments followed the 3 x 3 x 2 + 2 factorial ANOVA scheme, in a completely randomized design, with four replications. With the seeds harvested, the following analyzes were carried out: physicochemical composition, germination physiology (germination measures, survival analysis, risk rate, accumulated germination and relative frequency of germination), growth performance of young plants stricto sensu and seed resilience to stress. In general, the germination pattern of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivar BRS FC104, is a species-specific conservative character. The stress mother plant increases the variability of the offspring. Early fertilization increases the uniformity of individual-seedlings and the tolerance of individual seeds to stress, but reduces lipid levels in seeds. Late N fertilization has an impact on the development of lower seedling individuals. Isolated N fertilizer results in a higher probability of not germinating at the lower dose and lower probability at the higher dose; and, when associated with BNF, increases the probability that the seeds do not germinate initially. The 50 kg ha⁻¹ dose promotes germination with more uniform and predictable germination kinetics. Increasing the dose leads to a reduction in sulfur content and, therefore, reduces seed tolerance to stress. FBN does not substantially affect the deposition of seed reserves, however, it increases the probability of germination over time; and, when associated with 100 kg ha⁻¹ of N applied early, improves the establishment of seedlings. Increases in carbohydrate contents, copper and potassium are indicated as inducers to stress tolerance in bean seeds.

Keywords: Seed stress; Maternal effect; Biological fixation of nitrogen; Physiological quality of seeds; *Rhizobium leucaenae*.

⁵Supervising committee: Regina Maria Quintão Lana – UFU (Major Professor) e João Paulo Ribeiro de Oliveira – UFU (Co-advisor)

INTRODUÇÃO

Enquanto na fisiologia da produção de grãos é normal focar-se no manejo da planta-mãe visando a produção (quantidade total e comercial produzida) e produtividade (quantidade total e comercial produzida por unidade de área), na fisiologia de sementes esses aspectos são pouco abordados (e.g., BUETOW et al., 2017; LANGE et al., 2018; RIBEIRO et al., 2018). O mais próximo disto é a abordagem da ecofisiologia de germinação, que comprovou o efeito maternal sobre a massa de sementes e os aspectos ligados a aptidão de sobrevivência das sementes (*vide* ROACH; WULFF, 1987; VALENCIA-DÍAZ; MONTAÑA, 2005; BISCHOFF; MÜLLER-SCHÄRER, 2010; MENDES-RODRIGUES et al., 2010; POSTMA; ÅGREN, 2015; PISKUREWICZ et al., 2016; HERNÁNDEZ et al., 2017; BASKIN; BASKIN, 2019).

Em contrapartida, na literatura sobre produção e tecnologia de sementes, a temática fertilização é corriqueira, mas esses trabalhos baseiam-se em recomendações estabelecidas para a produção de grãos, sobretudo em sistema de semeadura convencional. Para sistemas de semeadura direta, cujo ambiente apresenta uma dinâmica interação com a microbiota do solo, pouco foi esclarecido (e.g. MEIRA et al., 2005; FARINELLI, 2006; ABRANTES et al., 2015). Nesse sistema produtivo, muito se diz sobre redução da suplementação de nutriente aplicado às plantas (agricultura verde por diminuir o dano ao ambiente), mas isso não é consenso (*vide* GOMES JÚNIOR et al., 2008). De modo geral, esses estudos negligenciam aspectos básicos da biologia de sementes — como a composição química e a cinética do processo de germinação *stricto sensu* —, relacionando qualidade de sementes unicamente à capacidade de formação de plântulas (*vide* CARVALHO; NAKAGAWA, 2012; PERES et al., 2018; ZUFFO et al., 2018; ALVES et al., 2019). Apesar de uma visão abrangente sobre as funções bioquímicas dos elementos essenciais (GENT; FORDE, 2017; MURRAY et al., 2017; NAEEM et al., 2017), ainda há falta de conhecimento sobre até que ponto a disponibilidade de nutrientes para a planta-mãe afeta a qualidade das sementes e, subsequentemente, a germinação e o estabelecimento de plântulas. Fato é: há o paradigma de que, diferentemente da produção de grãos, a qualidade das sementes é responsabilidade da qualidade de vida da planta-mãe, a qual gerencia os fotoassimilados para produzir o máximo de descendentes aptos possível — uma referência que pode estar associada à Lei do Mínimo da nutrição de plantas (*vide* ROACH; WULFF, 1987; WULFF, 1995; VALENCIA-DÍAZ, S.; MONTAÑA, 2005; BISCHOFF; MÜLLER -SCHÄRER, 2010; MENDES-RODRIGUES et al., 2010).

al., 2010; POSTMA; ÅGREN, 2015; PISKUREWICZ et al., 2016; HERNÁNDEZ et al., 2017; WULFF, 2017; BASKIN; BASKIN, 2019).

Frente a essa lacuna, buscou-se integrar à tecnologia de sementes, a fisiologia de cultivo e a ecofisiologia de germinação por meio da seguinte hipótese: o manejo do nitrogênio na nutrição da planta-mãe modifica a biologia das sementes, ao alterar aspectos de composição química (mobilização de reservas) e, por conseguinte, germinação e desenvolvimento inicial de plantas. Neste contexto, utilizou-se como modelo a fertilização nitrogenada do feijoeiro-comum (variedade superprecoce BRS FC104).

O feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma cultura de grande importância social e econômica, pois, além de ser fonte de proteína para a população mais carente, está entre as principais culturas cultivadas no Brasil e no mundo (NAMUGWANYA et al., 2014; NASCENTE et al., 2016; MERCANTE et al., 2017; NASCENTE et al., 2017; CELMELI et al., 2018; LANGE et al., 2018; HERNÁNDEZ-LÓPEZ et al., 2018a; 2018b; FAOSTAT, 2019). Indubitavelmente, a gestão do nitrogênio está entre os fatores preponderantes no sucesso desta cultura, visto que é o nutriente mais exigido pela espécie (MERCANTE et al., 2017; BRAZ et al., 2018; CELMELI et al., 2018; LANGE et al., 2018; PERES et al., 2018). Deste nutriente dependem os processos enzimáticos, a síntese de aminoácidos e proteínas, bem como de moléculas de hormônios vegetais (citocinina), da clorofila e de material genético (KOLLING; OZELAME., 2017; TAMAGNO et al., 2017; ZUFFO et al., 2018). O uso eficiente do nitrogênio envolve dentre outros fatores a dose, a época de aplicação e a interação bactérias mutualística que promovem a fixação biológica de nitrogênio (FBN) (NASCENTE et al., 2017; MERCANTE et al., 2017; AGUILAR et al., 2018; BARBOSA et al.; 2018; BRAZ et al., 2018; HERNÁNDEZ-LÓPEZ et al., 2018a; 2018b; LANGE et al., 2018; PERES et al., 2018; SANTANA et al., 2018).

Em geral, embora não há consenso na literatura, a fertilização com maiores doses de nitrogênio parece resultar em sementes com maior capacidade germinativa, mesmo frente a estressores, o que atribui-se à grande dinâmica do nutriente no ambiente e imobilização por microorganismos e, consequentemente, sua limitação nos solos de área Neotropical, como o Cerrado (FARINELLI; LEMOS, 2010; LANGE et al., 2018; PERES et al., 2018). Outra hipótese levantada é que a planta absorve parte do nutriente necessário por meio da FBN (HERNÁNDEZ-LÓPEZ et al., 2018a; 2018b; BARBOSA et al, 2018; PERES et al., 2018); afinal, o inóculo pode estar dentro da própria semente, vindo da ontogênese (MORA et al;

2014). Estimativas demonstram que o feijoeiro tem potencial para fixar de 125 a 160 kg ha⁻¹ de nitrogênio atmosférico no solo (BARBOSA et al., 2018; CELMELI et al., 2018).

Junto à quantidade a ser aplicada, a época/estádio fenológico para a aplicação é de extrema importância, não só do ponto de vista produtivo, mas sustentável. O nutriente deve ser ofertado em quantidade certa na época de maior demanda da planta-mãe, visando o maior aproveitamento por esta e, então, redução da perda por lixiviação e/ou percolação e, por conseguinte, contaminação da água (TAMAGNO et al., 2017; BRAZ et al., 2018; PERES et al., 2018). Em estudos detalhados sobre a fenologia da cultura, demonstrou-se que a fertilização em cobertura nos estádios V_2 , V_3 e V_4 promove melhores resultados sobre a prole (semente ou grão), uma vez que são estes os momentos em que há maior demanda do nutriente pelo aparato fisiológico da planta-mãe (BARBOSA FILHO et al., 2008; NASCENTE et al., 2017; BRAZ et al., 2018). Épocas estas, ratificadas pela intensificação da fixação biológica de nitrogênio, que atinge o cume em R_3 - R_5 (BARBOSA et al., 2018; HERNÁNDEZ-LÓPEZ et al., 2018a; 2018b; PERES et al., 2018). Deve-se salientar que a cultura do feijoeiro absorve nutrientes durante todo o seu ciclo, porém após o florescimento a taxa de crescimento da cultura é reduzida, gerando uma menor demanda por nutrientes e havendo, consequentemente, acúmulo de clorofila nas folhas (BARBOSA FILHO et al., 2008; NASCENTE et al., 2016).

Neste sentido, sabe-se que o feijão comum superprecoce apresenta redução de 40% na duração do ciclo de vida em relação ao tardio. Assim, o tempo disponível para a absorção de nitrogênio (N) para essa variedade pode ser insuficiente se o N for aplicado da mesma maneira que para o cultivo baseado em cultivares tradicionais (NASCENTE et al., 2016; NASCENTE et al., 2017; BRAZ et al., 2018). Além da antecipação da aplicação do nitrogênio, a fixação biológica seria uma alternativa para aquisição do nutriente pela planta. No entanto, não é o caminho preferível para a assimilação de N, devido ao alto custo energético pela planta-mãe; embora a principal causa disto seja a falta de especificidade entre os simbiontes (MERCANTE et al., 2017; TAMAGNO et al., 2017; AGUILAR et al., 2018; BARBOSA et al. 2018; FLORENTINO et al., 2018; HERNÁNDEZ-LÓPEZ et al., 2018a; 2018b). Para Fabaceae, em geral, um grama de nitrogênio bacteriano requer de seis a sete gramas de carbono, enquanto para a assimilação do nitrogênio mineral requer quatro gramas de carbono (TAMAGNO et al., 2017). Todavia, para produção de sementes, mesmo gastando mais energia, a FBN parece ser interessante, uma vez que foi demonstrado que o feijão comum acumula preferencialmente o nitrogênio bacteriano na semente, além de

melhorar o estado imune e o aparato antiestresse da planta (AGUILAR et al., 2018; BARBOSA et al., 2018).

Portanto, o manejo da fertilização nitrogenada na cultivar de feijão-comum superprecoce BRS FC104 pode responder as seguintes perguntas: por se tratar de uma cultivar super precoce, a fertilização nitrogenada deve ser antecipada para produzir sementes? Esta cultivar obrigatoriamente necessita do aporte de nitrogênio bacteriano para produzir sementes com o máximo desempenho para o desenvolvimento inicial germinativo? Como a cultivar tem o ciclo curto, a demanda e absorção de nitrogênio pela planta é maior? Assim, tem como objetivo avaliar a biologia das sementes de feijão-comum superprecoce BRS FC104, produzidas por plantas mãe em mutualismo com bactérias fixadoras de nitrogênio (*Rhizobium leucaenae*, estirpes SEMIA 4077, SEMIA 4080 e SEMIA 4088, na proporção 1:1:1) e/ou fertilizadas com diferentes doses nitrogênio, aplicadas nos estádios fisiológicos de maior demanda do nutriente para a cultura sob sistema de semeadura direta.

MATERIAL E MÉTODOS

Produção de sementes

Descrição da cultivar

A cultivar BRS FC104 (numero do registro nacional de cultivares: 36426) serviu como modelo por ser superprecoce, e, teoricamente, crítica na resposta quanto ao manejo da fertilização nitrogenada. A cultivar é originária de uma população segregante com características de precocidade, sendo um veio de novas cultivares super-precoce do Programa de Melhoramento Genético do Feijoeiro da Embrapa – Arroz e Feijão (MELO et al., 2017; BRASIL, 2019). Originou-se do cruzamento entre as linhagens CNFE 8009 e VC5 (MELO et al., 2017)

Esta cultivar é recomendada para estados das cinco regiões do Brasil, contemplando safras de seca, chuvosa e inverno. As peculiaridades morfológicas da cultivar são flores com coloração branca na sépla e no estandarte. Além disso, as sementes possuem veações na testa e as plântulas ausência de antocianina no hipocótilo (MELO et al., 2017; BRASIL, 2019).

O genótipo apresenta hábito de crescimento indeterminado tipo II, com plantas eretas e hastes pouco ramificadas. Possui resistência ao vírus do mosaico comum, suscetibilidade ao *Fusarium* spp. e resistência média à antracnose (*Colletotrichum lideumuthianum* (Sacc. & Magn.) Scrib) (MONDO; NASCENTE, 2017; BRASIL, 2019) e à ferrugem (*Uromyces striatus* Schroet) e, ademais, é considerada moderadamente suscetível à murcha de *Curtobacterium* spp.. Entretanto, mostrou-se suscetível à mancha-angular, ao crestamento-bacteriano-comum e ao mosaico dourado (MELO et al., 2017; BRASIL, 2019).

Para produção de grãos, a densidade de semeadura deve ser 22 sementes por metro linear, com 0,45 m entre fileira (MONDO; NASCENTE, 2017). A cultivar é responsiva ao nitrogênio, devendo ser aplicado entre 14 e 21 DAS ou em torno do estágio V_4 (NASCENTE, 2016a e b; SILVEIRA; GONZAGA; 2017; NASCENTE; CARVALHO, 2018;). De modo geral, o material é recomendado para produtores que adotam alto nível tecnológico (em termos de fertilização, práticas culturais e irrigação suplementar), pois respondem significativamente a melhorias do manejo (CORREA et al., 2016). A BRS FC104 possui valor nutricional padrão e uniformidade para a coloração e o tamanho dos grãos (MELO et al., 2017; BRASIL, 2019)

Obtenção das sementes

As sementes foram produzidas no município de Santo Antônio de Goiás – GO, nas coordenadas geográficas 16°29'51,5" S; 49°17'03,4" W; altitude média de 830 metros. A área de implantação do experimento foi cultivada anteriormente com milho (safra verão 2014/2015), seguido de pousio; posteriormente, cultivou-se milheto e crotalária, em sistema de consórcio. Na safra de verão 2015/2016, cultivou-se arroz e, no inverno de 2016, o experimento foi implantado em semeadura direta, ocupando área de 1600 m².

O clima da região é considerado tropical de savana, megatérmico, Aw, conforme classificação de Köppen (ALVARES et al., 2013). Durante a condução do experimento, as temperaturas mínima (T min) e máxima (T max) permaneceram próximas a $15,9 \pm 1,9$ e $29,5 \pm 1,9$ °C. No final do ciclo de cultivo ocorreu queda brusca na radiação solar (RadSol), como consequência do incremento da precipitação (Prec.) (Figura 1). (Figura 1)

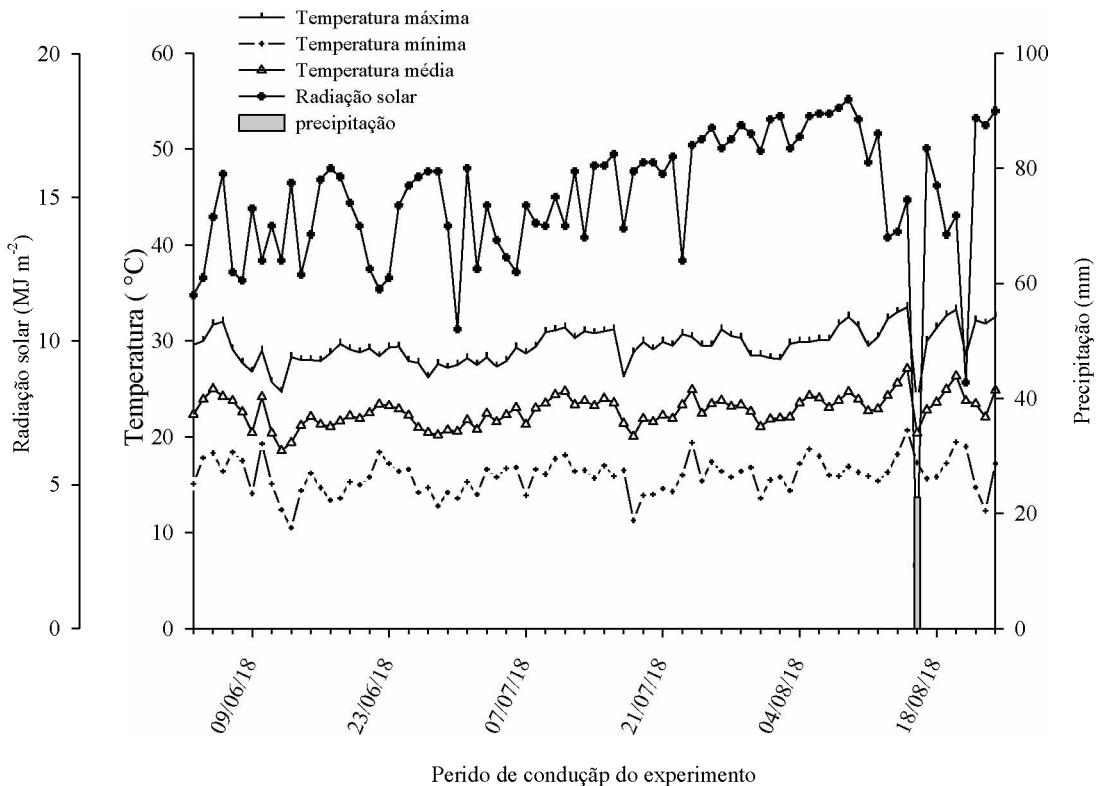


Figura 1. Climatograma do período correspondente ao experimento para a produção de sementes da cultivar superprecoce de feijão-comum BRS FC104 no município de Santo Antônio de Goiás, estado de Goiás, nas coordenadas geográficas $16^{\circ}29'51,5''$ S; $49^{\circ}17'03,4''$ W

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico (SANTOS et al, 2013), com 348 g kg^{-1} de argila, 270 g kg^{-1} de silte e 383 g kg^{-1} de areia, sendo classificado como franco-argiloso. A composição química revelou pH em uma faixa ideal para a cultura. O cálcio (Ca) e o magnésio (Mg) apresentaram valores adequados, porém o fósforo (P) apresentou baixo teor, ao contrário do potássio que estava elevado (Tabela 1). A interpretação foi realizada segundo Teixeira et al. (2017).

Tabela 1. Caracterização química do solo da área experimental.

pH	Ca ²⁺ mmol _c dm ⁻³	Mg ²⁺ mmol _c dm ⁻³	Al ³⁺ H ⁺	P	K	Cu mg dm ⁻³	Zn mg dm ⁻³	Fe mg dm ⁻³	Mn mg dm ⁻³	MO g dm ⁻³	
5,6	19,0	9,0	0,0	29,0	10,4	116,0	1,3	1,4	14,0	3,1	30,0

Profundidade 0-20 cm; pH: medida potencial hidrogênio iônico da mistura de solo e água (1:1); Ca, Mg: extraídos em solução de KCl 1 mol L⁻¹ e determinados por espectroscopia de absorção atômica; Al: extraído em solução de KCl 1 mol L⁻¹ e determinado por titulometria; H+Al: extraídos em acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ e determinado por titulometria; P, K, Cu, Zn, Fe, Mn: extraídos em solução Melich-1 e determinados por espectroscopia de absorção atômica; MO: oxidação por solução sulfocromática seguida de determinação por espectrofotometria (TEIXEIRA et al, 2017).

O experimento foi implantado em sistema semeadura direta, por meio de semeadora de parcelas, tendo como início do preparo a dessecação da área, trinta dias antes da semeadura. O dessecante utilizado possuí o princípio ativo glifosato, na concentração 480 g L⁻¹ e a dose utilizada foi de 3 L ha⁻¹.

Cada parcela foi composta por quatro fileiras, contendo 5,3 m de comprimento, espaçadas entre si em 0,45 m. Foi utilizada uma densidade de 444.444 sementes ha⁻¹. A adubação utilizada na semeadura foi o fosfato monoamônico (MAP) (11 – 54 – 00), na dose de 200 kg ha⁻¹, seguindo a recomendação de Sousa e Lobato (2004).

Para o estudo, as plantas foram submetidas aos seguintes tratamentos composto pelo esquema fatorial: 3 (doses de nitrogênio: 50, 100 e 150 kg ha⁻¹ de *N*-fertilizante) x 3 (estádios fenológicos para aplicação do fertilizante nitrogenado em cobertura: *V*₀, *V*₂ e *V*₄; CIAT, 1983) x 2 (presença e ausência de inoculação: com ou sem fixação biológica de nitrogênio) + 2 (adicionais: com e sem a aplicação do inoculante, ambos com 0 Kg de *N*-fertilizante ha⁻¹), em delineamento experimental de inteiramente casualizado, com quatro repetições.

Nos tratamentos com inoculação, usou-se o inoculante a base de bactérias nodulíferas, *Rhizobium leucaenae* (Ribeiro et al. 2012) [sinonímia *Rhizobium tropici* por Martínez-Romero et al. (1991)]. O inoculante turfoso conteve as estirpes SEMIA 4077, SEMIA 4080 e SEMIA 4088, na proporção 1:1:1, na concentração de 109 células g⁻¹ de turfa, fornecido pelo Laboratório de Microbiologia da Embrapa Arroz e Feijão. Estas estirpes são registradas no Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento – MAPA para tal finalidade (BRASIL, 2011). As sementes foram inoculadas no dia do semeio com 250 g para cada 50 kg de sementes. Para tal, as sementes foram colocadas em saco plástico com o inoculante e misturadas para homogeneizar. Após este processo, as mesmas foram colocadas para secar à sombra por duas horas, posteriormente realizou-se a semeadura.

Cada dose de *N*-fertilizante foi aplicada de uma só vez, em cada estádio fenológico. Esta adubação foi à lanço, de forma manual. A fonte de fertilizante utilizada foi a uréia (45%

de N), na dose de 200 kg ha⁻¹. Foram acrescidos dois tratamentos adicionais, um com e outro sem a aplicação do inoculante, ambos com 0 Kg ha⁻¹ de N-fertilizante. Neste experimento, o fornecimento de água às plantas se deu pelo sistema de irrigação por pivô-central. Para subsidiar o manejo da irrigação e, assim, garantir o suprimento de água às plantas em condições próximas ao ideal, foi utilizada uma sonda de capacidade de umidade do solo. Durante o desenvolvimento da cultura o teor de água no perfil do solo, em %, foi medido em várias datas e se deu na profundidade de 0,00 a 1,00 m, sendo aferida a cada 0,10 m. Nesse estudo foi apresentado o teor de água no solo somente para as profundidades 0-10; 10-20; 20-30 e 30-40 cm. A partir de 40 cm de profundidade, basicamente não houve alteração no teor de água do solo (Figura 2).

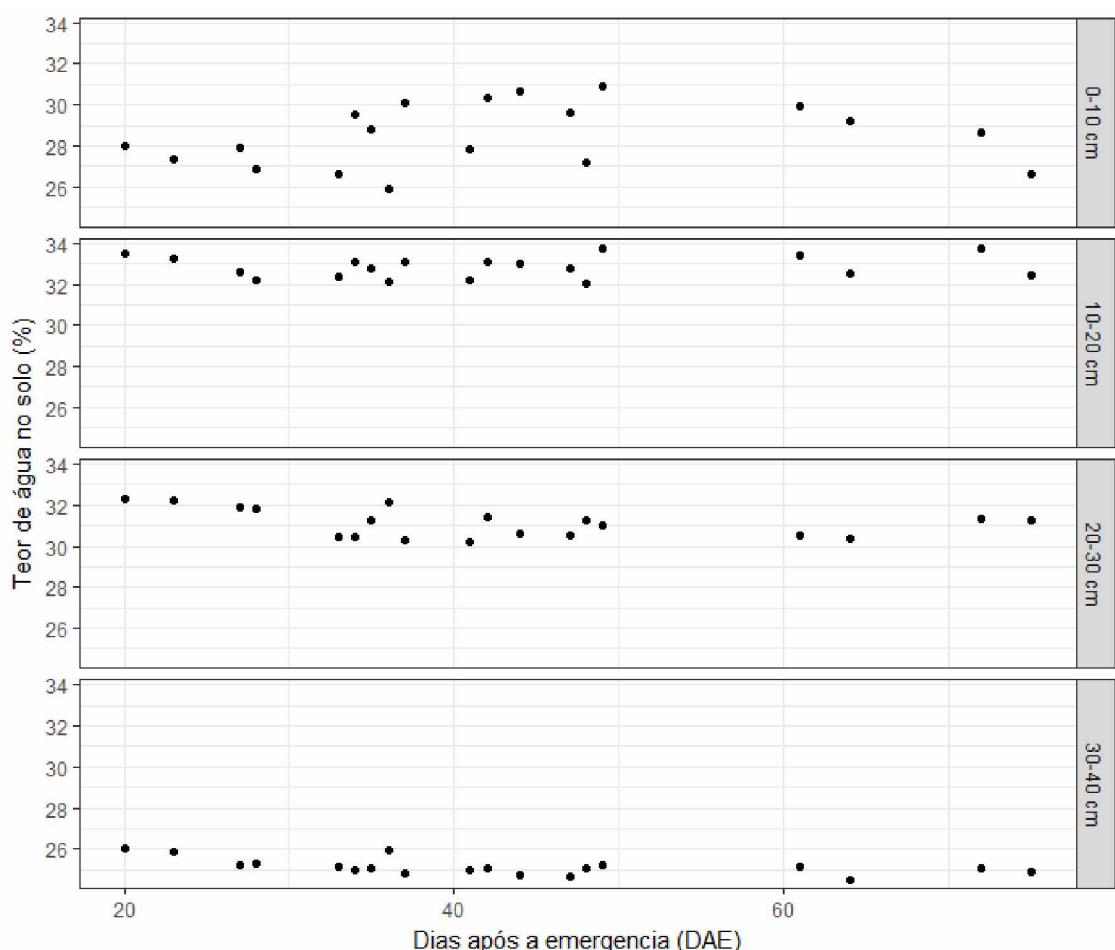


Figura 2. Teor volumétrico de água no solo (%) para as camadas de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm, durante o ciclo da cultivar superprecoce de feijão-comum BRS FC104. Santo Antônio de Goiás, GO, 2016.

O teor de água no solo permaneceu próximo de 30% até a profundidade de 20 cm, inferindo a inexistência de déficit hídrico durante o ciclo da cultura. TIBAU, (1976) mostrou

que o ponto de murcha permanente ocorre quanto esse percentual decresce de 18% e que o a capacidade de campo ocorre quando o solo apresenta 35% de teor de água, para solos argilosos, valor próximo ao registrado neste estudo (Figura 2).

Os tratos culturais referentes ao manejo de pragas, doenças e plantas daninhas, seguiram o preconizado pelo Manejo Integrado de Pragas – MIP, Manejo Integrado de Doenças – MID e Manejo Integrado de Plantas Daninha - MIPD para a cultura do feijão-comum (BARBOSA et al., 2009; QUINTELA et al., 2005). O controle químico das pragas e doenças ocorreu quando o nível de dano econômico foi atingido.

Ao final do ciclo da cultura, maturação fisiológica (CIAT, 1983), realizou-se a colheita da área útil de cada parcela individualizada de forma manual. Foram colhidas as plantas em três metros de fileiras de cada uma das duas fileiras centrais, desprezando-se 1,80 m no início e 0,5 m no final das mesmas, como sendo áreas de bordadura. As plantas foram secas à sombra e as vagens foram debulhadas manualmente para garantir a integridade das sementes. As sementes, posteriormente, foram trilhadas descartadas as sementes mal formadas, quebradas, consumidas por insetos e com algum dano aparente.

Análise físico-química das sementes

Com as sementes colhidas foram montados experimentos para caracterizar o teor de água, a massa de 100 sementes e os teores de lipídios (extrato etéreo), fibra bruta, proteína, carboidratos (extrato não nitrogenado), matéria mineral e de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg S, Fe, Cu, Zn, e Mn). Todos foram conduzidos em laboratório, seguindo o mesmo delineamento adotado em campo (Figura 2). Para tanto, as sementes de cada unidade experimental foram submetidas à homogeneização, utilizando-se o homogeneizador de solo e, em concomitante, separadas em oito repetições de 100 para a determinação da massa de 100 sementes, corrigida para 12%, segundo as Regras de Análise de Sementes (BRASIL, 2009b). A massa (precisão de 0,001g) das sementes foi aferida e por meio do coeficiente de variação, expresso por:

$$CV (\%) = \left(\frac{s}{\bar{x}} \right) 100 \quad [1]$$

em que s é o desvio padrão da massa (g) de sementes da amostra e \bar{x} é a massa média das sementes da amostra. Quando o coeficiente de variação da amostra foi abaixo de 4%, a massa de 100 sementes resultou da massa média das oito repetições. Para os casos em que o coeficiente de variação foi acima de 4% fez outras oito repetições; utilizando-se, então, as 16

repetições para o cálculo da média e do desvio padrão. Neste caso, todavia, desprezou-se as repetições cuja massa fosse correspondente ao dobro do desvio padrão (s) (BRASIL, 2009).

Para a determinação do teor de água, fez-se uso do protocolo de BRASIL (2009b), em que repetições contendo 5 g de sementes (precisão de 0,001g) foram submetidas à 105 °C ± 3 °C por 24 horas. Os recipientes de metal foram pesado inicialmente, levados à estufa com a massa de sementes, após 24 horas, retirados desta e mantidos em dessecador juntos a sílica gel por 24 horas. Após o isto, os recipientes foram pesados novamente, obtendo-se assim a massa das sementes secas. Após a obtenção dos dados, foi realizado cálculo do teor de água na base úmida pela expressão:

$$U(\%) = \frac{(mf - ms)100}{mf} \quad [2]$$

em que, mf e ms a massa fresca e seca das sementes, respectivamente.

Ainda por meio da amostragem, foi separado amostras de sementes em cada parcela, satisfazendo a massa de 50 g, quantidade suficiente para as determinações dos teores de matéria mineral, lipídios, fibra bruta, proteína, extrato nitrogenado (carboidratos) e de nutrientes. Essas amostras foram secas em estufa de circulação de ar forçada à 65 °C até massa constante. Após, as sementes foram moídas e pulverizadas em moinho de facas do tipo Willey, com malha número 20 mesh (®SOLAB, modelo SL31). Para extrato etéreo (EE) e matéria mineral (MM), utilizaram-se frações de 1,5g das amostras. A determinação de fibra bruta (FB) foi feita com 1,0g e de proteína bruta com 0,2g (AOAC, 1995).

Para a obtenção do extrato etéreo foi utilizado o método de Soxhlet (gravimétrico), o qual se baseia na quantidade de material solubilizado pelo solvente éter de petróleo (p.a.) (AOAC, 1995). Para tanto, as amostras das sementes foram postas em cartuchos com papel filtro (previamente pesados e identificados), depois transferidos para rebolers - previamente lavados, identificados e secos (150°C por 24 horas) e pesado -, onde ficaram em contato com 50 mL do solvente, sendo destilados em refluxo por quatro horas a 45°C. Decorridos este período, fechou-se o canal de retroalimentação de solvente dos rebolers e os aqueceu a 60 °C, por aproximadamente 1 hora, visando recuperar o solvente. Após estes procedimentos, os rebolers foram desacoplados do extrator para descarte dos cartuchos e secagem dos rebolers em estufa com circulação forçada de ar a 150 °C por 2 horas, seguida de resfriamento em dessecador junto a sílica gel, por 24 horas e, então, pesados.

A matéria mineral (MM), que representa a porcentagem de minerais totais, foi calculada pela queima da amostra a 600 °C por 4 horas (AOAC, 1995). Neste procedimento, transfere-se 1,5g da amostra das sementes para cadinhos, e, então, submete-se o conjunto à queima em forno do tipo mufla. Transcorrido o período necessário, há o resfriamento do forno até 300°C e quando atingida essa temperatura, os cadinhos e os resíduos presentes são postos em dessecador até entrarem em equilíbrio com a temperatura ambiente e serem pesados.

Com as massas obtidas na análise de matéria mineral e de extrato etéreo foi realizado cálculo dos teores de matéria mineral (MM) e de extrato etéreo (EE) pela expressão :

$$MM(\%) \text{ ou } EE(\%) = \frac{(A-B)}{Pe} 100 \quad [3]$$

em que: A , B e Pe : a massa final do cadinho (junto ao resíduo) ou do recipiente (junto ao resíduo), a inicial do cadinho ou do recipiente e a da amostra de sementes para matéria mineral e extrato etéreo, respectivamente; todos expressas em gramas (precisão de 0,001g).

A determinação da fibra bruta foi realizada por meio de digestão em solução ácida, seguida de solução básica. Para tal, embalagens de TNT (tecido não-tecido) foram confeccionadas, identificados e pesadas (A). Em cada embalagem foi depositado 1 grama da amostra das sementes (Pe). Esta embalagem foi fechada (utilizou-se seladora plasmac®) visando o material em análise não se espalhar quando em contato com o líquido. As embalagens foram imersas em água destilada por 15 minutos e, em seguida, colocadas no determinador (modelo TE-149) abastecido com dois litros da solução de ácido sulfúrico (H_2SO_4 ; 1,25% de pureza) a 100 °C por 30 minutos. Decorrido o tempo, o aparelho foi desligado e escoada a solução. Foram efetuadas quatro lavagens com água destilada, por dez minutos cada a 100 °C, visando extrair os resíduos da solução ácida. Em seguida, o aparelho foi abastecido com solução básica de hidróxido de sódio ($NaOH$; 1,25% de pureza) a 100 °C por 30 minutos. Em sequência, as amostras foram lavadas duas vezes com dois litros de etanol (CH_3CH_2OH) (P.A.). Outras duas lavagens foram realizadas com cetona ($CH_3(CO)CH_3$) (P.A.). O excesso de líquido foi drenado em papel absorvente estéril. Prosseguindo, as amostras foram levadas a estufa de circulação de ar preaquecida a 80 °C, por seis horas e em estufa a 105 °C por uma hora. Após, as embalagens foram acondicionadas em dessecador com sílica gel para esfriar uma hora e, então, a massa foi tomada (B). Em outro momento, depositou-se as embalagens em cadinhos (pesados, secos e identificados) e aferida a massa. Posteriormente, o conjunto foi levado a forno do tipo mufla a 550 °C, por duas horas. Por fim, as amostras foram levadas para esfriar em dessecador com sílica gel até temperatura

ambiente e, então, foi mensurada a massa (cadinho com cinzas) (C) (AOAC, 1995; BRASIL, 2009a). Após a obtenção dos dados, foi realizado cálculo do teor de fibra bruta pela expressão:

$$FB(\%) = \frac{(B - A) - C}{P} 100 \quad [4]$$

em que: A , B , C e P é a massa da embalagem; a conjunta do cadinho + saquinho + extrato; a conjunta do cadinho + cinza; e da amostra de sementes, respectivamente; todos expressas em gramas (precisão de 0,001g).

A determinação do teor de proteína no método de Kjeldahl, conforme procedimento da AOAC (1995). Foram mensuradas as massas de 0,002g de cada amostra, em seguida acondicionadas em tubo com mistura catílitica de sulfato de cobre ($CuSO_4$) e sulfato de potássio (K_2SO_4) com quatro mililitros de ácido sulfúrico (P.A.). Levados ao digestor a 350°C por duas horas. Após o resfriamento do digestor, adicionou-se dez mL de água destilada em cada tubo. Em Erlenmeyer, adicionou-se 20 mL de ácido bórico (H_3BO_3) a 4%, com indicador misto. Para o uso do destilador de nitrogênio, colocou-se 15 mL de hidróxidode sódio a 50% de pureza na parte superior e encaixou-se o tubo de destilação. Com o destilador aquecido, efetuou-se a destilação por arraste mantendo o terminal do condensador mergulhado na solução receptora até que toda a amônia (NH_3) fosse liberada, recolhendo aproximadamente 125 mL destilado. Após, procedeu-se a titulação com ácido clorídrico (HCl) a 0,06N. Baseando-se na massa das amostras e no volume de ácido clorídrico, procederam-se os cálculos, visto que a maioria das proteínas contém aproximadamente 16% de nitrogênio (SGARBIERI, 1996). Os resultados foram expressos em percentagem de nitrogênio para gramas de amostra, empregando-se 6,25 como fator de conversão de nitrogênio em proteína. Este fator é o mais utilizado na literatura e é endossado pela AOAC (Association of Official Analytical Chemists) (AOAC, 1995) e pelo Código Federal de Regulamentações Americano (AOAC, 1995; USA, 2007; BRASIL, 2009a). Após a obtenção dos dados, foi realizado cálculo do teor de proteína pela equação:

$$PB(\%) = \frac{(V_{HCl} - 0,2) \times N_{HCl} \times 0,014 \times 6,25 \times 100}{P} \quad [5]$$

em que V , N e P é volume (mL), normalidade da solução e massa inicial da amostra (g), respectivamente.

Para Extrativo não nitrogenado (ENN) (Carboidratos), que corresponde “teoricamente” a fração não estrutural (conteúdo celular), ou seja, amidos, açúcares, solúveis e pectinas, os cálculos ocorreram por estimativa, utilizando a equação:

$$ENN (\%) = 100 - FB(\%) + EE(\%) + PB(\%) + MM(\%) \quad [6]$$

em que, FB= fibra bruta; EE= extrato etéreo; PB= proteína bruta; MM= matéria mineral

Para as análises químicas de macro e micronutrientes, as amostras de sementes foram digeridas em ácido nítrico (65% de pureza) e perclórico concentrado (70% de pureza), exceto para nitrogênio, a qual foi submetida ao método Kjeldahl; e para Boro, o qual a amostra foi submetida a queima no forno do tipo mufla. Em seguida, os extratos foram utilizados para determinação dos teores totais dos nutrientes: K, por fotometria de chama com amarelo vanadato; Ca e Mg, por espectrofotometria de absorção atômica; P, B, S, Cu, Fe, Mn e Zn, por espectrofotometria de absorção atômica. Para nitrogênio, a determinação foi feita por meio da digestão sulfúrica (H_2SO_4 P.A), com destilação em aparelho semi-micro Kjeldahl e titulação com H_2SO_4 a 0,01 mol L^{-1} . Toda as análises foram baseadas na rotina do laboratório de solos da Universidade Federal de Uberlândia, a qual adapta os protocolos de Silva (2009).

As determinações dos teores de lipídios (extrato etéreo), fibra bruta, proteína, extrato nitrogenado, cinzas e nutrientes (N, P, K, Ca, Mg S, Fe, Cu, Zn, e Mn) foram feitas em duplicatas e, em caso de discrepâncias, reanálises foram feitas. Ademais, os valores obtidos foram contrastados com os valores presentes na literatura e em caso de discordância ou suspeita de erros, procedeu-se uma nova rodada de determinação.

Análise fisiológica da germinação *stricto sensu*

Experimentos para caracterizar a qualidade fisiológica foram conduzidos em laboratório seguindo o mesmo delineamento adotado em campo (Figura 2). Para tanto, as sementes foram dispostas de modo equidistante dentro caixas plásticas tipo Gerbox sobre duas folhas de papel mata-borrão, previamente umedecidas com água destilada, em quantidade equivalente a 2,5 vezes a massa seca do papel. Os substratos e as caixas plásticas foram esterilizados; para o substrato utilizou a autoclave à 120 °C e pressão de 1 atm por uma hora; para as caixas, procedeu-se a lavagem com detergente neutro, seguido de enxague em água corrente e imersão em solução de hipoclorito de sódio (2,5% do princípio ativo), por

cinco minutos. Decorrido o período de assepsia, as caixas foram enxaguadas em água corrente e imersas em álcool etílico (70% do princípio ativo), por cinco minutos. Novamente, as caixas passaram por um enxague em água corrente e, então, tríplice enxague em água destilada.

Para a germinação, as caixas Gerbox foram mantidas em germinador do tipo Mangelsdorf® a 25°C, sob luz branca fluorescente contínua. Foram usadas duas caixas gerbox como parcela (repetição), cada uma com 25 sementes. A manutenção da umidade do papel ao longo da condução do experimento ocorreu sempre que se julgou necessário.

As contagens da germinação e da mortalidade das sementes foram realizadas a cada oito horas, totalizando três contagens diárias, até o término do processo germinativo, com retirada das sementes germinadas e mortas. O critério adotado para germinação foi a protrusão do embrião (raiz primária com curvatura geotrópica positiva e crescimento de 3 mm ou cotilédones fotossintetizantes). A contaminação por microrganismo nas sementes foi minimizada com a lavagem manual individualizada por semente, em água corrente e com leve fricção, quando havia sinais de infestação por microorganismos. Com os dados coletados foram calculadas as medidas de germinação e procedeu-se a análise da dinâmica da germinação. Para o cálculo das medidas da germinação, respeitou-se o delineamento estatístico, e para os da análise da dinâmica da germinação os dados de todas as repetições foram agregadas por tratamento e a análise procedeu-se com uma amostra.

A porcentagem final de germinação ou germinabilidade ($G\%$), que determina a capacidade de germinação, calculada seguindo a equação:

$$G\% = \frac{\sum_{i=1}^k n_i}{N} 100 \quad [7]$$

Em que : n_i é número de sementes que germinaram no tempo t_i ; k é o último tempo de germinação e N é o número de sementes postas para germinar.

O tempo inicial (t_0), final (t_f), mediano (t_{me}) e médio da germinação (\bar{t}) (LABOURIAU, 1983; RANAL; SANTANA, 2006), dados em dia. O tempo inicial e final correspondeu ao tempo gasto para a primeira e última semente da amostra germinarem, respectivamente. O tempo mediano é o tempo gasto por 50% das sementes viáveis da amostra germinarem e o tempo médio é a média do tempo gasto pelo processo germinativo ponderada pelo número de sementes que germinaram e foi calculado segundo a equação:

$$\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^k n_i t_i}{\sum_{i=1}^k n_i} \quad [8]$$

Em que: t_i é tempo entre o início do experimento e a i -ésima observação (dia); n_i é número de sementes que germinaram no tempo t_i ; k é o último tempo de germinação.

O Coeficiente de variação do tempo médio (CV_t), dado em porcentagem (Ranal; Santana, 2006), que avalia a dispersão do processo germinativo em torno do tempo médio, o que permite inferir a uniformidade da germinação, foi calculada a partir do tempo médio e do desvio padrão do tempo, usando a equação

$$CV_t = \left(\frac{s_t}{\bar{t}} \right) 100, \text{ sendo } s_t = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k n_i (t_i - \bar{t})^2}{\sum_{i=1}^k n_i - 1}} \quad [9]$$

em que: s_t é desvio padrão do tempo, \bar{t} é tempo médio da germinação, t_i é tempo entre o início do experimento e a i -ésima observação (dia), n_i é número de sementes que germinaram no tempo t_i ; k é o último tempo de germinação.

A mensuração da velocidade média do processo germinativo (\bar{v}), dado em dia⁻¹, foi proposta por Kotowski (1926) e modificada por Labouriau (1970) e é um medida de velocidade pura não linear que expressa o metabolista germinativo (Ribeiro-Oliveira; Ranal, 2016), sendo calculada por meio da equação:

$$\bar{v} = 1/\bar{t} \quad [10]$$

Em que: \bar{t} é tempo médio da germinação.

A amplitude temporal do processo germinativo (λ_t), dada em dias, demonstra a duração do processo germinativo, calculada por meio da equação:

$$\lambda_t = t_f - t_0 \quad [11]$$

Em que: t_0 é o tempo inicial da primeira germinação e t_f é o tempo para a última germinação

A incerteza do processo germinativo (I), dada em bit, proposta por Labouriau e Valadares (1976) para analisar a incerteza/entropia associada à distribuição da frequência relativa da germinação, foi calculada por meio da equação:

$$I = - \sum_{i=1}^k f_i \log_2 f_i, \text{ sendo } f_i = \frac{n_i}{\sum_{i=1}^k n_i} \quad [12]$$

em que : f_i é a frequência relativa da germinação, n_i é número de sementes que germinaram no tempo t_i e k é o último tempo de germinação.

A sincronia do processo germinativo (Z), que é adimensional, foi desenvolvida por Primack (1980) e adaptado por Ranal e Santana (2006) para avaliar a sobreposição do evento germinação em sementes, sendo calculada pela equação:

$$Z = \frac{\sum C_{n,2}}{N}, \text{ sendo} \quad \begin{aligned} C_{n,2} &= n_i(n_i - 1)/2 \text{ e} \\ N &= \sum n_i(\sum n_i - 1)/2 \end{aligned} \quad [13]$$

Em que $C_{n,2}$ é a combinação de sementes germinadas no tempo i , dois a dois e n_i é o número de sementes germinadas no tempo i .

A velocidade de Maguire (VE), proposta por Maguire (1962), dado em plântula dia⁻¹, associa o número de sementes germinadas e tempo, resultando em uma média da frequência diária da germinação, sendo calculada pela equação:

$$VE = \sum_{i=1}^k \frac{n_i}{t_i} \quad [14]$$

em que : t_i é o tempo entre o início do experimento e a i -ésima observação (dia); n_i é número de sementes que germinaram no tempo t_i ; k é o último tempo de germinação.

Desenvolvimento inicial de plantas jovens *stricto sensu* ou plântulas

Teste de desempenho categorizado – Teste Padrão de ‘Germinação’

Embora o teste padrão de germinação seja usado agronomicamente para determinar a porcentagem de germinação [plântulas normais – plântulas aptas ao desenvolvimento, Brasil (2009b)], ele leva em consideração o desenvolvimento inicial de plantas por meio de características morfológicas da plântula jovem *stricto sensu* (vide BEWLEY et al., 2013). Portanto, doravante, neste trabalho, será chamado de teste de desempenho hierarquizado do desenvolvimento inicial de plântulas. O teste de desempenho hierarquizado do desenvolvimento inicial de plântulas foi instalado em laboratório seguindo o mesmo delineamento adotado em campo (Figura 2). A condição de instalação deste teste foi sob regime de luz branca contínua à 25 °C em germinador do tipo Mangelsdorf®. Antes da semeadura e confecção dos rolos, o substrato, papel germitest®, foi umedecido com água destilada na proporção de 2,5 vezes a massa seca do papel. O valor obtido nesta multiplicação foi a quantidade de água correspondente em mililitros. Após este processo, a semeadura foi realizada entre folhas de papel germitest® (um/um), com 50 sementes por amostra, dispostas

de modo alternado e equidistante. Ao final, quatro rolos, totalizando 200 sementes, foram envolvidos em mais uma folha de papel gemitest® e formavam uma repetição.

As plântulas foram observadas e classificadas ao quinto dia após a semeadura. Contabilizou-se as plântulas normais, anormais danificadas e deterioradas e as sementes mortas, duras e dormentes (Brasil, 2009b). Em simultâneo a esta avaliação, as plântulas normais foram segregadas em fortes e fracas (NAKAGAWA, 1999).

Crescimento de plantas jovens stricto sensu

O teste de crescimento e desenvolvimento de plântula também foi instalado em laboratório seguindo o delineamento adotado em campo. As condições de instalação deste teste similar ao do “teste de desempenho hierarquizado” (detalhes no tópico acima), todavia, a semeadura foi realizada entre folhas de papel germitest® (um/um) com 20 sementes por amostra, dispostas de modo alternado e equidistante com o hilo orientado para a extremidade inferior do papel, em uma linha reta longitudinal traçadas no terço médio do papel, no sentido longitudinal do papel (NAKAGAWA, 1999) (Figura 3) Ao final, quatro rolos, totalizando 80 sementes, foram envolvidos em mais uma folha de papel gemitest® e formavam uma repetição.

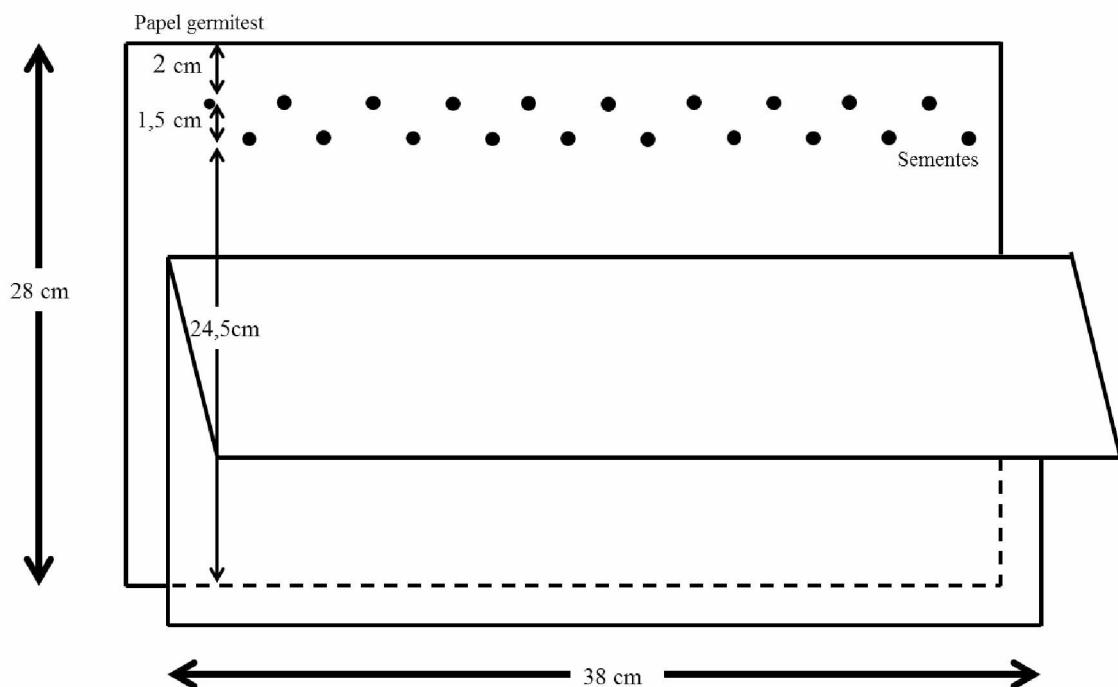


Figura 3. Orientação e espaçamento das sementes sobre o papel germitest para condução do teste de crescimento e desenvolvimento de plântula (adaptado de Pereira et al., 2009).

Ao quinto dia após a semeadura, contabilizou-se o número de plântulas normais, bem como o comprimento da raiz primária e da parte aérea, por meio de uma régua milimetrada (precisão de duas casas decimais). Logo após estas determinações, as plântulas foram seccionadas, separando-se o sistema radicular e parte aérea. Procedeu-se ainda a separação dos cotilédones, os quais foram descartados. Cada estrutura foi colocada em sacos de papel craft, de massa conhecida, e mantidas em estufa com convecção, regulada a 70 °C durante 72 horas. Posteriormente, avaliou-se a massa seca, utilizando-se balança de precisão (0,0001 g). O comprimento e a massa total foram obtido pela soma das secções. O valor médio de cada uma dessas medidas foi obtido somando-se as de cada plântula normal, em cada subamostra, dividindo-se, a seguir, pelo número de plântulas normais, os resultados expressos em cm plântula normal⁻¹ e g plântula normal⁻¹. As relações entre parte aérea e parte radicular, tanto do comprimento e da massa também foram estimada pela expressão:

$$Relação_{(comprimento \ ou \ massa)} = \frac{\text{Parte aérea}}{\text{parte radicular}} \quad [15]$$

Teste de estresse em sementes – Teste de ‘Envelhecimento Acelerado’

O teste de envelhecimento acelerado foi utilizado para verificar a aptidão das sementes em sobreviver a situação de estresse hídrico e térmico. Por isso, a partir de então será tratado, no presente trabalho, como teste de estresse em sementes. Este teste foi instalado em laboratório seguindo o mesmo delineamento adotado em campo (Figura 2). Foi realizado com quatro sub-amostras de 50 sementes para cada tratamento, pelo método de gerbox descrito por Marcos Filho (2005), em que 200 sementes foram colocadas sobre a tela de inox de uma caixa plástica (Gerbox), contendo no fundo 40 mL de água destilada. Após a colocação da tampa, as caixas foram levadas ao germinador regulado à 41 °C e 100% umidade relativa, permanecendo por 72 horas. Para evitar condensação de água sobre as sementes e, consequentemente, intensificação e proliferação da contaminação microbólica, uma folha de papel mata borrão foi afixada no interior da tampa da caixa gerbox durante o tempo de estresse.

Decorrido esse período, as sementes foram postas a germinar em condições similares aos demais testes que utilizaram desenvolvimento hierarquizado de plântulas (vide tópicos acima). Mais uma vez, no quinto dia, foram contabilizadas as plântulas normais, anormais

danificadas e deterioradas e as sementes mortas pós-estresse, sementes duras pós-estresse e dormentes pós-estresse (Brasil, 2009a).

Análise estatística

Para todas as características físico-químicas foram calculados intervalos de confiança para a média em cada tratamento, utilizando-se a distribuição t de "Student" a 0,05 de significância. Intervalos de confiança sobrepostos indicam diferenças não significativas e a amplitude dos fios de bigodes refletem a variabilidade (MONTGOMERY; RUNGER, 2010).

Regressões foram testadas para a germinação acumulada ($G\%$; Figura 4), bem como gráficos demonstram a distribuição de frequência relativa da germinação (f_i , equação 8; LABOURIAU; VALADARES, 1976), da probabilidade de sobrevivência ($S(t)$; Figura 4) e da taxa instantânea de risco ($h(t)$; Figura 4) para todos os tratamentos em função do tempo. Isto visou estudar a dinâmica do processo germinativo. Para os gráficos de germinação acumulada foram testados modelos regressão sigmodais, exponenciais e logísticos em função do tempo. Os modelos escolhidos, além de significativos pela estatística "F" de Snedecor, a 0,05 significância, basearam na dispersão dos dados, sentido biológico e ajuste (R^2). Quando o modelo escolhido apresentava como parâmetro o tempo mediano, este foi incorporado ao gráfico.

Para avaliar a probabilidade das sementes não germinarem, calculou-se a curva de sobrevivência ($S(t)$), levando em consideração falhas e censuras; os tempos nos quais ocorreram as germinações foram considerados como falhas e os tempos nos quais as sementes morreram foram considerados como censura, visto que não houve sementes remanescentes ao final do teste. Portanto, esta função representa a probabilidade das sementes sobreviverem ao tempo t , ou seja, de não germinarem (McNair et al., 2012) e é definida por:

$$S(t) = P(T \geq t_i) \quad [16]$$

em que: P é a probabilidade; T é o tempo até a falha (dia); t_i é o tempo entre o início do experimento e a i -ésima dia em que houve a falha ou censura. Optou-se por não fazer nenhuma suposição sobre a distribuição da probabilidade do tempo de sobrevivência, portanto não foi imposto nenhum modelo teórico para as falhas e/ou censuras observadas. Por conseguinte, fez-se uso do estimador não paramétrico de Kaplan-Meier (1958) ($\hat{S}(t)$) para a

função de sobrevivência $S(t)$, por considerar tantos intervalos de tempo, quantos forem o número de falhas distintas. O estimador é definido por:

$$\hat{S}(t) = \prod_{j: t_j < t} \left(1 - \frac{d_j}{n_j}\right) \quad [17]$$

Em que: t_j é o j -ésimo tempo de falha, indo do primeiro ao j ; d_j é o número de falhas em t_j ; n_j é o número de indivíduos que não falharam e não foram censurando até o instante imediatamente anterior a t_j . Por meio deste, estimou-se ainda o tempo médio ($t_{mS(t)}$) e mediano ($t_{meS(t)}$) da falha.

As curvas geradas foram comparadas por meio dos testes de Gehan-Breslow e de Log-Rank, ambos a 0,05 de significância. Isto visou constatar diferenças em ao menos um tratamento na capacidade de sobrevivência, prioritariamente, na porção inicial e final do período de observação. Posteriormente, as curvas foram pareadas e aplicados o teste de Holm-Sidak, a 0,05 de significância. Por fim, foram construídos, para cada tratamento em cada intervalo de tempo, intervalos de confiança para as probabilidades de sobrevivência, utilizando-se a distribuição t de "Student" a 0,05 de significância. Quando os intervalos sobrepujaram, indicaram diferenças não significativas.

A taxa de risco instantâneo ($h(t)$), dada em dia⁻¹, que mensura a chance da falha (germinação) ocorrer em um instante, dado que não ocorreu no instante imediatamente anterior, foi calculada pela equação:

$$h(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t \leq T < t + \Delta t | T \geq t)}{\Delta t} \quad [18]$$

Para a comparação, inicialmente, buscou-se caracterizar a germinação das sementes *per se*, por meio das sementes sem quaisquer influências da fertilização nitrogenada, com aquelas advindas somente da fixação biológica de nitrogênio. Em sequência, contrastou-se cada uma dessas com as respectivas variações de manejo de fertilização. Ainda com estes dados acumulados, calculou-se o tempo médio (equação 8) e mediano, estimados por medidas de posição dos momentos da germinação, o coeficiente de variação do tempo (equação 9), velocidade média (equação 10), amplitude temporal (equação 11) e sincronia (equação 12).

Para as medidas de germinação, características mensuradas no teste de desempenho hierarquizado do desenvolvimento inicial de plântulas, crescimento e desenvolvimento de plântulas normais e estresse de sementes os testes de Shapiro-Wilk para a normalidade dos resíduos da ANOVA e de Levene para a homogeneidade entre as variâncias dos tratamentos

foram aplicados a todas as características, ambos a 0,01 de significância. Em caso de não atendimento a uma das pressuposições, os dados foram submetidos as transformações do tipo do tipo raiz ou angular e novamente as pressuposições foram testadas. Em caso de falta de ajuste a alguma das pressuposições, utilizou-se o protocolo proposto por Ribeiro-Oliveira et al (2018) para proceder a análise. Em sequência, aplicou-se a análise de variância (ANOVA) pelo teste “*F* de Snedecor” (Tabela 2).

Tabela 2. Esquema da análise de variância adotado para as variáveis obtidas a partir de sementes feijão oriundas de plantas submetidas a diferentes manejos da fertilização nitrogenada (fixação biológica, dose e estádio fenológico de aplicação de *N*-fertilizante)

¹ Fonte de variação (F.V.)	Graus de liberdade
1- Fixação biológica de nitrogênio (FBN)	1
2- Estágio Fenológico (Estágio)	2
3- Dose de nitrogênio (Dose)	2
4- FBN x Estágio	2
5- FBN x Dose	2
6- Estágio x Dose	4
7- FBN x Estágio x Dose (Interação tripla)	4
8- Interação tripla x Adicional 1 x Adicional 2	1
9- Interação tripla 1 x Adicional 2	1
Resíduo	60

¹ Tratamentos adicional 1 e 2 são compostos pelo uso da fixação biológica de nitrogênio isolada e do não uso de qualquer manejo de fertilização nitrogenada, respectivamente.

As comparações múltiplas das médias foram feitas pelo teste de Tukey, a 0,05 de significância, para o fator fixação biológica de nitrogênio (com e sem FBN) e estádio fenológico para aplicação da fertilização nitrogenada em cobertura (V_0 , V_2 e V_4). Para comparar os tratamentos adicionais – compostos pelo uso da fixação biológica de nitrogênio isolada e, ou, do não uso de qualquer manejo de fertilização nitrogenada – com as demais combinações de manejo de fertilização nitrogenada fez uso de contrastes pareados por meio do teste de Dunnet, a 0,05 significância. Para o fator quantitativo, dose de nitrogênio (0; 50; 100 e 150 kg ha⁻¹ de *N*-fertilizante), modelos regressão lineares, quadráticos, sigmodais, exponenciais e logísticos foram testados e aqueles significativos pela estatística “*F*” de Snedecor, a 0,05, com sentido biológico e bom ajuste ($R^2 \geq 70\%$). Quando os modelos não se ajustaram, as comparações foram feitas por intervalos de confiança para a média, utilizando-se a distribuição *t* de "Student" a 0,05 de significância, visando estudar as variabilidades envolvidas, e quando os intervalos se sobreponham, indicavam diferenças não significativas MONTGOMERY; RUNGER, 2010). Exceto para as medidas de germinação, uma vez que para algumas das curvas os modelos foram significativos, assim, nos caso de não ajustamento

para as demais, os pontos médios foram plotados e procedeu-se análise descritiva.

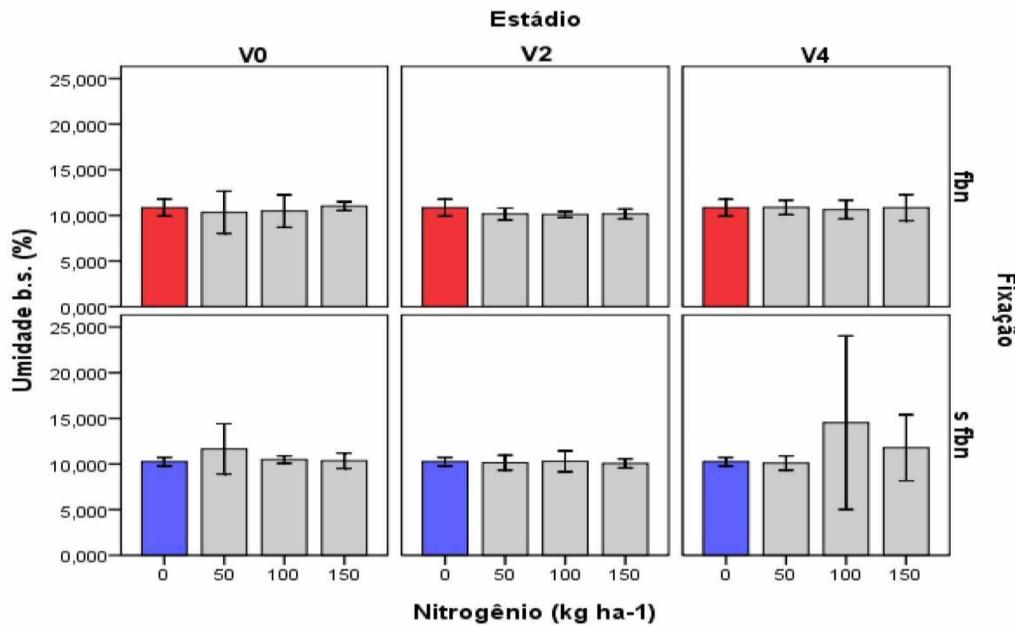
Correlações lineares de Pearson com dados originais foram feitas para todas as variáveis, sendo a significância testadas pelo t de “*Student*” a 0,05. As correlações significativas foram plotadas em gráficos e as magnitudes foram demonstradas em tabelas. Os adjetivos propostos por Davis (1971) para cada magnitude foram agregados no texto quando se julgou necessário, sendo $r = 1$ correlação perfeita; $0,70 \leq r \leq 0,99$ muito alta; $0,50 \leq r \leq 0,69$ substancial; $0,30 \leq r \leq 0,49$ moderada; $0,10 \leq r \leq 0,29$ baixa e $0,01 \leq r \leq 0,09$ desprezível.

RESULTADOS

Composição físico-química

Os teores de água das sementes analisadas foram próximos a 10% (base seca) para todas as combinações de manejo de fertilização nitrogenada; embora, as sementes provenientes de plantas fertilizadas unicamente com fonte mineral nas doses de 100 e 150 kg ha⁻¹ em *V₄* apresentam maiores amplitudes de teor de água (Figura 4a). Em paralelo, não foi verificado tal extremo de variabilidade para massa de 100 sementes nesses manejos (Figura 4b). Nesta característica, verificou-se que o incremento da dose de nitrogênio, independente do estádio de aplicação e do uso de bactérias fixadoras de nitrogênio na planta-mãe, aumenta a massa das sementes produzidas, mas não suficiente para garantir a disparidade entre si e em relação a não aplicação de *N*-fertilizante.

(a)



(b)

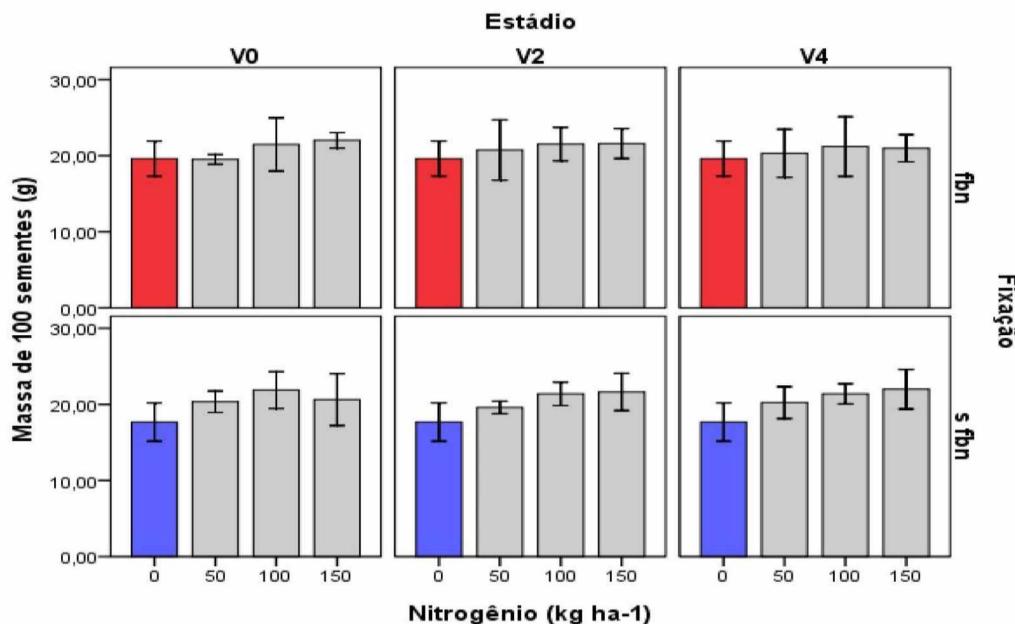


Figura 4. Caracterização física ((a) Umidade e (b) massa de 100 sementes) das sementes de feijão oriundas de plantas com diferentes manejos de fertilização nitrogenada (fixação biológica, dose e estádio fenológico de aplicação de N -fertilizante). Teor de água calculado na base seca; Sobreposição de intervalos de confiança indicam similaridades entre as médias, utilizando-se a distribuição t de “Student” a 0,05 de significância. As três barras em vermelho representam o tratamento adicional presença da fixação biológica de nitrogênio e as três em azul representam o tratamento adicional ausência da fixação biológica de nitrogênio,

Em geral, os teores de lipídios das sementes foram próximos a 1% ($0,25 < \% \text{ lipídios} < 2,0$), apresentando variabilidades moderadas (Figura 5a). Todavia, o manejo da fertilização nitrogenada na planta-mãe impacta na deposição de reservas de lipídios das sementes, sobretudo quando a fertilização mineral foi feita no inicio do cultivo. Em virtude disso, houve redução do teor de lipídios das sementes produzidas por plantas apenas fertilizadas com 150 kg ha^{-1} de nitrogênio em V_0 em relação àquelas produzidas por plantas sem nenhum manejo e em relação às produzidas por plantas nutridas com nitrogênio bacteriano juntamente a 50 kg ha^{-1} *N*-fertilizante em V_0 (Figura 5a).

Salvo as sementes produzidas por plantas nutridas com nitrogênio bacteriano juntamente a 150 kg ha^{-1} *N*-fertilizante em V_0 e as produzidas 100 kg ha^{-1} *N*-fertilizante em V_2 que apresentaram alta dispersão para teor de fibra bruta, as demais tiveram dispersões pequenas, por vezes, ínfimas (Figura 5b). Nesta última situação, têm-se as sementes produzidas por plantas fertilizadas com nitrogênio na dose de 150 kg ha^{-1} em V_0 e as sementes produzidas por plantas infecionadas com bactéria fixadoras de nitrogênio e fertilizadas com esse nutriente na dose de 50 kg ha^{-1} em V_4 , que, embora a primeira apresentasse maior teor de fibra bruta, a segunda apresentou menor variação deste (Figura 5b).

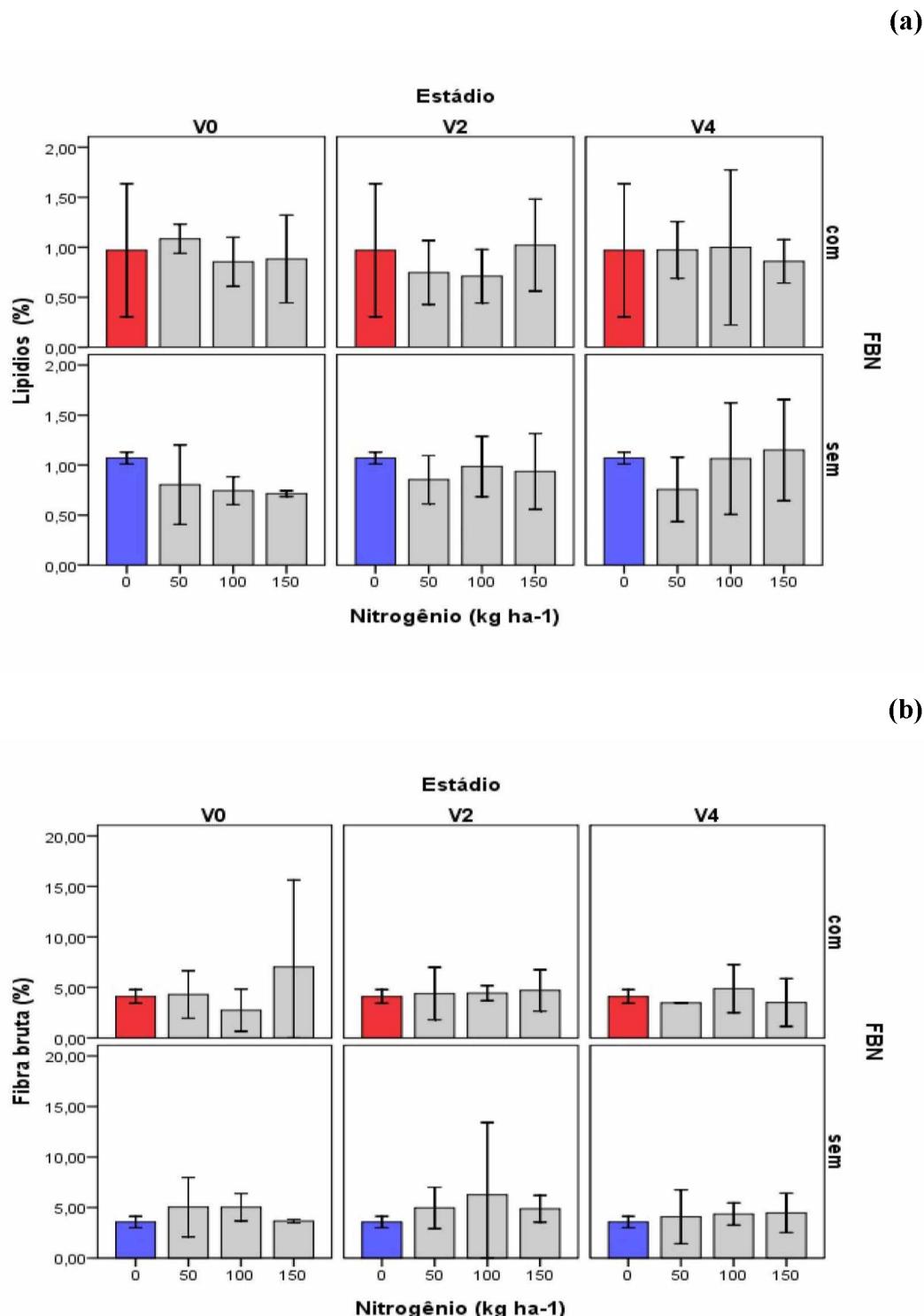


Figura 5. Teores de (a) lipídios e (b) fibra brutas de sementes de feijão oriundas de plantas com diferentes manejos de fertilização nitrogenada (fixação biológica, dose e estádio fenológico de aplicação de N -fertilizante). Sobreposição de intervalos de confiança indicam similaridades entre as médias, utilizando-se a distribuição t de “Student” a 0,05 de significância. As três barras em vermelho representam o tratamento adicional presença da fixação biológica de nitrogênio e as três em azul representam o tratamento adicional ausência da fixação biológica de nitrogênio.

As sementes da cultivar superprecoce de feijão-comum BRS FC104 apresentou teores médio de proteína de 20%, de 65% de carboidratos e em torno de 4% de cinza, independente do uso de bactérias fixadoras de nitrogênio ou da aplicação crescente de fertilização mineral de nitrogênio em diferentes períodos de crescimento da planta-mãe (Figura 6). Não obstante, é digno de nota as amplitudes dos intervalos de confiança extremas registradas para os teores de proteína das sementes produzidas com 50 kg ha⁻¹ de nitrogênio nos diferentes estádios fenológicos, com ou sem aporte de nitrogênio de origem bacteriana, salvo as sementes produzidas por plantas em mutualismo com bactérias noduladoras e fertilizadas nos estádios V_0 e V_2 (Figura 6a). Embora as grandezas dos teores médios de proteína e de extrato não nitrogenado (carboidratos) fossem diferentes, visto a maior concentração de carboidratos, por se tratar de uma semente aleuroamilacea, os comportamentos registrados pelas amplitudes de intervalo de confiança foram similares (Figura 6a e b).

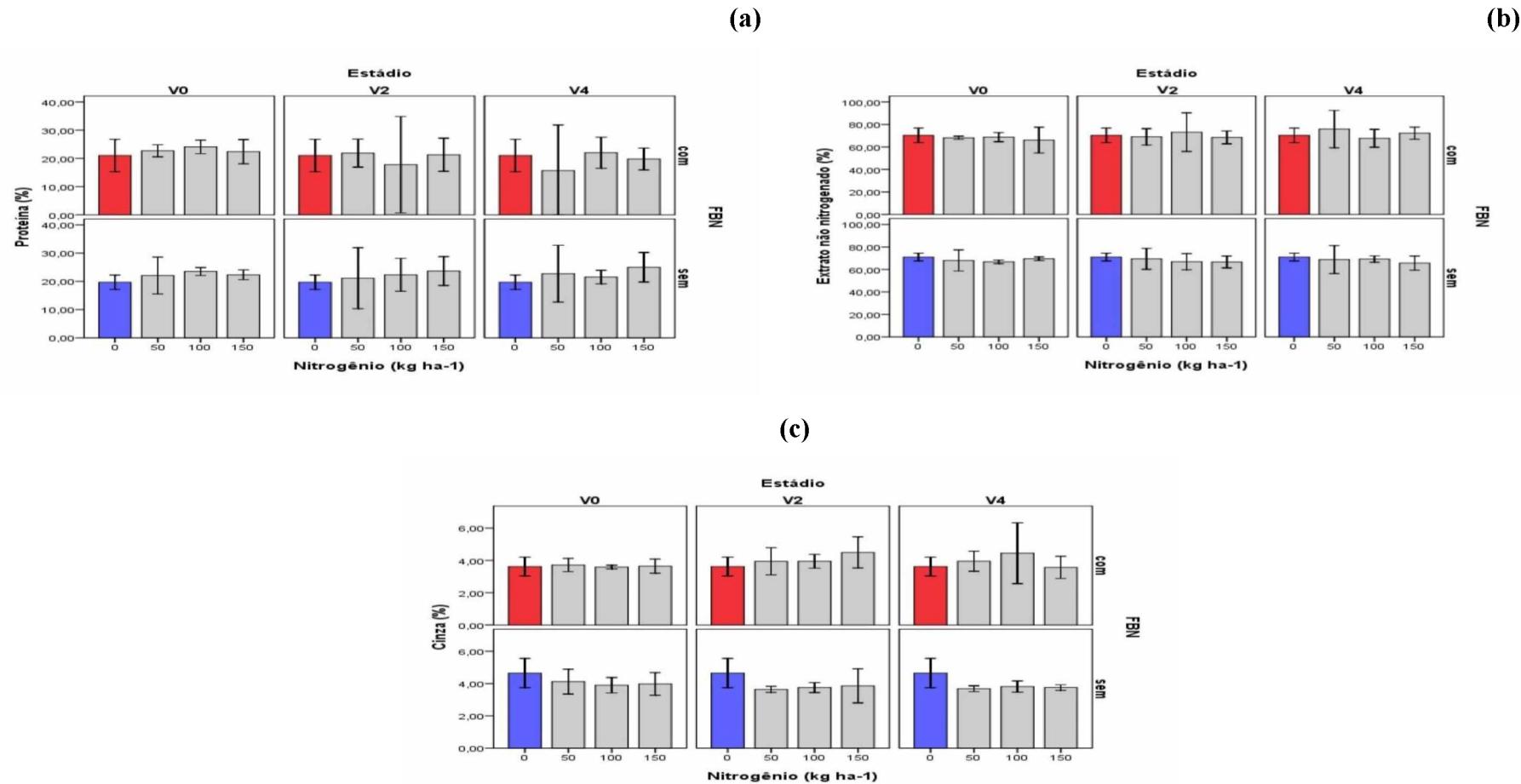


Figura 6. Teores de (a) proteína e de (b) carboidratos - extrato não nitrogenado e (c) cinzas em sementes de feijão oriundas de plantas com diferentes manejos de fertilização nitrogenada (fixação biológica, dose e estádio fenológico de aplicação de N -fertilizante). Sobreposição de intervalos de confiança indicam similaridades entre as médias, utilizando-se a distribuição t de “Student” a 0,05 de significância. As três barras em vermelho representam o tratamento adicional presença da fixação biológica de nitrogênio e as três em azul representam o tratamento adicional ausência da fixação biológica de nitrogênio,

A planta-mãe converte os macronutrientes primários para produzir o máximo de sementes possíveis, mantendo a proporcionalidade de 35; 45 e 12,5 g de nitrogênio, fosforo e potássio, respectivamente, por quilo de sementes. Em suma, os teores de N, P e K nas sementes demonstraram ser conservativos da espécie e, portanto, não apresentaram diferenças frente ao diferentes manejos nitrogenados adotados na fertilização da planta-mãe (Figura 7a, b e c). Ao analisar a variabilidade, notou-se que as amplitudes de variação dos teores de nitrogênio foram inconstantes e altas, frente a variação dos fatores analisados (dose e época de aplicação de nitrogênio e uso ou não de bactérias fixadoras de nitrogênio) (Tabela 7a), ao passo que as do fosforo e potássio foram baixas (Figura 7b e c).

As sementes de feijão produzidas por plantas sem manejo de fertilização nitrogenada apresentaram 3% de cálcio; e esse valor não foi alterado com incremento de nitrogênio até doses de 150 kg ha⁻¹ aplicados em V_0 , V_2 ou em V_4 , tampouco com o mutualismo com *Rhizobium* sp. (Figura 7d). Destas combinações de manejo de fertilização nitrogênio, o único que foi deletério ao teor de cálcio das sementes foi a aplicação de nitrogênio mineral na dose de 150 kg ha⁻¹ aplicados em V_0 .

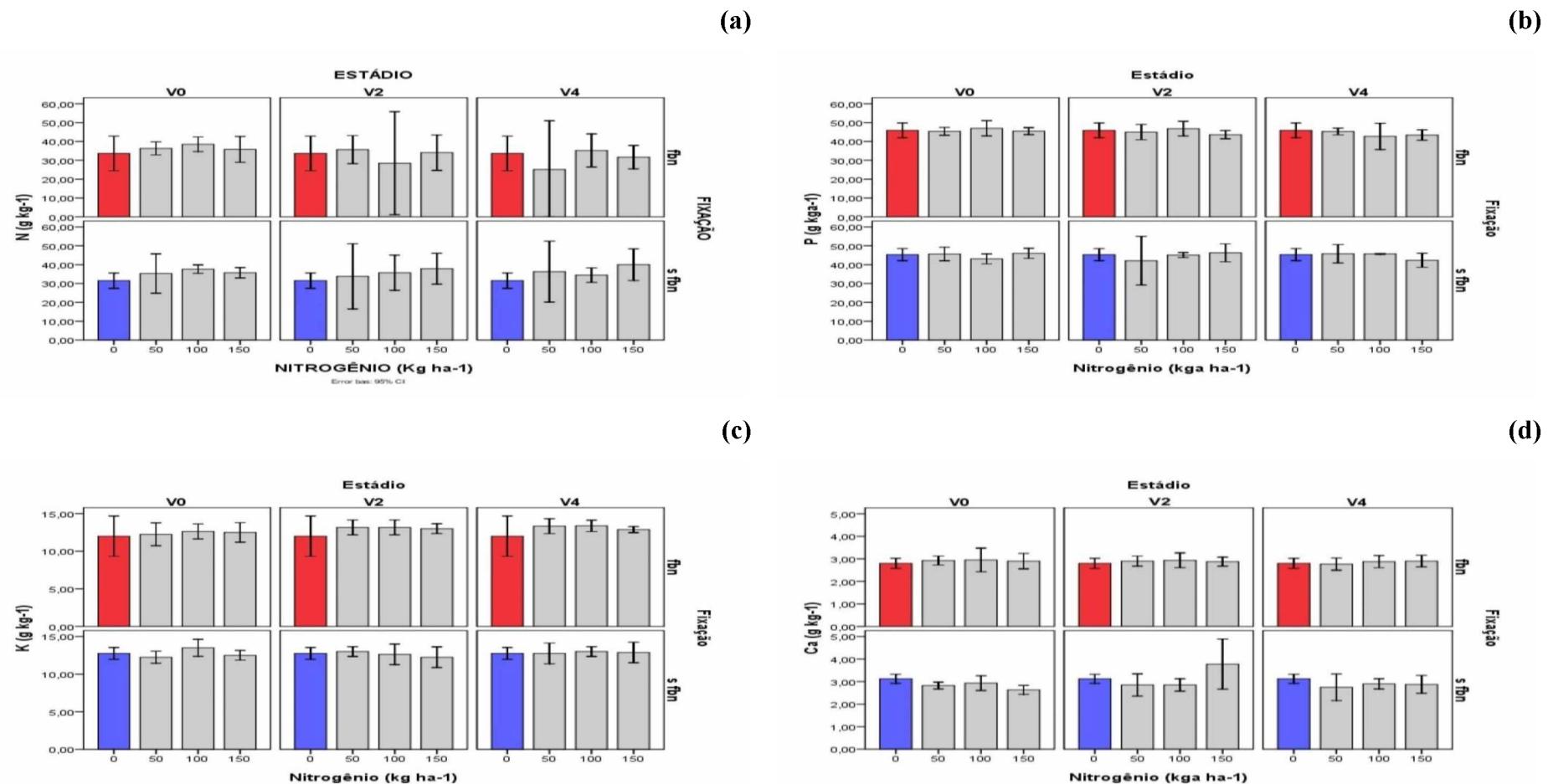
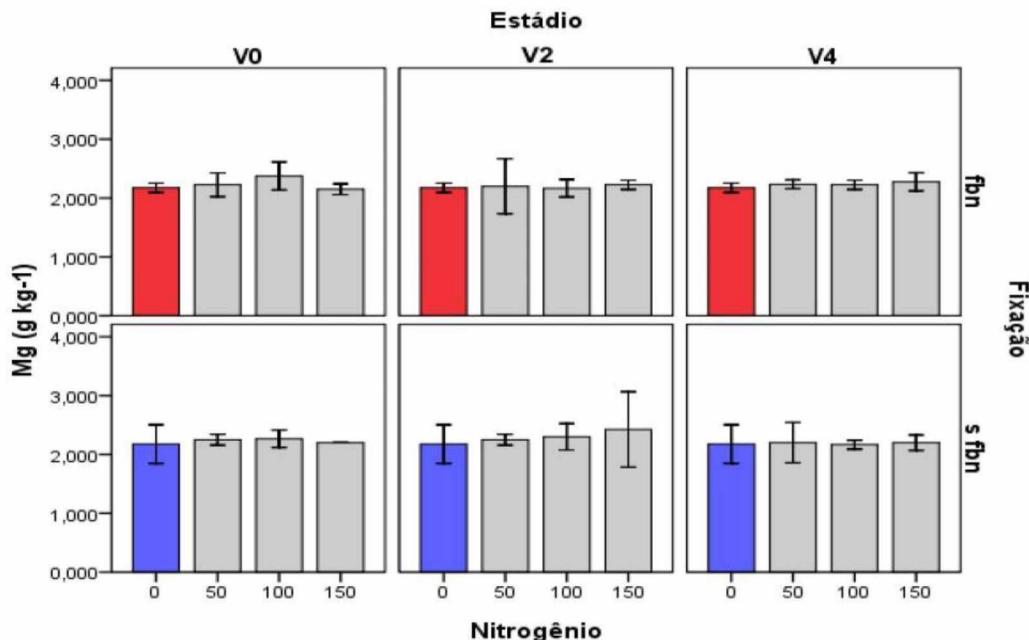


Figura 7. Teores de (a) nitrogênio, (b) fosforo, (c) potássio e (d) e calcio em sementes de feijão oriundas de plantas com diferentes manejos de fertilização nitrogenada (fixação biológica, dose e estádio fenológico de aplicação de N -fertilizante). Sobreposição de intervalos de confiança indicam similaridades entre as médias, utilizando-se a distribuição t de “Student” a 0,05 de significância. As três barras em vermelho representam o tratamento adicional presença da fixação biológica de nitrogênio e as três em azul representam o tratamento adicional ausência da fixação biológica de nitrogênio,

Teores de magnésio nas sementes produzidas por plantas cultivadas em diferentes manejos de fertilização, que inclui mutualismo com bactérias fixadoras de nitrogênio, dose e época de aplicação de *N*-fertilizante, foram pouco variáveis e, em função disto, similares, próximos 2 g kg⁻¹ de sementes (Figura 8a).

O teor de enxofre nas sementes foi, dentre os macronutrientes, o que apresentou maior número de diferenças em função dos manejos de fertilização nitrogenada adotado para nutrir a planta-mãe (Figura 8b). Foi consenso que a aplicação de *N*-fertilizante na planta-mãe reduz o teor de enxofre nas sementes produzidas. Posto isto, as plantas cultivadas sem nenhum manejo de fertilização nitrogenada produziram sementes com aproximadamente 1,4 g de enxofre para cada quilograma de sementes, superior àquela que foram fertilizadas com nitrogênio na dose de 50; 150 e 100 kg ha⁻¹ nos estádios V_4 , V_2 e V_0 , cujos teores foram de aproximadamente 1,2; 1,02; 1,15g. Reduções entre os teores de enxofre também foram constatadas para sementes produzidas por plantas fertilizadas com 150 kg ha⁻¹ de nitrogênio aplicados em V_2 ($S \approx 1,2$ g kg⁻¹) em relação às produzidas com 50 e 100 kg ha⁻¹ de nitrogênio aplicados em V_0 ($S \approx 1,5$ e 1,27 g kg⁻¹, respectivamente) e aquela produzidas por plantas cujo o único apporte de nitrogênio foi o bacteriano ($S \approx 1,4$ g kg⁻¹; Tabela xb). E, por fim, ainda foram constatadas diferenças nos teores de enxofre das sementes por plantas fertilizadas com 50 e 100 kg ha⁻¹ de nitrogênio aplicados em V_0 . Um adento necessário: aparentemente, o mutualismo com bactérias nodulantes, e, consequentemente, o apporte de nitrogênio, faz com que a absorção e a translocação do enxofre para a semente não seja afetada pela fertilização mineral com nitrogênio (Figura 8b).

(a)



(b)

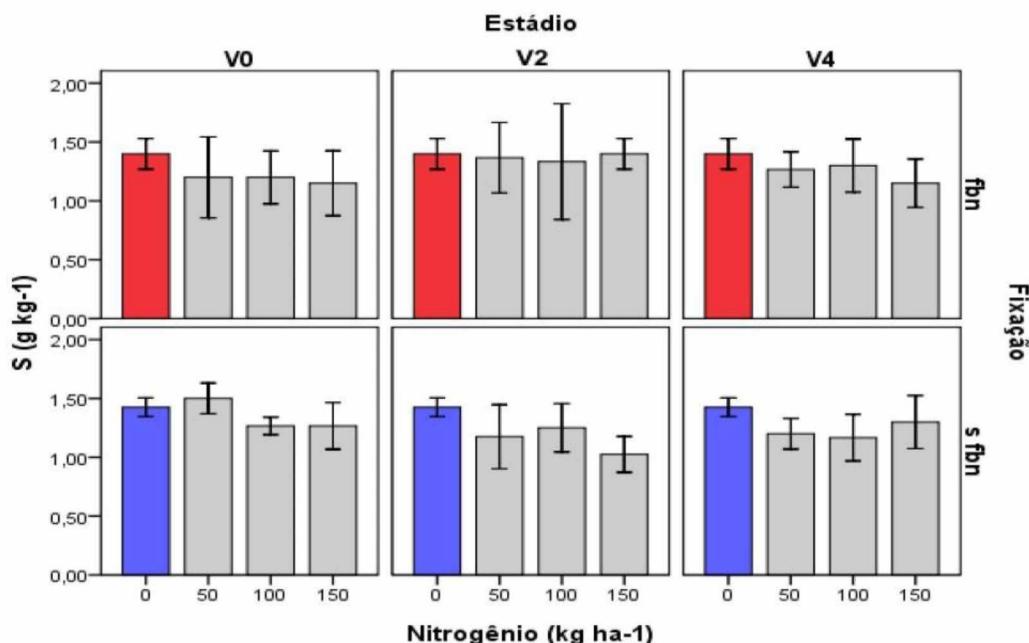


Figura 8. Teores de (a) Magnésio e (b) Enxofre em sementes de feijão oriundas de plantas com diferentes manejos de fertilização nitrogenada (fixação biológica, dose e estádio fenológico de aplicação de *N*-fertilizante). Sobreposição de intervalos de confiança indicam similaridades entre as médias, utilizando-se a distribuição *t* de “Student” a 0,05 de significância. As três barras em vermelho representam o tratamento adicional presença da

fixação biológica de nitrogênio e as três em azul representam o tratamento adicional ausência da fixação biológica de nitrogênio,

Os micronutrientes, de modo geral, não foram impactados pelo manejo da adubação nitrogenada, não havendo diferenças (Figura 9). Para ferro pouca inferência foi possível ser feita, visto que os teores e as variações destes oscilaram bastante ($49,0 < \text{Fe} < 200 \text{ mg kg}^{-1}$; Figura 9a). Os teores nas sementes foram próximos a 10 mg kg^{-1} para Cobre, em torno de 60 mg kg^{-1} para Zinco e entre 35 e 45 mg kg^{-1} para Manganês (Figura 9b, c e d). Os teores de zinco e cobre nas sementes apresentaram variações pequenas e uniformes em função do manejo de fertilidade nitrogenada adotado para o cultivo da planta-mãe, o que não garantiu a disparidade devido a proximidade da média (Figura 9b e c). Diferentemente, para manganês o que garantiu similaridade entre os manejos nos teores foi a grande amplitude registrada pelo intervalo de confiança (Figura 9c).

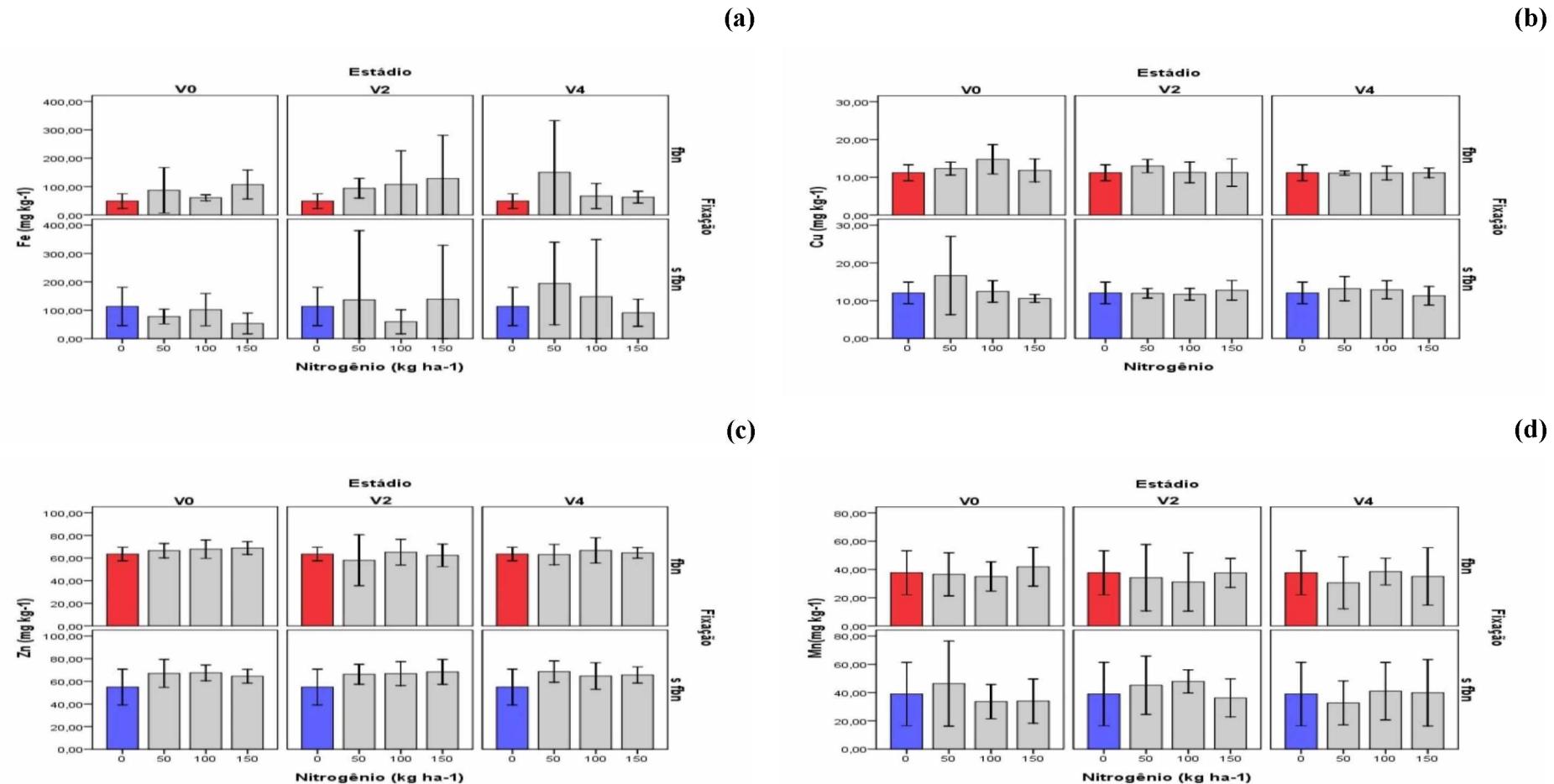


Figura 9. Teores de (a) Ferro, (b) Cobre, (c) Zinco e (d) Manganês em sementes de feijão oriundas de plantas com diferentes manejos de fertilização nitrogenada (fixação biológica, dose e estádio fenológico de aplicação de N -fertilizante). Sobreposição de intervalos de confiança indicam similaridades entre as médias, utilizando-se a distribuição t de “Student” a 0,05 de significância. As três barras em vermelho representam o tratamento adicional presença da fixação biológica de nitrogênio e as três em azul representam o tratamento adicional ausência da fixação biológica de nitrogênio,

Análise fisiológica da germinação *stricto sensu*

Dinâmica da germinação stricto sensu

O efeito da inoculação com bactérias fixadoras de nitrogênio demonstraram sutil modificação da dinâmica da germinação das sementes (Figura 6), tendo velocidade em 0,45 e 0,49 dias⁻¹ para aquela oriunda de planta com FBN e sem, respectivamente. Sementes oriundas de plantas com o uso FBN apresentaram maior pico germinativo por volta do segundo dia, com frequência relativa acima de 0,3. No entanto, a amplitude da germinação foi quase um dia maior ($\lambda=5,33$ dias) (Figura 10). Tal comportamento fez com que o tempo médio e mediano fossem próximos aos maiores picos da frequência da germinação (tempo médio de 2,26 e 2,08 e mediano de 2,09 e 1,43 para sementes produzidas por plantas cultivadas em bactérias e sem nenhum manejo de fertilização nitrogenada, respectivamente). É de se destacar que a maior amplitude entre média e mediana do tempo de germinação das sementes advinda da ausência de FBN foi devida a um pequeno incremento por volta do quarto dia (Figura 10a). Os picos germinativos e as germinações espaçadas tardiamente justificaram a alta variação em torno do tempo médio (CV_t de 39,33% e 38,20 para sementes produzidas por plantas cultivadas em bactérias e sem nenhum manejo de fertilização nitrogenada, respectivamente) e os baixos valores de sincronia ($Z=0,19$).

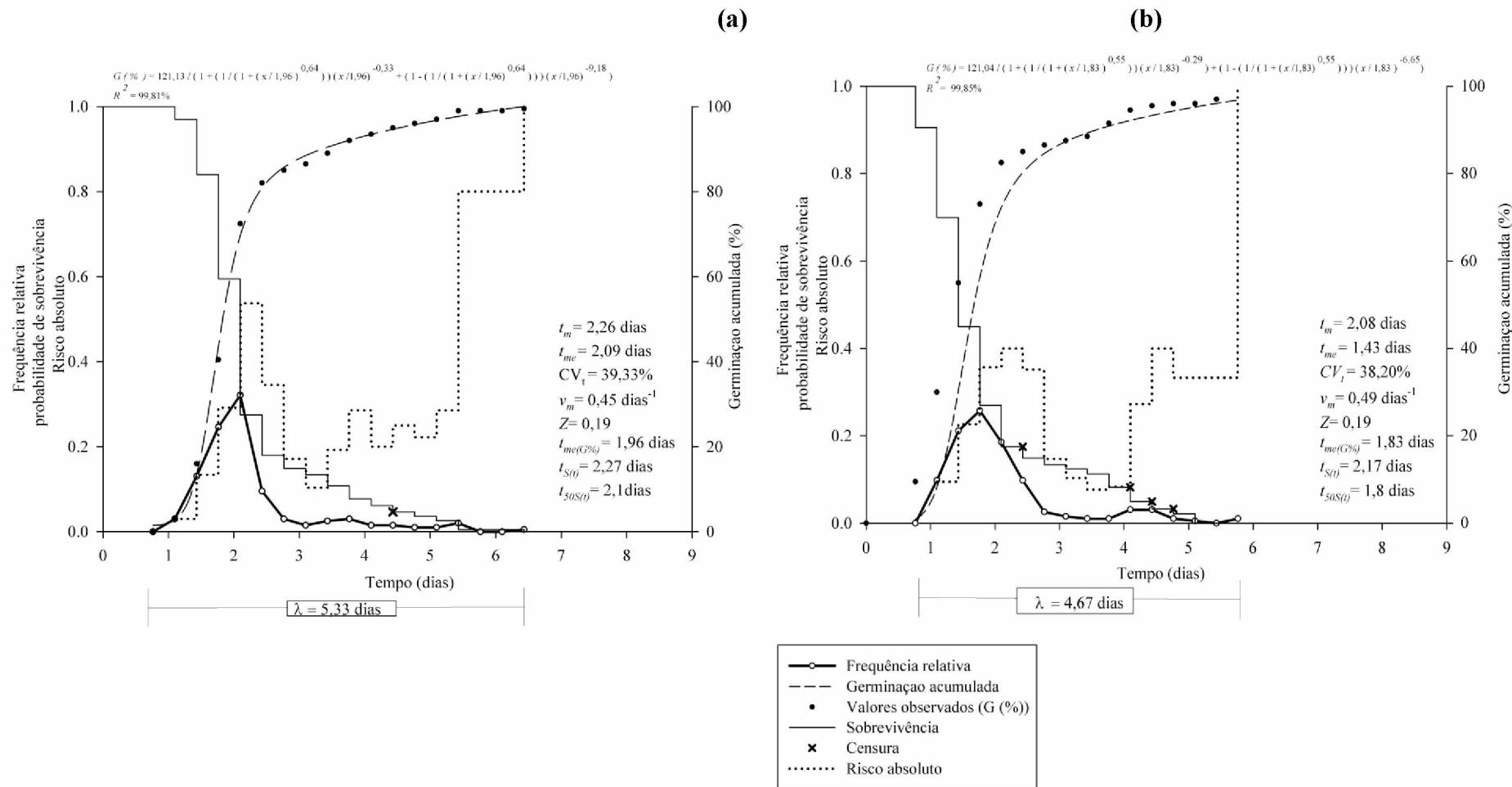


Figura 10. Dinâmica da germinação de sementes de feijão produzidas por plantas (a) inoculadas com bactérias fixadoras de nitrogênio e (b) sem nenhum aporte manejo de fertilização nitrogenada, seja mineral ou bacteriano.

O processo germinativo foi unimodal e assimétrico à direita, assemelhando-se à distribuição normal (proximidade da média e mediana, em ambos os casos) (Figura 10). A proximidade das medidas de posição ratificam essa distribuição e permitem o uso confiável do CV_t . Isto ainda é ratificado com a equiparação dos tempos da sobrevivência com os demais (visto que o objeto em estudo é o oposto; a sobrevivência foca na não germinação e as demais na germinação), em que se obteve tempo mediano de 1,96 e 2,1 dias para a curva de germinação acumulada e tempo médio de sobrevivência, respectivamente, e médio para sobrevivência de 2,27 dias (probabilidades das sementes não germinarem). Estes e aqueles tempos (tempo médio e mediano), estimados por medidas de posição dos momentos da germinação, reforçam a representatividade desta informação. O processo germinativo, em ambas, ajustou ao modelo logístico com quatro parâmetros ($R^2 > 99\%$). Ainda sobre os tempos, essa característica é conservativa e pouco influenciada pelo manejo. De modo geral, esses tempos foram influenciados pela superior frequência relativa da germinação em torno do segundo dia. Portanto, a fixação de nitrogênio foi incapaz de alterar esses padrões do processo germinativo.

As probabilidades das sementes não germinarem nos primeiros momentos foram maiores para sementes provenientes de plantas cultivadas sem FBN (Tabela 3; Figura 10). Neste, com um dia, a probabilidade de não germinar era de 1,0; enquanto que nas sementes advindas de plantas com manejo nitrogenado a probabilidade era de aproximadamente 0,97; próximo ao segundo dia (período em que ocorreu a maior frequência de germinação) essas probabilidade eram próximas a 0,45 e de 0,28; respectivamente. Este decréscimo acentuado foi acompanhado de aumentos das taxas de risco, *i.e.*, a chance das sementes que sobreviveram até aquele momento germinarem no momento a seguir (Figura 10). Posteriormente a esse momento, as inflexões da curva de sobrevivência foram menores com probabilidades próximas em cada tempo. Concomitantemente às probabilidades de sobrevivência decrescerem, as taxas de germinação aumentaram, tendendo a estabilidade próximo ao período que ocorreu o maior pico da frequência relativa da germinação (Figura 6). Nesta ocasião, o risco das sementes advindas de FBN germinar foi superior ($h(t) \approx 0,6 \text{ dia}^{-1}$), e, em ambas sementes (oriunda de plantas sem manejo de fertilização nitrogenada e com FBN), a partir de então começou a decrescer. As baixas probabilidades de sobrevivência no final do processo foram acompanhadas de baixos incrementos nas curvas de germinação. O menor risco das sementes de ambos os tratamentos germinarem foi entre o terceiro e quarto dia, e, após este, o risco aumenta significativamente (Figura 10). Ênfase é merecida para o aumento

do risco entre o quarto e quinto dia, que foi similar ao valor observado próximo ao tempo médio, e este coincidiu com o registrado no pico germinativo (visto pela frequência relativa), para as sementes que foram originadas sem manejo nitrogenado ($h(t) \approx 0,4$ dias⁻¹; Figura 6b); além disto, o risco das sementes germinarem quando produzida somente com FBN é mais constante (Figura 10a).

A suplementação nitrogenada no estádio V_0 com doses maiores, 150 kg ha⁻¹, em plantas inoculadas com bactérias fixadoras de nitrogênio (Figura 10a e Figura 11) reduziu a probabilidade não germinar (até 4,46 dias); em contrapartida, a menor dose (50 kg ha⁻¹) demonstrou o inverso (Figura 10a e 14; Tabela 3). No tempo mediano calculado para a germinação ($t_{me} = 2,09$), as probabilidades das sementes não germinar eram próximas a 0,13; 0,20; 0,27 e 0,19; a germinabilidade foi 69,32; 68,53; 57,26 e 64,89 ($R^2 \geq 99\%$) para sementes advindas de cultivo com FBN, FBN associada a suplementação de nitrogênio aplicada nos estádio V_0 na dosagem de 50, 10 e 150 kg ha⁻¹, respectivamente (Figura 10a e 14; Tabela 3).

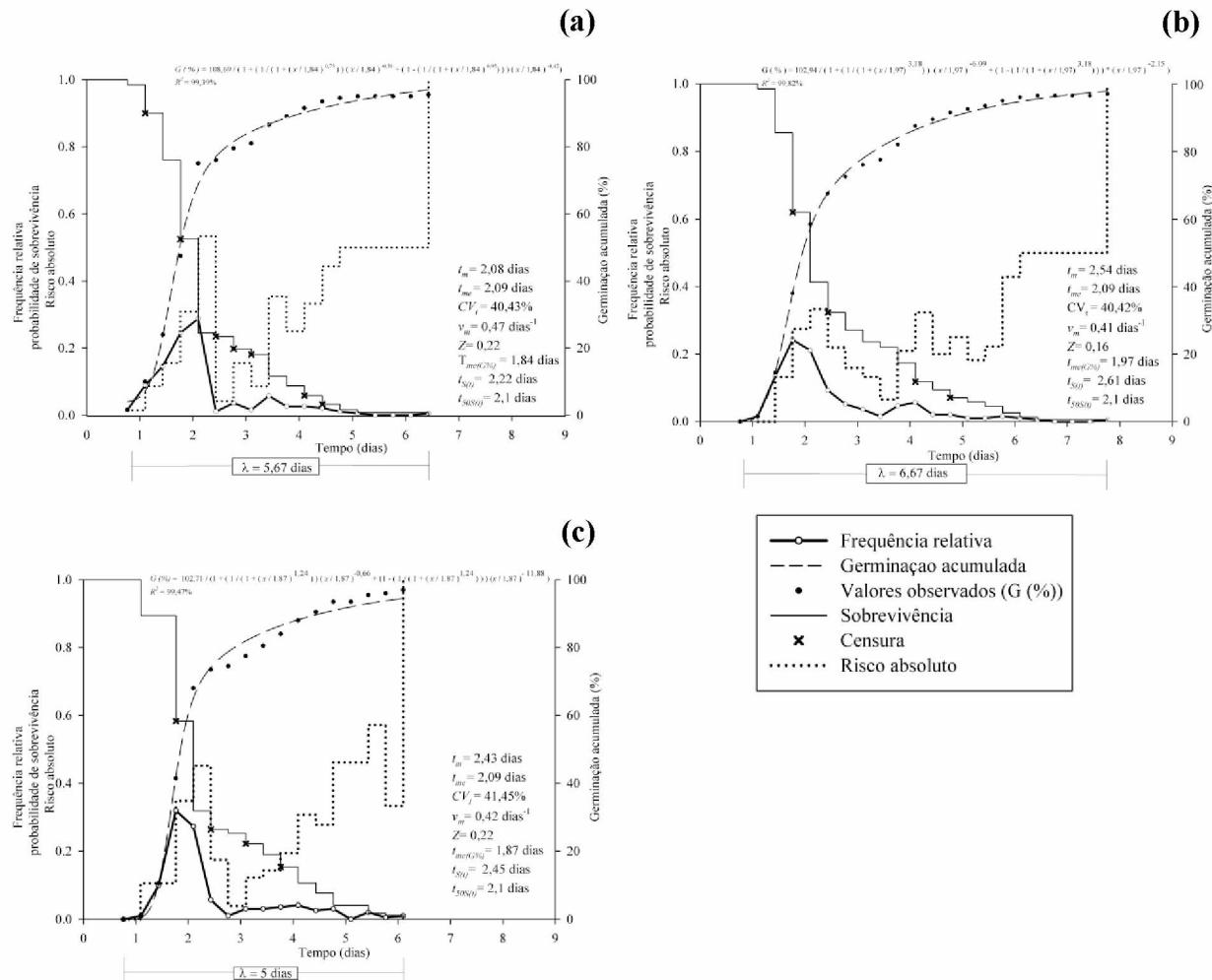


Figura 11. Dinâmica da germinação de sementes de feijão produzidas por plantas (a) inoculadas com bactérias fixadoras de nitrogênio e fertilizadas no estádio V_0 com (a) 50; (b) 100 e (c) 150 kg ha⁻¹ de nitrogênio.

O maior pico de frequência relativa da germinação foi registrado para a dose de 150 kg ha⁻¹, em torno do segundo dia. A frequência tende a oscilar, atingindo a estabilidade próxima ao quinto dia, algo comum a todos os tratamentos. Este comportamento acarretou em uma desuniformidade ($40,42 \leq CV_t \leq 41,45$), falta de sincronia ($0,16 \leq Z \leq 0,22$) do processo germinativo e uma moderada velocidade ($0,41 \leq v_m \leq 0,47$; Figura 10a e 11).

Para sementes oriundas de plantas fertilizadas com *N*-fertilizantes e em associação com bactérias nodulantes, risco de germinarem foi mais uniformes ao longo do tempo, sendo sempre crescente até próximo a 2,5 dias, ainda que o tempo para a conclusão de todo o processo tenha estendido ($5 \leq \lambda \leq 6,77$; Figura 11) em comparação com as sementes advindas de plantas somente em associação mutualística com bactérias fixadoras de nitrogênio. A maior frequência germinativa próximo ao segundo dia na dose de 50 acompanhada de abrupta queda no momento a seguir fez com que o risco das sementes germinarem próximo ao segundo dia fosse o maior dentre todos, com aproximadamente 0,56 dia⁻¹; seguido de um risco baixo, próximo a zero.

As sementes proveniente de plantas cuja aplicação do nitrogênio foi estádio *V*₂ resultaram em um processo mais curto, encerrando todo o processo em até 3 dias para aquelas sementes proveniente de plantas com 100 kg ha⁻¹ de nitrogênio. Em todos os tratamentos foram registrados um pico de frequência relativa da germinação entre 1,76 e 2,1 dias; e, para as sementes provenientes da associação entre FBN e aplicação de nitrogênio no estádio *V*₂ nas doses de 50 e 150 foi registrado pico de germinação tardivamente. Independente da dose, no período correspondente ao pico germinativo, ocorreu os maiores decréscimos das probabilidades das sementes não germinarem. Foi notório que a presença do nitrogênio culminou com uma maior probabilidade das sementes não germinarem; e mais, o incremento da dose intensificou este processo (Figura 10a e 12).

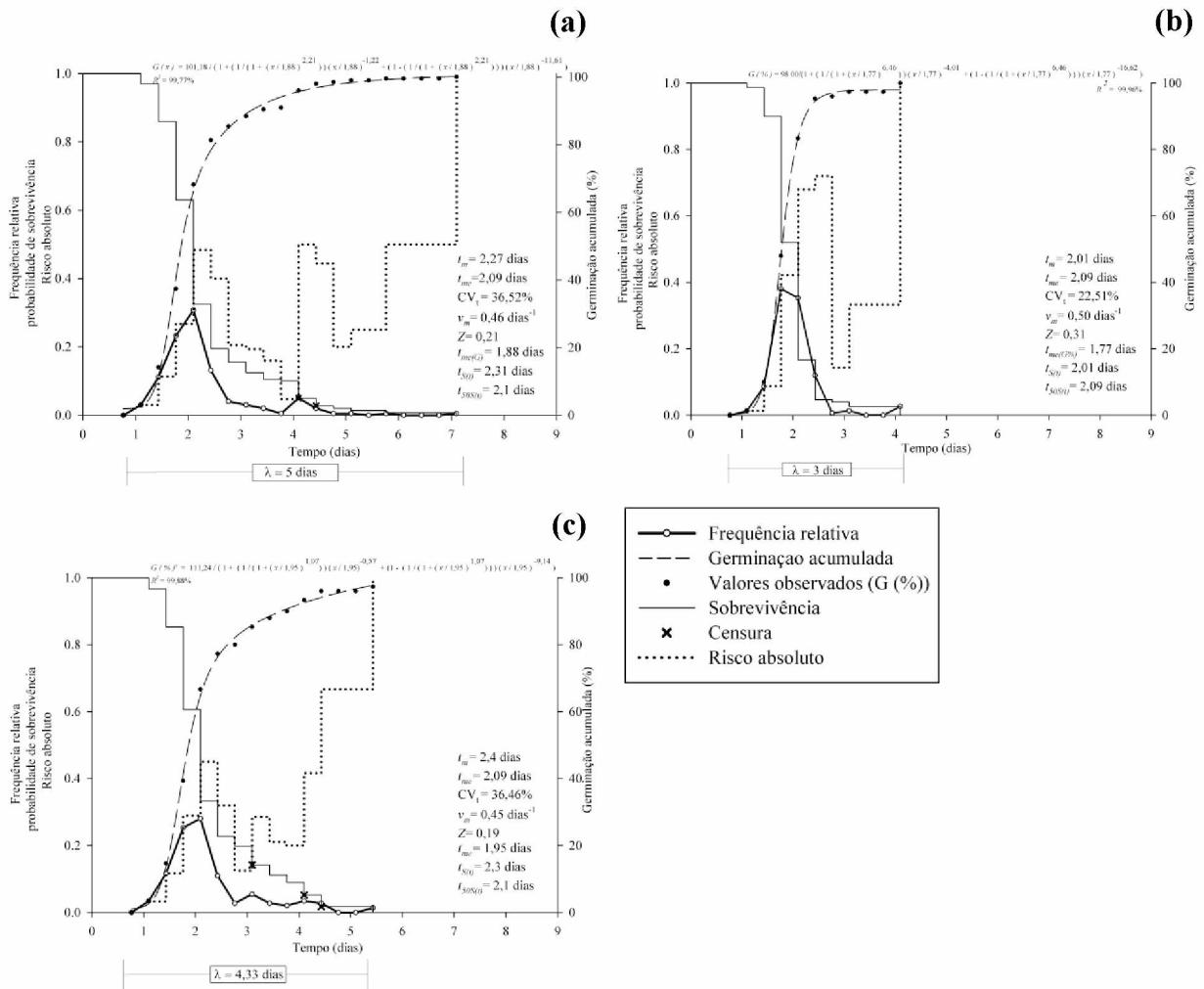


Figura 12. Dinâmica da germinação de sementes de feijão produzidas por plantas (a) inoculadas com bactérias fixadoras de nitrogênio e fertilizadas no estádio V_2 com (a) 50; (b) 100 e 150 kg ha^{-1} de nitrogênio.

Excluindo o momento final, os riscos das sementes germinarem foi ascendente, formando um único pico somente para a dose de 100 kg ha^{-1} de nitrogênio, chegando a praticamente 0,8 dias $^{-1}$ (Figura 12b). Nos demais tratamentos, a taxa de risco foi polimodal com valores máximos em torno de 0,6 dias $^{-1}$ (Figura 10a e 12b e c). Com isso, a velocidade do processo foi reduzida e, logo, os tempos medianos e medianos foram menores, aumentando a uniformidade e sincronização do processo. Os tempos medianos independente da dose de nitrogênio o mesmo foi pouco afetado, próximos a 2,09; com germinações de 66,26; 83,20; 64,63 para sementes proveniente de plantas cultivadas com doses de nitrogênio de 50; 100 e 150 kg ha^{-1} de nitrogênio aplicados no estádio V_2 (Figura 10a e 12).

Para sementes provenientes de plantas de feijão fertilizadas com nitrogênio tardiamente, estádio V_4 (Figura 10), observou-se picos germinativos maiores que a testemunha

(Figura 10a) somente na maior dose e este teve menor amplitude temporal dentre todos. As probabilidades de não germinar foram maiores na presença de nitrogênio até 2,43 dias e a partir desta data as doses de 50 e 150 kg ha⁻¹ apresentam menores probabilidades em relação à testemunha (Figura 10a e 12 e Tabela 3). Nesta ocasião, mais de 70% das sementes já haviam germinado, uma vez que o tempo mediano já havia ocorrido; pela regressão logística de quatro parâmetros ($R^2 \geq 99,72\%$) foram estimados: 84,13; 70,39 e 85,89% de germinação para sementes provenientes de plantas fertilizadas com 50; 100 e 150 kg ha⁻¹ de nitrogênio no estádio V_4 , respectivamente (Figura 13). O tempo mediano, independente do modo de cálculo foi reduzido na dose de 150 kg ha⁻¹. Este fenômeno acarretou em melhoria da sincronia, uniformidade e aumento da velocidade do processo.

A amplitude temporal do processo foi fortemente influenciada pela presença do nitrogênio reduzindo em um dia na presença da menor dose e aumentando um dia na dose intermediária de nitrogênio. Ademais, foi possível constatar, uma previsibilidade maior do processo germinativo na dose de 150 kg ha⁻¹, pela menor oscilação ao longo do tempo e maior uniformidade dos valores, acima de 0,2 dia⁻¹ (Figura 10a e 12).

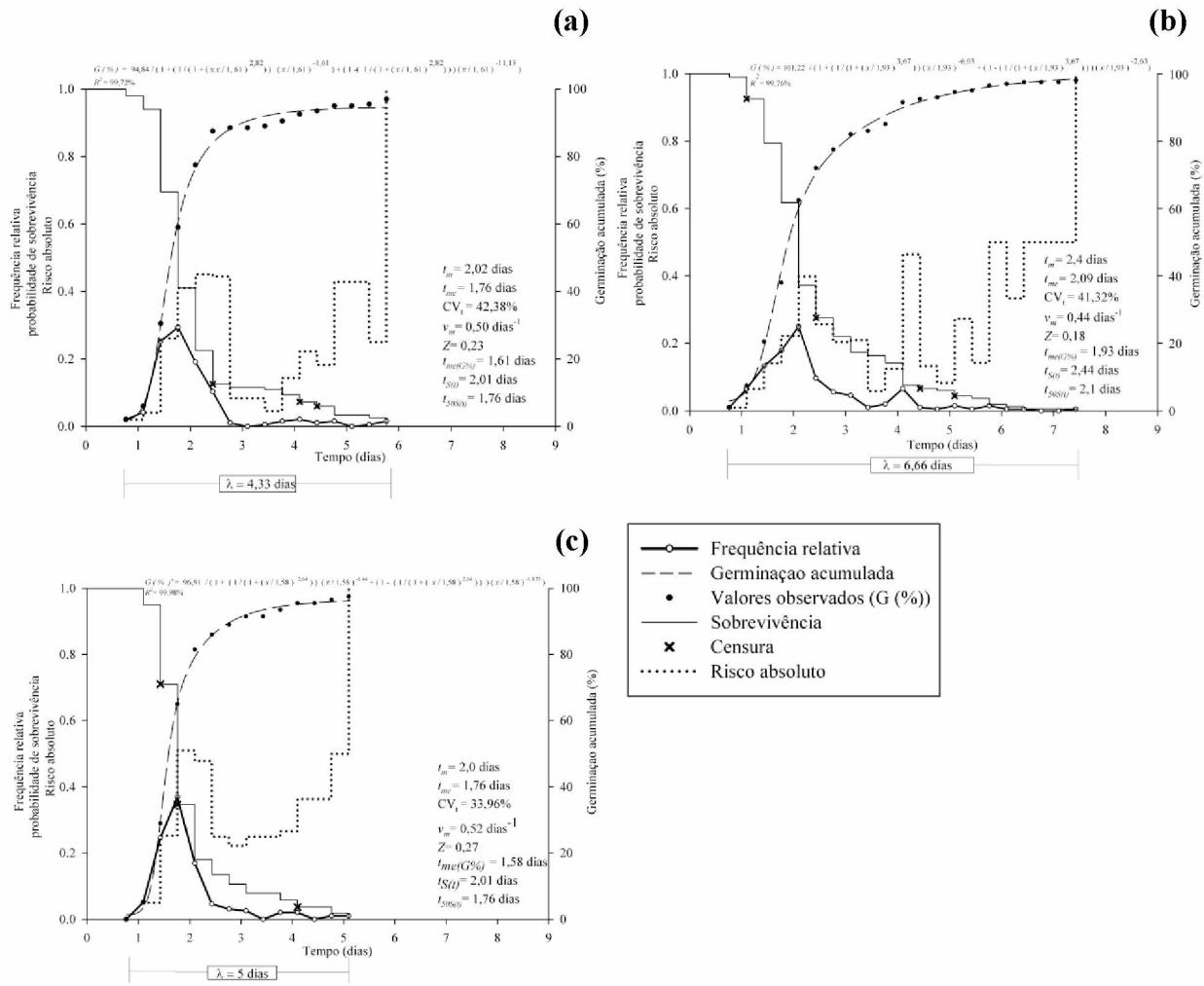


Figura 13. Dinâmica da germinação de sementes de feijão produzidas por plantas inoculadas com bactérias fixadoras de nitrogênio e fertilizadas no estádio V_4 com (a) 50; (b) 100 e 150 kg ha^{-1} de nitrogênio.

As semente proveniente de plantas que receberam unicamente nitrogênio de origem mineral no estádio V_0 (Figura 14) tiveram o processo germinativo mais longo ($5,33 \leq \lambda \leq 8$) que àquelas cultivadas sem nenhuma suplementação (Figura 10b). O prolongamento do processo germinativo foi condizente com a probabilidade das sementes sobreviverem, *i.e.*, não germinarem (Figura 10b e 14 e Tabela 3). Em todos os momentos, a probabilidade de sobrevivência das sementes advindas de cultivo fertilizado foram maiores, sobretudo para a maior e menor dose (50 e 150 kg ha^{-1} ; Tabela 14a e c). Embora a dose intermediária (Figura 14b) tenha o processo germinativo mais longo ($\lambda=8$ dias), as probabilidades de não germinar a partir do tempo médio (próximo 2,1 dias e ao pico germinativo), são menores que a do tratamento sem nitrogênio (Figura 10b). Salienta-se que isso ratifica o uso conjunto das curvas e medidas de germinação.

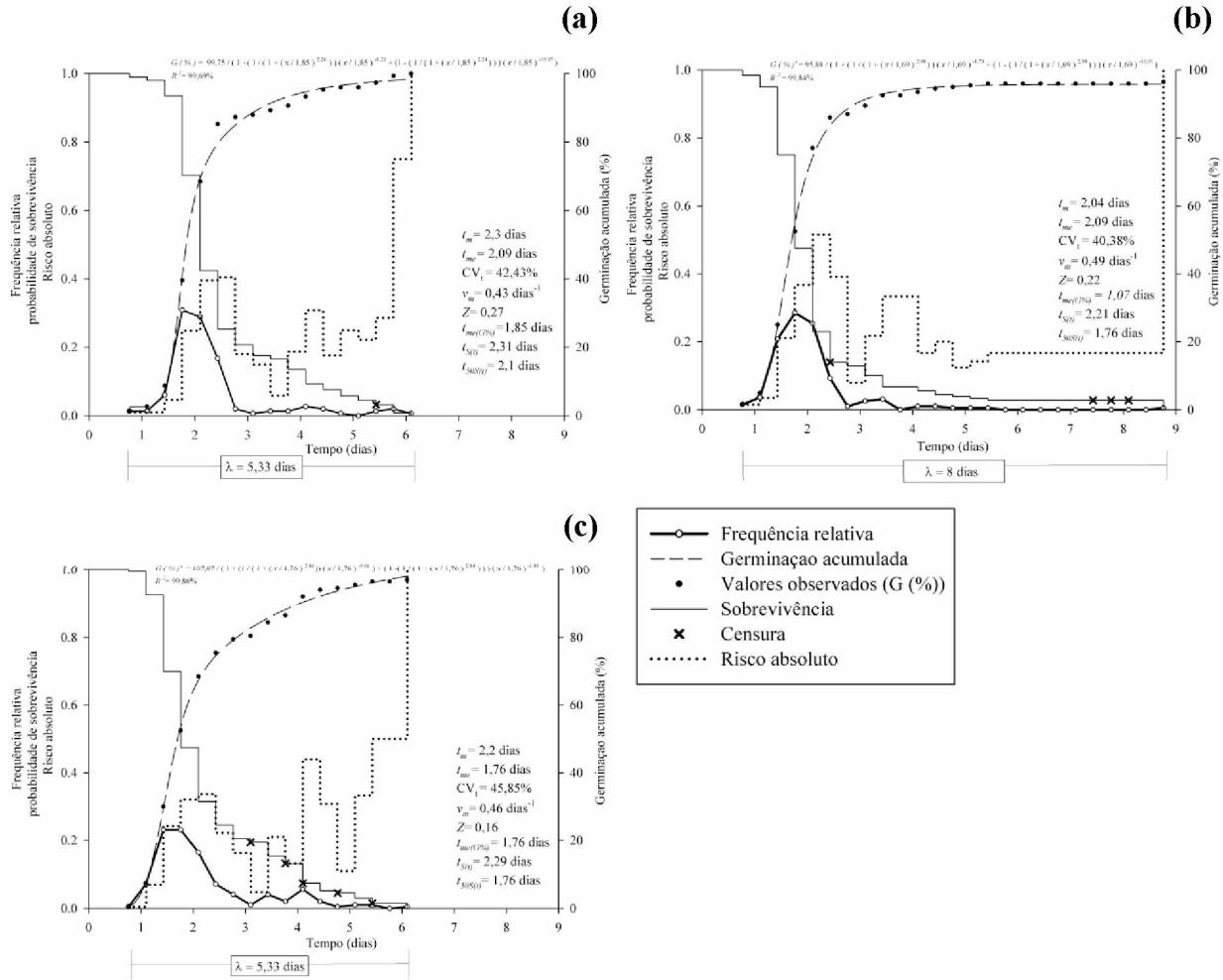


Figura 14. Dinâmica da germinação de sementes de feijão produzidas por plantas fertilizadas no estádio V_0 com (a) 50; (b) 100 e (c) 150 kg ha⁻¹ de nitrogênio.

A maior proporção germinativa das sementes da dose intermediária (74%) foi decorrente das chances crescentes das sementes germinarem até o tempo médio ($t_m=2,08$ dias), com $h(t) \approx 0,5$ dias⁻¹. Consequentemente, o processo germinativo praticamente estabilizou, embora as sementes remanescentes ainda tivessem chances relevantes de germinarem entre o terceiro e quarto dia ($h(t) \approx 0,35$ dias⁻¹) (Figura 14b).

A fertilização nitrogenada no estádio V_2 na ausência da suplementação acarretou na produção de sementes cujo processo germinativo estendeu-se ao longo do tempo ($5,33 \leq \lambda \leq 6,33$ dias), exceto para a dose de 100 kg ha⁻¹, a qual foi equivalente à ausência de fertilização ($\lambda=4,67$ dias). Pela frequência relativa, foi notória a similaridade do processo independente da dose de nitrogênio, com um pico proeminente em torno do segundo dia (frequência relativa), com germinações acumuladas nesta ocasião de 59,30; 71,48 e 67,79% ($R^2 \geq 99,70\%$) para sementes provindas de plantas cultivadas com nitrogênio na dose de 50, 100 e 150 kg ha⁻¹ aplicados em $V2$ (Figura 10b e 15). Picos menores próximos ao quarto dia

também foram registados na frequência relativa, próximo à estabilidade do processo (germinação acumulada), e esse acréscimo imprevisível de germinação fez com que a taxa de risco fosse desuniforme ao longo do processo. Esses picos tardios somente não foram registrados para sementes produzidas por plantas fertilizadas com 100 kg ha⁻¹ (Figura 10b e 18). Por este motivo, a velocidade do processo deste aumentou, atingindo 0,51 dia⁻¹. Consequentemente, foi a única dose que reduziu os tempos médios dados pela análise de sobrevivência e pelos momentos, e concentrou o processo, tendo uma redução na dispersão de aproximadamente 9% ($CV_t=29,42\%$), além de apresentar-se um processo mais previsível (a partir de 1,43 dia $h(t) \geq 0,2$ dia-1) (Figura 15b). Também houve a redução do tempo mediano estimado pela regressão logística de quatro parâmetros ($R^2=99,97\%$). Para os demais, uso do nitrogênio acometeu em retardo do tempo para o processo germinativo atingir 50% do seu potencial total ($1,76 \leq t_{me} \leq 2,09$ dias e $t_{50S(t)}= 2,1$ dias). Este retardo foi devido da menor probabilidade das sementes germinarem nos tempo iniciais do processo, até 2,1 dias e a baixa chance das sementes germinarem ao longo do processo, com $h(t)$ próximo a 0,1 dia-1. Cabe salientar, que as probabilidades de não germinar das sementes advindas por plantas fertilizadas com 100 kg ha⁻¹ no estádio V_2 foram menores durante todo o processo (Figura 15).

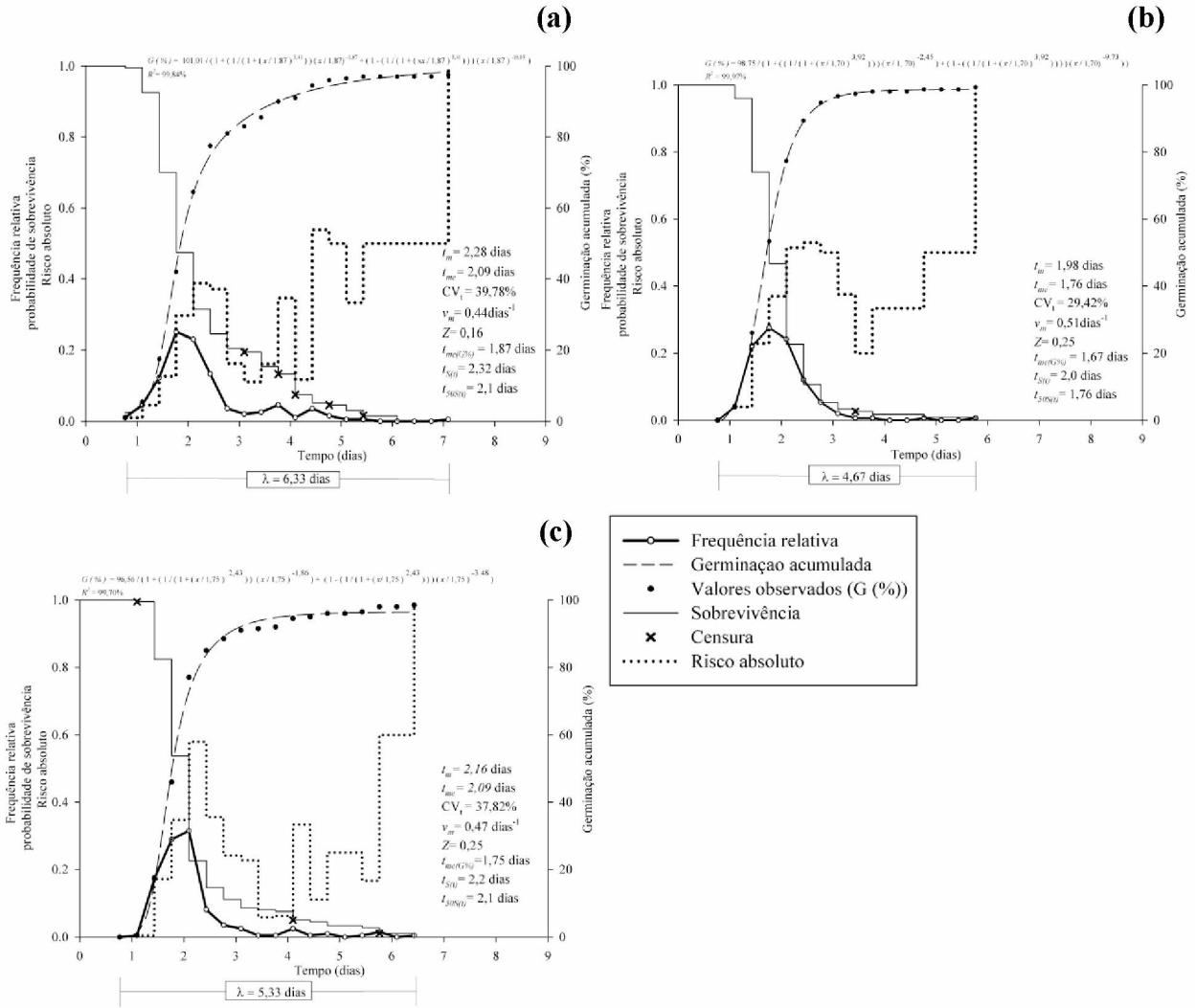


Figura 15. Dinâmica da germinação de sementes de feijão produzidas por plantas fertilizadas no estádio V_2 com (a) 50; (b) 100 e (c) 150 kg ha⁻¹ de nitrogênio.

A suplementação tardia, no estádio V_4 , em plantas de feijoeiro que não estavam em associação simbiótica com bactérias fixadoras de nitrogênio não alterou o modelo de incremento das germinações das sementes produzidas, que independente da dose foi do tipo logístico com quatro parâmetros ($R^2 \geq 99,66\%$) com grandes incrementos incialmente, tendendo à estabilidade posteriormente. De fato, esse comportamento foi confirmado pela frequência relativa da germinação. O pico germinativo iniciou precocemente e se estendeu próximo ao terceiro dia, atingindo em torno de 0,35 (Figura 10b e 16a e c), exceto para sementes oriundas de plantas cujo aporte de nitrogênio foi somente com fertilização no estádio V_4 com 100 kg ha⁻¹ em que o pico foi limítrofe a 0,2. Esta menor frequência fez com que a germinação se estendesse ($\lambda = 7,67$ dias) (Figura 16b).

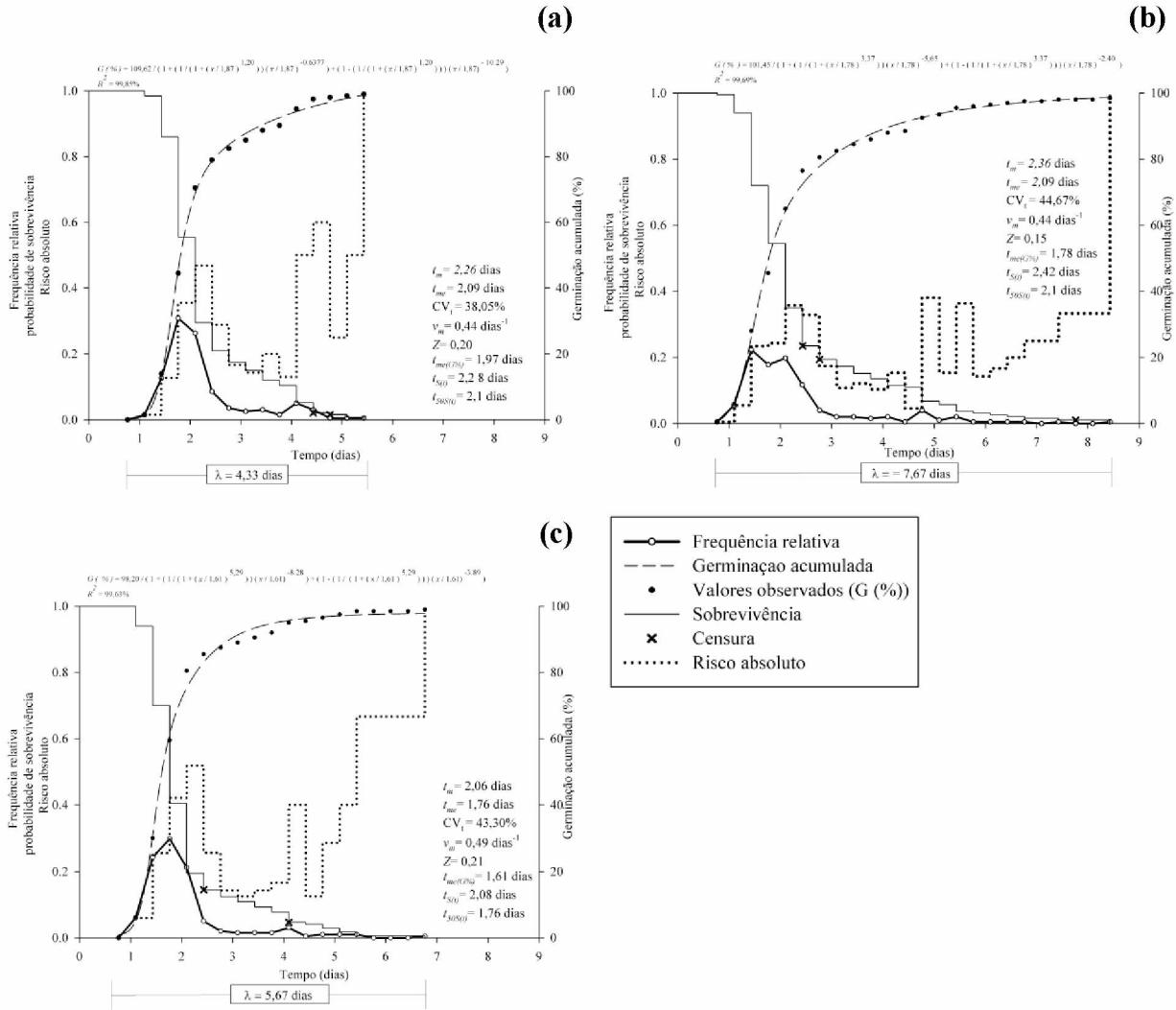


Figura 16. Dinâmica da germinação de sementes de feijão produzidas por plantas (a) fertilizadas no estádio V_4 com (a) 50; (b) 100 e (c) 150 kg ha^{-1} de nitrogênio.

Um comportamento que foi peculiar às sementes oriundas de plantas cujo aporte de nitrogênio foi somente com fertilização nitrogenada no estádio V_4 com 100 kg ha^{-1} foi a presença dois picos germinativos secundários e menores, ao invés de um, entre o quarto e quinto dia (Figura 16b). Esse comportamento fez com que a sincronia das sementes fosse inferior ($Z=0,15$) e as chances das sementes germinarem fosse menor ao longo do tempo, exceto nestas ocasiões, em comparação com as sementes oriundas de plantas não fertilizadas; embora, ao analisar todos os valores ao longo do processo constata-se que estes foram mais próximos entre si, ou seja, mais uniformes (Figura 10b e 17b). As doses 50 e 150 kg ha^{-1} de nitrogênio acarretou, próximo ao segundo e quarto dia e ao segundo dia, respectivamente, em picos de taxa de risco ($h(t) \geq 0,4$ dias⁻¹).

A presença de nitrogênio fez com que a probabilidade das sementes não germinar fossem maiores (Figura 10b e 17). Inicialmente as sementes produzidas por plantas

fertilizadas com a menor dose apresentavam-se com as maiores probabilidades de não germinarem, mas a partir de 2,1 dias as da dose intermediaria apresentavam-se com maior resistência à germinação, permanecendo-se assim até o fim do processo, seguida da maior dose (Figura 10b e 17 e Tabela 4). Ainda que tenham sido constadas todas essas diferenças, os tempos médio e mediano, dado pelo momento e pela sobrevivência, e a velocidade de todas as amostras de sementes foram próximos ($2,06 \leq t_m \leq 2,26$ dias; $1,76 \leq t_{me} \leq 2,096$ dias; $2,08 \leq t_{S(t)} \leq 2,42$ dias; $1,76 \leq t_{50S(t)} \leq 2,01$ dias e $0,44 \leq v_m \leq 0,49$ dias⁻¹).

A maior amplitude do processo germinativo para sementes advinda de plantas fertilizadas com doses de 100 e 150 kg ha⁻¹ de nitrogênio (λ de 7,67 e 5,67 dias), resultou em uma maior heterogeneidade em torno do tempo médio (CV_t de 44,67 e 43,30%, respectivamente) e redução no tempo mediano estimado pela regressão logística de quatro parâmetros ($t_{meG(\%)}$ de 1,78 e 1,61 dias) (Figura 10b e 17).

Em relação às épocas de aplicação da dose 50 kg ha⁻¹ de nitrogênio, a aplicação tardia (V_4) gerou sementes que resultaram em frequência germinativa com pico mais alto (próximo a 0,4) e com uma calda com maiores valores. Para essas sementes e aquelas produzidas na mesma condição e associadas à fixação biológica de nitrogênio, a aplicação de nitrogênio acarretou em maior probabilidade das sementes não germinarem (Figura 10a, 10b, 11a, 12a, 13a, 14a, 15a, 16a e Tabela 4), o que não afetou o processo germinativo, que seguiu o mesmo modelo, o logístico com quatro parâmetros. Embora as probabilidades das sementes produzidas nos diferentes estádios germinarem fossem distintas entre si e entre os tempos avaliados (Figura 10a, 10b, 11a, 12a, 13a, 14a, 15a, 16a e Tabela 3).

Tabela 3. Probabilidade de sobrevivência por Kaplan-Meier ($P=S(t)$) e respectivos intervalos de confiança a 95%, em cada tempo da germinação de sementes de feijão, oriunda de plantas submetidas a variação de manejos de fertilização nitrogenada.

Descrição dos tratamentos	Trat	'Estatística	Tempo (dia)																									
			0,76	1,1	1,43	1,76	2,1	2,43	2,76	3,1	3,43	3,76	4,1	4,43	4,76	5,1	5,43	5,76	6,1	6,43	6,76	7,1	7,43	7,76	8,43	8,76		
FBN (controle)	19	<i>P</i>	0,97	0,84	0,60	0,28	0,18	0,15	0,13	0,11	0,08	0,06	0,05	0,04	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00								
		$IC_{inf.}$ 95%	0,95	0,79	0,53	0,21	0,13	0,10	0,09	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
		$IC_{sup.}$ 95%	0,99	0,89	0,66	0,34	0,23	0,20	0,18	0,15	0,11	0,10	0,08	0,06	0,05	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00								
s/FBN (testemunha)	20	<i>P</i>	0,91	0,70	0,45	0,27	0,18	0,15	0,13	0,12	0,11	0,08	0,05	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00										
		$IC_{sup.}$ 95%	0,86	0,64	0,38	0,21	0,12	0,10	0,09	0,08	0,07	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
		$IC_{sup.}$ 95%	0,95	0,76	0,52	0,33	0,23	0,20	0,18	0,17	0,16	0,12	0,08	0,06	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
50	1	<i>P</i>	0,99	0,90	0,76	0,53	0,24	0,23	0,20	0,18	0,12	0,09	0,06	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00							
		$IC_{inf.}$ 95%	0,97	0,86	0,70	0,46	0,18	0,18	0,14	0,13	0,07	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
		$IC_{sup.}$ 95%	1,00	0,94	0,82	0,59	0,30	0,29	0,25	0,24	0,16	0,13	0,09	0,06	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00							
V_0	100	<i>P</i>	0,99	0,86	0,62	0,41	0,32	0,27	0,24	0,22	0,17	0,12	0,09	0,07	0,06	0,05	0,03	0,01	0,01	0,00								
			$IC_{inf.}$ 95%	0,97	0,81	0,55	0,34	0,26	0,21	0,18	0,16	0,12	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
		$IC_{sup.}$ 95%	1,00	0,90	0,69	0,48	0,39	0,33	0,29	0,28	0,23	0,16	0,14	0,11	0,09	0,08	0,05	0,03	0,02	0,00								
150	3	<i>P</i>	0,89	0,58	0,32	0,26	0,25	0,22	0,19	0,15	0,11	0,08	0,04	0,04	0,04	0,02	0,01	0,00										
		$IC_{inf.}$ 95%	0,85	0,51	0,25	0,20	0,19	0,16	0,14	0,10	0,06	0,04	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00								
		$IC_{sup.}$ 95%	0,94	0,65	0,38	0,33	0,31	0,28	0,25	0,20	0,15	0,12	0,07	0,07	0,07	0,04	0,03	0,00										
50	4	<i>P</i>	0,97	0,86	0,63	0,33	0,20	0,16	0,13	0,11	0,10	0,05	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00							
		$IC_{inf.}$ 95%	0,95	0,81	0,56	0,26	0,14	0,10	0,08	0,06	0,06	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
		$IC_{sup.}$ 95%	0,99	0,91	0,70	0,39	0,25	0,21	0,17	0,15	0,14	0,08	0,05	0,04	0,04	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00							
FBN	V_2	<i>P</i>	0,99	0,90	0,52	0,17	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,00																
			$IC_{inf.}$ 95%	0,97	0,85	0,44	0,11	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00																
		$IC_{sup.}$ 95%	1,00	0,95	0,60	0,23	0,08	0,07	0,05	0,05	0,05	0,00																
150	6	<i>P</i>	0,97	0,85	0,61	0,33	0,23	0,20	0,14	0,11	0,09	0,05	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00											
		$IC_{inf.}$ 95%	0,94	0,80	0,53	0,26	0,16	0,13	0,09	0,06	0,04	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00								
		$IC_{sup.}$ 95%	1,00	0,91	0,68	0,41	0,29	0,26	0,20	0,16	0,14	0,09	0,04	0,04	0,04	0,00												
50	7	<i>P</i>	0,98	0,94	0,70	0,41	0,23	0,13	0,11	0,11	0,09	0,07	0,06	0,03	0,03	0,03	0,00											
		$IC_{inf.}$ 95%	0,96	0,91	0,63	0,34	0,17	0,08	0,07	0,07	0,05	0,04	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00								
		$IC_{sup.}$ 95%	1,00	0,97	0,76	0,48	0,28	0,17	0,16	0,15	0,13	0,11	0,09	0,06	0,06	0,06	0,05	0,00										
V_4	100	<i>P</i>	0,99	0,93	0,79	0,62	0,37	0,28	0,22	0,17	0,16	0,14	0,08	0,07	0,06	0,04	0,04	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00						
			$IC_{inf.}$ 95%	0,98	0,89	0,74	0,55	0,30	0,21	0,16	0,12	0,11	0,09	0,04	0,03	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
		$IC_{sup.}$ 95%	1,00	0,96	0,85	0,69	0,44	0,34	0,28	0,23	0,22	0,19	0,11	0,10	0,09	0,07	0,07	0,04	0,03	0,02	0,02	0,00						
150	9	<i>P</i>	0,95	0,71	0,35	0,18	0,14	0,11	0,08	0,06	0,04	0,04	0,04	0,02	0,02	0,02	0,00											
		$IC_{inf.}$ 95%	0,92	0,65	0,28	0,13	0,09	0,06	0,04	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00											
		$IC_{sup.}$ 95%	0,98	0,77	0,41	0,23	0,18	0,15	0,12	0,09	0,06	0,06	0,04	0,04	0,04	0,00												

Continua...

...Continuação

			P	0,99	0,98	0,93	0,70	0,42	0,25	0,21	0,18	0,17	0,13	0,09	0,08	0,06	0,04	0,03	0,01	0,00	
50	10	$IC_{inf.}$ 95%	0,98	0,96	0,90	0,64	0,36	0,19	0,15	0,12	0,11	0,09	0,05	0,04	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00		
		$IC_{sup.}$ 95%	1,00	1,00	0,97	0,77	0,49	0,31	0,26	0,23	0,22	0,18	0,13	0,11	0,09	0,08	0,06	0,02	0,00		
		P	0,99	0,95	0,75	0,48	0,23	0,14	0,13	0,10	0,07	0,07	0,06	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,00	
V_θ	100	$IC_{inf.}$ 95%	0,97	0,92	0,69	0,41	0,17	0,09	0,08	0,06	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	
		$IC_{sup.}$ 95%	1,00	0,98	0,81	0,54	0,29	0,19	0,18	0,14	0,10	0,10	0,09	0,07	0,07	0,06	0,05	0,05	0,05	0,00	
		P	1,00	0,93	0,70	0,48	0,32	0,25	0,21	0,20	0,15	0,13	0,07	0,05	0,05	0,03	0,02	0,02	0,00		
150	12	$IC_{inf.}$ 95%	0,99	0,89	0,64	0,41	0,25	0,19	0,15	0,14	0,10	0,09	0,04	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00		
		$IC_{sup.}$ 95%	1,00	0,96	0,76	0,54	0,38	0,30	0,26	0,25	0,20	0,18	0,11	0,08	0,08	0,06	0,04	0,04	0,00		
		P	0,99	0,95	0,83	0,58	0,36	0,22	0,19	0,17	0,14	0,09	0,08	0,04	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	
50	13	$IC_{inf.}$ 95%	0,98	0,91	0,77	0,51	0,29	0,17	0,13	0,11	0,09	0,05	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
		$IC_{sup.}$ 95%	1,00	0,98	0,88	0,65	0,42	0,28	0,24	0,22	0,19	0,13	0,12	0,07	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,00	
		P	0,96	0,74	0,47	0,23	0,11	0,05	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00			
s/FBN	V_2	100	14	$IC_{inf.}$ 95%	0,93	0,67	0,39	0,16	0,06	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
				$IC_{sup.}$ 95%	0,99	0,81	0,55	0,29	0,16	0,09	0,06	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,00		
				P	0,96	0,74	0,47	0,23	0,11	0,05	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00			
150	15	V_2	14	$IC_{inf.}$ 95%	0,99	0,77	0,47	0,17	0,10	0,07	0,05	0,04	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	
				$IC_{sup.}$ 95%	1,00	0,88	0,61	0,28	0,19	0,15	0,12	0,12	0,11	0,08	0,07	0,06	0,06	0,05	0,03	0,00	
				P	1,00	0,82	0,54	0,23	0,15	0,11	0,09	0,08	0,08	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,01	0,01	0,00
50	16	V_4	17	$IC_{inf.}$ 95%	0,97	0,81	0,49	0,23	0,15	0,12	0,10	0,08	0,06	0,02	0,00	0,00	0,00				
				$IC_{sup.}$ 95%	1,00	0,91	0,62	0,36	0,27	0,23	0,20	0,17	0,15	0,08	0,04	0,03	0,02	0,00			
				P	1,0	0,94	0,72	0,55	0,35	0,24	0,19	0,17	0,15	0,14	0,11	0,11	0,07	0,06	0,04	0,03	0,02
V_4	100	17	17	$IC_{inf.}$ 95%	0,9	0,91	0,66	0,48	0,28	0,18	0,14	0,12	0,10	0,09	0,07	0,07	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00
				$IC_{sup.}$ 95%	1,0	0,97	0,78	0,61	0,42	0,29	0,25	0,23	0,20	0,18	0,16	0,15	0,10	0,09	0,06	0,05	0,03
				P	0,94	0,70	0,41	0,20	0,15	0,12	0,11	0,09	0,08	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00
150	18	V_4	18	$IC_{inf.}$ 95%	0,91	0,64	0,34	0,14	0,10	0,08	0,07	0,05	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
				$IC_{sup.}$ 95%	0,97	0,76	0,47	0,25	0,19	0,17	0,15	0,13	0,12	0,08	0,07	0,05	0,04	0,02	0,02	0,02	
				P	0,94	0,70	0,41	0,20	0,15	0,12	0,11	0,09	0,08	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00

¹P: Probabilidade de sobrevivência no tempo “ t ”; $IC_{sup.}$ e $IC_{inf.}$: Limites inferior e superior, respectivamente, dos intervalos de confiança estimados utilizando-se da distribuição t de “Student” a 0,05 de significância. Sobreposição de intervalos de confiança indica que as probabilidades em análise não diferem entre si. O Valor 0,00 corresponde a P ou $IC < 0,01$.

Com uma dose maior de nitrogênio mineral, igual a 100 kg ha^{-1} , foi notório que a aplicação no estádio V_2 reduziu a extensão do processo germinativo para 4,67 e 3 dias para sementes advindas de plantas sem e com fixação biológica de nitrogênio, respectivamente. Por esse motivo, a probabilidade das sementes não germinarem reduziram drasticamente e as taxas de risco foram as maiores (Figura 10a, 10b, 11b, 12b, 13b, 14b, 15b, 19b). A entender, para as sementes produzidas sem fixação biológica, as taxas de risco foram mais estáveis ($h(t) > 0,2 \text{ dias}^{-1}$) e a probabilidade das sementes não germinarem próximo ao segundo dia (tempo médio) era de 0,23; e para as produzidas com fixação biológica, devido a um alto valor da taxa de risco ($h(t) \approx 0,8 \text{ dias}^{-1}$), a probabilidade de não germinação nesta ocasião foram de 0,17 (Figura 10a, 10b, 11b, 12b, 13b, 14b, 15b, 16b e Tabela 3). Ademais, o aporte de nitrogênio bacteriano às plantas intensificou esta redução do processo germinativo em até um dia, independente da época de aplicação do nitrogênio mineral (Figura 10a, 10b, 11b, 12b, 13b, 14b, 15b, 16b).

O impacto na probabilidade de não germinação das sementes produzidas por plantas fertilizadas 150 kg ha^{-1} aplicados nos estádios V_0 , V_2 e V_4 (Figura 10b, 14c, 15c e 16c e Tabela 3) foi baixo; embora a frequência germinativa inicial das sementes produzidas nos estádios mais tardios (V_2 e V_4) fosse maior (próximo a 0,4) e com picos tardios menores, o que acarretou em um platô da curva de germinação acumulada próximo ao segundo dia. Com grandezas distintas para cada estádio, a taxa de risco apresentou comportamento similar. Em geral, as maiores taxas foram registradas para sementes advindas de plantas cujo fertilizante nitrogenado foi aplicado nos estádios V_2 ou V_4 ; embora os picos tardios da germinação fizessem com que a taxa de risco nestas ocasiões fossem inflacionadas para sementes frutos de plantas fertilizadas em V_2 (Figura 10b, 14c, 15c e 16c). Em contraste, as sementes advindas de plantas com mesma fertilização, porém em simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio, além de terem um processo mais curto ($4,33 \leq \lambda \leq 5$), todavia não alterando as demais medidas de tempo, apresentaram probabilidades de não germinarem inferiores (Figura 10a, 10b, 11c, 12c e 13c, 14c, 15c e 16c, Tabela 3) maiores e mais frequentes picos de frequência germinativa (Figura 10a, 11c, 12c e 13c). Esse comportamento da frequência germinativa acarretou em sementes com alta chance de germinação ainda no momento inicial do processo, que foram crescentes até próximo ao tempo médio e mediano, ênfase para sementes produzidas por fertilização no estádio V_4 ($h(t) \approx 0,6 \text{ dia}^{-1}$). Ainda sobre a chance das sementes germinarem, nessas sementes foram observadas no terço final do processo chances altas e

crescentes de germinação, sobretudo para as sementes advindas da fertilização no estádio V_2 ($h(t) < 0,4 \text{ dia}^{-1}$ para tempos maiores que 4,1 dia) (Figura 10a, 11c, 12c e 13c).

A probabilidade da semente não germinar ao longo do tempo decresceu de modo desproporcional entre os tratamentos (Figura 17a). Ao menos um par de curvas de probabilidade de sobrevivência difere entre si (Tabela 4). Em geral, parece que o manejo da fertilização nitrogenada tem maior impacto sobre o arranquio do processo germinativo, pois houve maior diferença entre a probabilidade no inicio do processo que no término, visto que 27 pares de curvas diferiram pelo teste de Holm-Sidak feito após Gehan-Breslow, ao passo que a 17 foram apontadas após o teste de Log-Rank (Tabela 4).

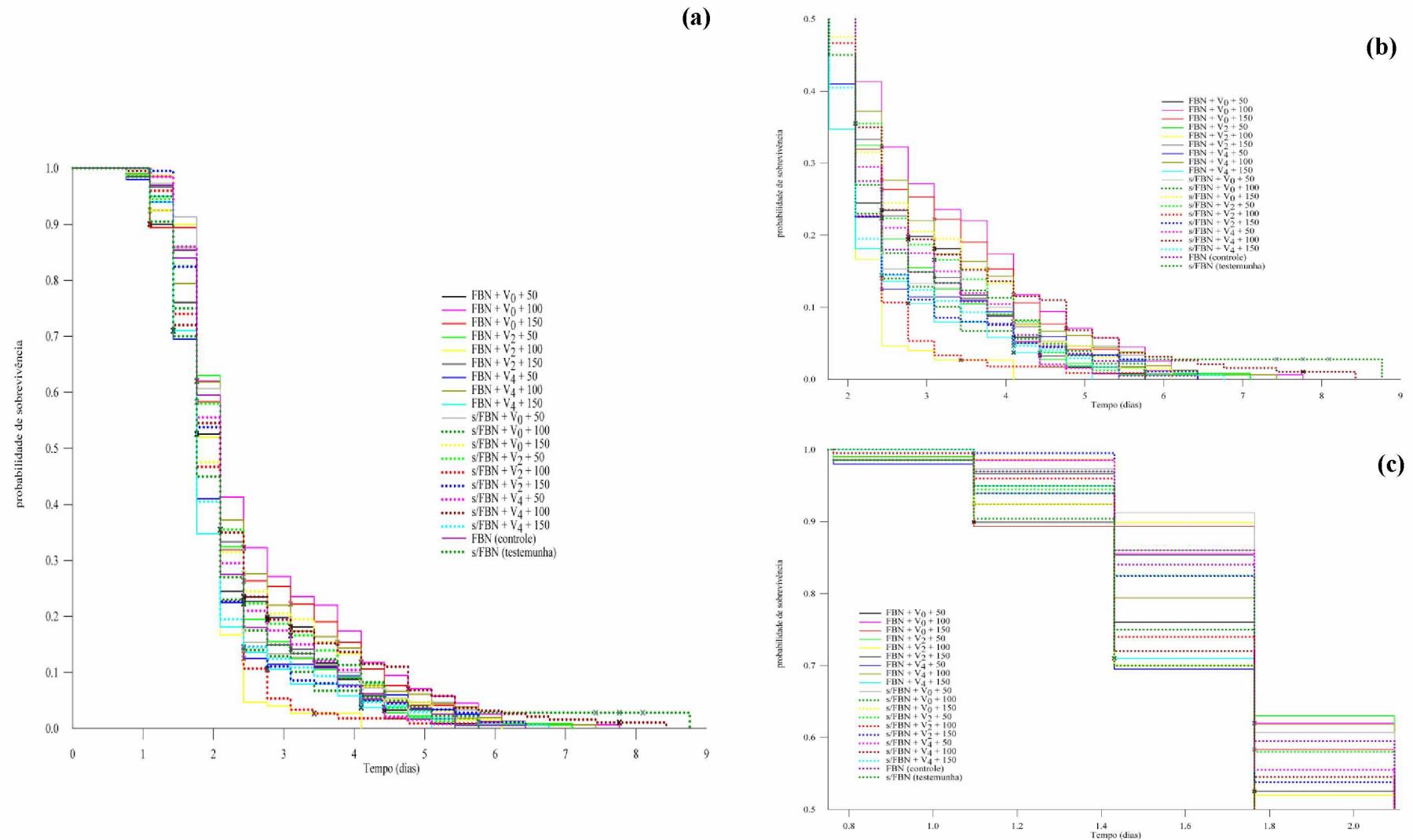


Figura 17. Analise de sobrevivência de sementes de feijão produzidas por diferentes manejos de fertilização nitrogenada. a: processo germinativo completo; b parte inicial; e c parte final do processo germinativo.

O desdobramento do teste de Gehan-Breslow, por meio Holm-Sidak, revelou que as diferenças não seguiram um padrão (Tabela 4). Sementes provenientes de plantas em associação biológica com bactérias fixadoras de nitrogênio e fertilizadas em V_0 com 50 kg ha⁻¹ de nitrogênio apresentam probabilidade de sobrevivência similar àquelas oriundas de plantas submetidas aos demais manejos de fertilização nitrogenada. Por outro lado, sementes produzidas por plantas unicamente fertilizadas com 150 kg ha⁻¹ de nitrogênio no estádio V_4 foram as que apresentaram maior dissimilaridade.

O mutualismo com bactéria fixadora de nitrogênio reflete em mudanças na probabilidade de não germinar das sementes, pois sementes produzidas por plantas fertilizadas com 100 kg ha⁻¹ de nitrogênio no estádio V_0 em associação simbiótica de nitrogênio também se destacam quanto as discrepâncias em relação a probabilidade de sobrevivência (Tabela 3). Ainda foram observadas diferenças entre as curvas de sobrevivência geradas por sementes produzidas com fixação biológica de nitrogênio para as dose de 100 kg ha⁻¹ de nitrogênio mineral no estádio V_4 em contraste com as produzidas somente por 50 kg ha⁻¹ aplicados nos estádio V_0 , V_2 e V_4 .

Tabela 4. Comparação emparelhada das probabilidades da germinação de sementes de feijão, oriunda de plantas submetidas variação de manejos de fertilização nitrogenada, usando o método de Holm-Sidak, posterior aos teste de Gehan-Breslow e Log-rank.

Descrição dos tratamentos	Trat	²Tratamentos																				Teste Log-Rak: 90,59	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
	50	1	-	10,41	5,16	1,20	4,02	0,66	1,28	3,87	5,99	1,8	0,5	0,13	5,49	5,97	0,01	0,35	2,40	2,41	0,59	0,29	
V0	100	2	10,69	-	1,27	5,61	27,69	5,73	18,82	1,51	32,43	3,32	12,1	7,71	5,49	29,84	11,45	8,82	1,84	23,42	7,97	13,72	
	150	3	4,72	1,19	-	1,38	17,65	2,11	10,8	$2,3e^{-3}$	23,98	0,35	6,89	3,21	1,53	19,95	4,73	3,90	0,1	14,74	2,44	7,4	
FBN	50	4	4,71	2,12	$6,1e^{-3}$	-	13,08	0,01	6,31	1,23	15,15	0,05	3,59	0,39	0,01	13,04	2,26	0,34	0,37	9,65	0,36	2,7	
	V2	100	5	$2,2e^{-3}$	12,89	9,42	$9,3e^{-4}$	-	11,76	$5,8e^{-4}$	16,87	1,22	11,92	0,56	4,2	12,59	0,08	2,71	8,84	9,20	0,13	8,12	27,7
	150	6	3,49	1,92	5,60	10,05	6,34	-	4,04	1,31	12,13	0,22	3,18	0,14	0,05	11,37	1,38	0,16	0,38	6,82	0,12	5,73	
	50	7	2,90	25,56	0,27	4,99	0,97	$3,13e^{-3}$	-	10,09	1,35	7,76	0,61	1,7	5,16	0,26	2,28	3,10	6,87	0,25	3,95	0,27	
V4	100	8	4,17	1,53	11,33	0,097	0,19	7,84	16,47	-	19,77	0,62	5,6	2,35	1,18	18,19	4,98	2,74	0,07	13,39	2,72	6,2	
	150	9	4,17	34,51	3,77	11,9	4,20	3,9	1,28	0,05	-	16,6	3,13	6,78	13,27	0,1	7,53	11,28	13,42	0,61	12,44	2,84	
	50	10	4,37	1,59	0,92	4,21	1,54	0,06	1,66	8,39	24,8	-	3,73	1,15	0,09	11,58	2,24	1,13	0,05	10,50	0,81	4,08	
V0	100	11	0,565	17,49	1,50	0,65	0,16	9,77	12,52	4,15	3,44	9,28	-	0,77	3,32	1,63	0,26	2,13	2,51	1,52	1,79	$5,9e^{-3}$	
	150	12	0,05	11,60	18,06	1,26	2,54	3,115	0,56	0,24	3,48	5,1	0,16	-	0,301	6,38	0,06	$9,8e^{-3}$	1,33	3,32	0,08	0,69	
s/FBN	50	13	2,86	3,03	0,77	19,48	0,67	0,403	6,66	10,38	18,82	0,11	6,86	3,2	-	12,34	1,88	0,39	0,44	8,13	0,26	2,44	
N	V2	100	14	1,26	20,38	10,12	0,78	6,17	1,032	12,32	3,61	1,87	10,8	0,12	0,68	8,55	-	4,10	9,66	10,62	0,13	8,93	1,84
	150	15	0,25	9,86	0,01	10,43	2,75	15,1	5,61	0,67	12,09	3,91	1,87	0,72	2,24	2,81	-	0,50	2,43	3,61	0,553	0,509	
	50	16	2,18	4,29	5,89	7,13	1,69	0,51	0,02	1,24	19,68	0,72	5,94	3,12	0,13	7,73	1,34	-	1,25	5,77	0,04	1,06	
V4	100	17	0,65	5,87	0,06	$2,2e^{-3}$	5,35	8,23	11,7	15,33	8,7	1,33	2,14	0,82	0,6	3,22	0,13	0,38	-	9,29	1,08	4,49	
	150	18	3,53	27,79	16,12	17,39	5,09	13,6	0,33	0,92	0,255	18,43	1,67	2,04	13,93	0,73	7,83	14,0	6,32	-	6,37	1,0	
FBN (controle)		19	2,14	4,68	$2,85e^{-4}$	$5,6e^{-2}$	6,30	$4,9e^{-2}$	13,88	8,74	18,99	0,72	5,59	2,6	0,21	6,97	1,29	$5,52e^{-4}$	0,21	13,42	-	1,71	
s/FBN (testemunha)		20	1,05	18,39	24,98	26,1	10,63	20,41	0,35	20,06	1,33	9,83	0,18	0,56	7,38	$1,8e^{-3}$	3,03	7,055	3,11	0,5	6,51	-	

¹ Estatísticas grafadas em negrito indicam que ao menos um par de curva de sobrevivência estimada por Kaplan-Meier diferem entre si pelo teste de Gehan-Breslow ou Long-Rak a 0,05 de significância; ² Estatísticas em negrito indicam que as curvas sob análise diferem pelo teste de Holm-Sidak a 0,05 de significância (valores hachurado em cinza claro e cinza escuro indicam que as comparações foram feitas decompondo o resultado Log-Rank e Geha-Breslow, respectivamente).

Neste mesmo contexto, as curvas de sobrevivência de sementes advinda de plantas com fixação biológica de nitrogênio em associação com a fertilização com 150, 50; 150 e 150 kg ha⁻¹ nos estádios V_0 , V_2 , V_2 e V_4 , respectivamente, diferiram das geradas por sementes produzidas sem qualquer manejo de fertilização nitrogenada (Figura 17; Tabela 4). Destas, as curvas de sobrevivência de sementes advinda de plantas com fixação biológica de nitrogênio em associação com a fertilização com 150 em V_0 e em V_4 foram as que resultaram em redução das probabilidades de não germinar (Tabela 3). Esta redução, no entanto, não foi suficiente para garantir diferença a até 2,1 dias para a primeira e, ate 1,76 dias para a segunda, a partir de (Tabela 3). A conclusão encimada foi respaldada também pelo baixo número de diferenças entre as curvas advindas de sementes de plantas cujo aporte de nitrogênio foi unicamente pela fixação biológica com as demais; ou seja, o nitrogênio de origem bacteriana foi suficiente para a manutenção das rotas fisiológicas da planta-mãe quando do processo de desenvolvimento das sementes (Tabela 4 e Figura 10a e b). Diferenças foram constatadas entre esta e as curvas geradas por sementes produzidas por plantas em simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio e fertilizadas com 50 e 150 kg ha⁻¹ de nitrogênio aplicados no estádio V_4 e as sementes produzidas por plantas fertilizadas com 100 kg ha⁻¹ de nitrogênio aplicados no estádio V_4 (Tabela 4; Figura 13a e c e 16b). Para todas, as probabilidades de não germinar nos primeiros tempos eram maiores, e a não equipolência em alguns destes tempos garantiram a distinção das curvas pelo teste Holm-Sidak, ao desdobrar o de Gehan-Breslow (Tabela 3 e 4).

Diferenças foram constatadas entre as curvas de sobrevivência advindas do processo germinativo de sementes produzidas por plantas submetidas à fixação biológica de nitrogênio e fertilizadas com 150 kg ha^{-1} com outras duas; sendo ambas advindas de sementes produzidas sem fixação biológica de nitrogênio e fertilizadas com 150 kg ha^{-1} nos estádios V_0 e V_4 (Tabela 4). Houve distinção entre as curvas de sobrevivência geradas por sementes produzidas com e sem fixação biológica de nitrogênio para as dose de 50 kg ha^{-1} de nitrogênio mineral no estádio V_0 ; e para as dose de 100 kg ha^{-1} de nitrogênio mineral no estádio V_4 . (Tabela 4)

Dando maior peso às diferenças constatadas ao final do processo, foi possível verificar que o manejo nitrogenado não afetou as probabilidades de não germinação, uma vez que sementes provenientes de plantas sem manejo de fertilização nitrogenada ou apenas com uso de bactérias fixadoras resultaram em curvas de probabilidade de não germinação equiparadas às curvas geradas por sementes com diferentes manejos de fertilidade nitrogenada (Tabela 3, Figura 17 a e c). Cabe salientar que as demais diferenças apontadas foram decorrentes, prioritariamente, da amplitude temporal do processo germinativo, *i.e.*, para algumas amostras a queda das probabilidades da não germinação ao longo do tempo são mais acentuadas, findando o processo antecipadamente, enquanto outras sementes ainda permanecem em análise (Figura 17c e Tabela 4). Soma-se o fato de terem poucas sementes compondo a amostra ao final do processo germinativo *per se* e, com isso, a falha de apenas uma semente resultar em uma acentuada alteração da probabilidade da não germinação (Tabela 3). Esta redução do tamanho da amostra aumentou a homogeneidade do processo (amplitude do $IC\ 95\% < 0,1$) (Tabela 3). A exemplo, a curva decorrente das sementes oriundas de plantas em associação simbiótica com bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico e fertilizadas com 100 kg ha^{-1} de nitrogênio no estádio V_0 findou o processo aos 6,76 dias; enquanto as curvas contrastante findaram o processo em até um dia antes, salvo a decorrente de sementes produzidas por plantas cujo aporte de nitrogênio era mineral na dose de 150 kg ha^{-1} aplicados no estádio V_4 (Figura 17a e c; Tabela 3). Para todas, adotando como referência o tempo 4,1 dias em diante, a amplitude de variação em cada observação não atingiu 0,1 ($0,000 < IC\ 95\% \leq 0,09$; Tabela 3).

Medidas de Germinação

Os manejos de fertilização de nitrogênio (0 a 150 kg ha^{-1} aplicados nos estádios V_0 , V_2 e V_4), com ou sem mutualismo por FBN, resultaram em sementes com qualidade

fisiológica similar. Há equivalência entre as sementes produzidas por plantas com ausência de qualquer manejo de fertilização nitrogenada e as oriundas de plantas infectadas com *Rhizobium tropici* para as medidas de germinabilidade, tempo inicial, final, médio e mediano, velocidade média e de Maguire, coeficiente de variação do tempo, sincronia e amplitude temporal (Tabela 5 e 6).

Tabela 5. Medidas de capacidade, tempo e velocidade do processo germinativo sementes de feijão oriundas de plantas com diferentes manejos da fertilização nitrogenada (fixação biológica, dose e estádio fenológico de aplicação de *N*-fertilizante).

¹FBN	Estádio	Germinabilidade (%)			Média	Tempo inicial (dia)			Tempo final (dia)			Média		
		Dose de Nitrogênio (Kg ha ⁻¹)				Dose de Nitrogênio (Kg ha ⁻¹)			Dose de Nitrogênio (Kg ha ⁻¹)					
		50	100	150		50	100	150	50	100	150			
Com	<i>V</i> ₀	98,66	98,00	99,00	98,46 a	0,98	1,32	1,26	5,32	5,10	5,43	5,13 a		
	<i>V</i> ₂	97,50	98,66	99,50		1,18	1,32	1,18	1,19 a	5,35	4,65	6,02		
	<i>V</i> ₄	99,33	98,50	97,00		1,32	1,01	1,10	4,32	6,02	4,52			
Sem	<i>V</i> ₀	97,00	97,33	97,50	98,04 a	1,26	1,32	1,18	5,27	4,76	4,75	5,16 a		
	<i>V</i> ₂	99,00	97,00	100,00		1,26	1,10	1,20	1,21 a	5,18	5,01	5,76		
	<i>V</i> ₄	100,00	98,00	96,50		1,32	1,10	1,10	3,76	5,76	5,68			
^² Adicionais		Com FBN (1)		Sem FBN (2)		Com FBN (1)		Sem FBN (2)		Com FBN (1)		Sem FBN (2)		
Média		96,00		96,50		1,34		1,09		96,00		96,50		
Estádio		<i>V</i> ₀	<i>V</i> ₂	<i>V</i> ₄		<i>V</i> ₀	<i>V</i> ₂	<i>V</i> ₄	<i>V</i> ₀	<i>V</i> ₂	<i>V</i> ₄			
Média		98,58 A	97,92 A	98,25 A		1,22 A	1,21 A	1,16 A	-	-	-			
^³ W; F		0,966; 2,281		0,969; 0,918						0,971; 1,281				
FBN	Estádio	Tempo médio (dia)			Média	Tempo mediano (dia)			Velocidade média (dia ⁻¹)			Média		
		Dose de Nitrogênio (Kg ha ⁻¹)				Dose de Nitrogênio (Kg ha ⁻¹)			Dose de Nitrogênio (Kg ha ⁻¹)					
		50	100	150		50	100	150	50	100	150			
Com	<i>V</i> ₀	2,22	2,15	2,06	2,18 a	1,88	1,88	1,76	0,45	0,47	0,49	0,46 a		
	<i>V</i> ₂	2,28	2,29	2,26		2,01	2,01	2,10	1,97 a	0,44	0,44	0,45		
	<i>V</i> ₄	1,98	2,36	2,09		1,99	1,99	1,85	0,51	0,44	0,49			
Sem	<i>V</i> ₀	2,43	2,26	2,00	2,18 a	1,93	1,93	1,68	0,42	0,45	0,52	0,47 a		
	<i>V</i> ₂	2,27	2,01	2,30		2,01	2,01	2,10	1,93 a	0,45	0,50	0,43		
	<i>V</i> ₄	2,01	2,40	2,04		1,88	1,88	1,93	0,49	0,44	0,49			
^² Adicionais		Com FBN (1)		Sem FBN (2)		Com FBN (1)		Sem FBN (2)		Com FBN (1)		Sem FBN (2)		
Média		2,31		2,38		2,01		1,81		0,44		0,44		
Estádio		<i>V</i> ₀	<i>V</i> ₂	<i>V</i> ₄		<i>V</i> ₀	<i>V</i> ₂	<i>V</i> ₄	<i>V</i> ₀	<i>V</i> ₂	<i>V</i> ₄			
Média		2,18 A	2,24 A	2,15 A		-	-	-	0,47 A	0,45 A	0,48 A			
^³ W; F		0,950; 2,615		0,964; 1,857				0,981; 2,492						

^¹Médias seguidas de letras distintas, minúscula na coluna e maiúscula na linha, diferem pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade. ^² Médias seguida de ^¹ e ^² diferem do tratamentos adicionais (1) e (2), respectivamente, pelo teste de Dunnet a 0,05 de probabilidade. ^³W; F: estatísticas dos testes de Shapiro-Wilk e Levene; valores grafados em negrito indicam resíduos com distribuição normal e homogeneidade das variâncias, ambos a 0,01 de probabilidade.

Nem mesmo o aporte de nitrogênio bacteriano influenciou a capacidade germinativa das sementes, próximo a 98%, que apresentou pico em torno do segundo dia ($Tm=2,18$ dias e $1,93 \leq Tme \leq 1,97$ dia; Tabela 5). Nesta condição, o processo foi rápido, com velocidade média de $0,5$ dia $^{-1}$, iniciando precocemente ($1,19 \leq t_0 \leq 1,21$ dia) e findando após quatro dia ($1,16 \leq t_f \leq 5,13$ dia). A época de aplicação do *N*-fertilizante não foi preponderante na melhoria da qualidade das sementes. Independente do manejo, seja com inoculação das sementes da planta genitora com bactérias fixadora de nitrogênio e/ou com dose maiores de *N*-fertilizantes, a época de aplicação não resultou em incrementos nas medidas de germinabilidade, tempo inicial e médio e velocidade média ($1,16 \leq G\% \leq 5,13\%$; $1,16 \leq t_0 \leq 1,22$ dia; $2,15 \leq tm \leq 2,24$ dia e $0,45 \leq v_m \leq 0,48$ dia; Tabela 5).

Para a germinabilidade, o incremento de nitrogênio no estádio V_0 em plantas com fixação biológica de nitrogênio fez com que as sementes produzidas apresentaram germinação crescente em 2,5%, até atingir a germinação 98,55%, o que ocorreu a partir de $8,9$ kg ha $^{-1}$ de nitrogênio; no entanto, na ausência da FBN houve um incremento para cada dose 0,007% para cada quilograma de nitrogênio aplicado por hectare (Figura 11). Devido ao pleno desenvolvimento da cultura, aplicando o nitrogênio no estádio V_2 em plantas sob FBN verificou-se incrementos lineares na germinação de 0,023% para cada quilograma de nitrogênio aplicado ($R^2=98,42\%$). De modo similar, por estar em estádio de desenvolvimento avançado, o comportamento das curvas de germinação de sementes produzidas por plantas fertilizadas do estádio V_4 se ajustaram ao modelo quadrático com ponto de máxima de 80 e 71 kg ha $^{-1}$ para aquelas com e sem inoculação, respectivamente (Figura 18).

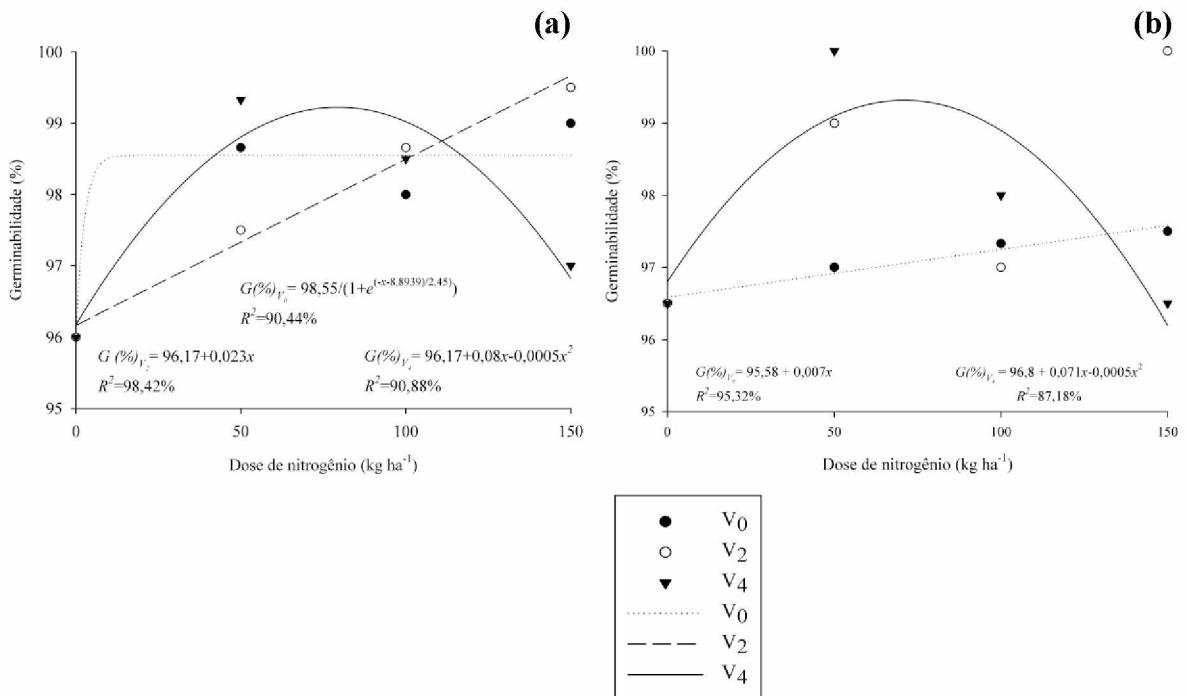


Figura 18. Germinabilidade de sementes de feijão provenientes de plantas (a) inoculadas e (b) não com bactérias fixados de nitrogênio e submetidas à fertilização com doses de nitrogênio aplicada em diferentes estádios fenológicos.

Embora para germinabilidade houveram essas variações com ajustes para curvas de predição, as medidas extremas de tempo (inicial e final) mostraram-se com valores estáveis frente à variação de nitrogênio (Figura 19), exceto para o tempo inicial das sementes produzidas por plantas sem mutualismo e fertilizadas no estádio V_2 , que ainda assim tiveram diferenças ínfimas (Figura 19b).

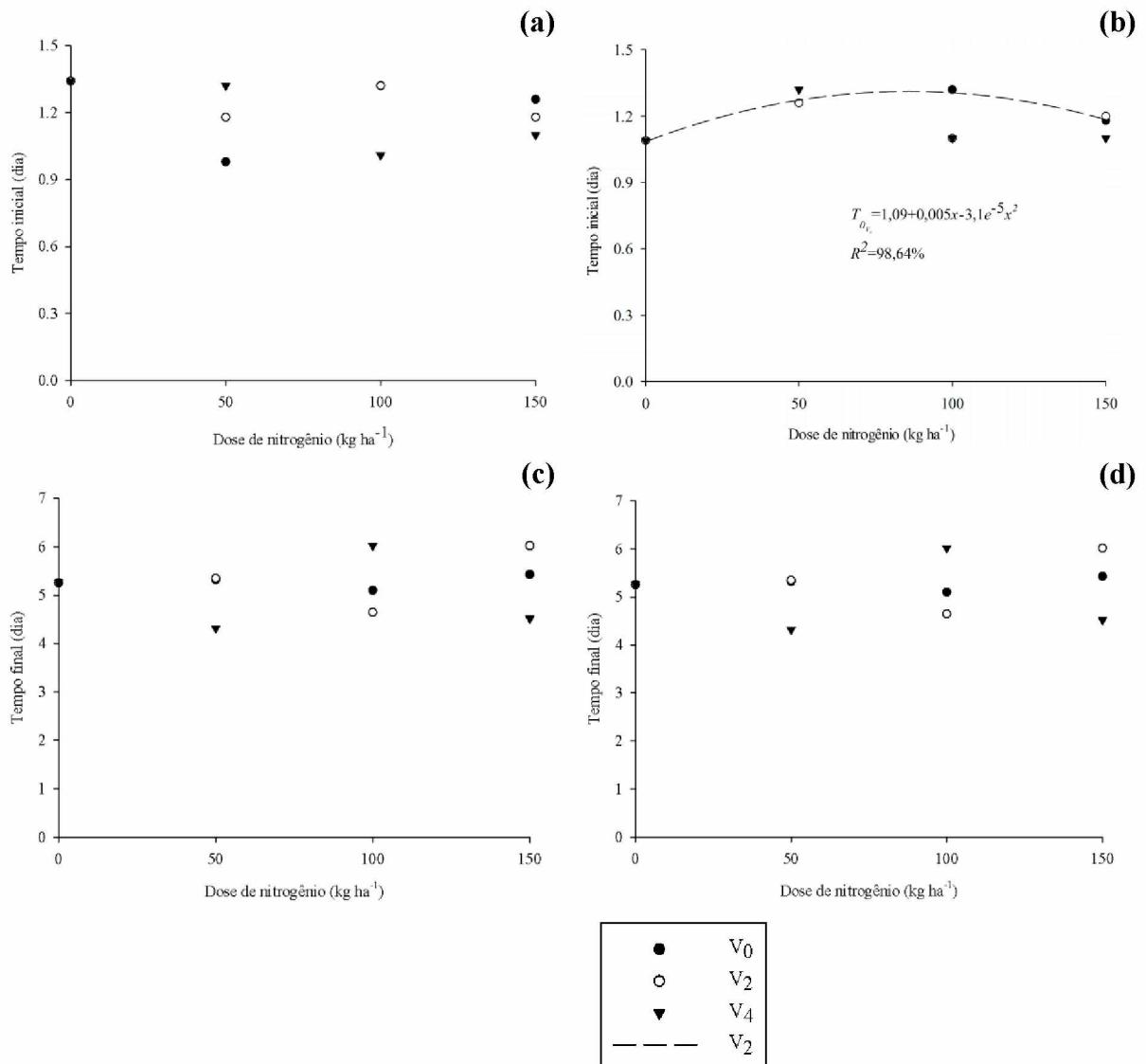


Figura 19. Tempo inicial e final da germinação de sementes de feijão provenientes de plantas (a e c) inoculadas e (b e d) não com bactérias fixadoras de nitrogênio e submetidas à fertilização com doses de nitrogênio aplicada em diferentes estádios fenológicos.

As medidas de tendência central de tempo de germinação foram mais propensas a refletir o efeito do nitrogênio (Figura 20a e b). De modo geral, quanto maior é a dose de nitrogênio aplicado, menor será o tempo médio do processo germinativo; e, mais, este comportamento é independente da época de aplicação de nitrogênio e do uso da inoculação das sementes da planta genitora com bactérias fixadoras de nitrogênio (Figura 20a e b). A entender: o tempo médio de germinação das sementes proveniente de plantas em simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio na ausência de nitrogênio era de aproximadamente 2,30 e este foi reduzido em 0,002 e 0,003 dias para cada kg ha⁻¹ de N-fertilizante aplicado nos estádios V_0 e V_2 , respectivamente. Planta-mãe não infectada apresenta o tempo médio de germinação das sementes de aproximadamente 2,46 dias, e este foi reduzido em 0,003 dias

para cada kg ha^{-1} de N -fertilizante aplicado no estádio V_0 . Isto denota que o nitrogênio de origem bacteriano por si só já foi suficiente para reduzir o tempo médio das sementes germinarem. Contraditoricamente ao tempo médio, o tempo mediano de germinação aumentou ou teve comportamento quadrático em função da fertilização nitrogenada. Para as sementes produzidas por plantas com aporte de nitrogênio bacteriano e fertilizadas no estádio V_2 foi verificado que o tempo para metade das sementes viáveis germinarem foi acrescido em 0,0007 dias. Na ausência de fixação, independente da época de aplicação, o tempo mediano apresentou um ponto máximo em função da dose de nitrogênio aplicado. As doses de 67,44 e 102,5 kg ha^{-1} de nitrogênio aplicadas unicamente nos estádios V_0 e V_4 em plantas de feijão fizeram com que as sementes produzidas apresentassem tempo mediano máximo de 1,99 e 2,0 dias (Figura 20c e d).

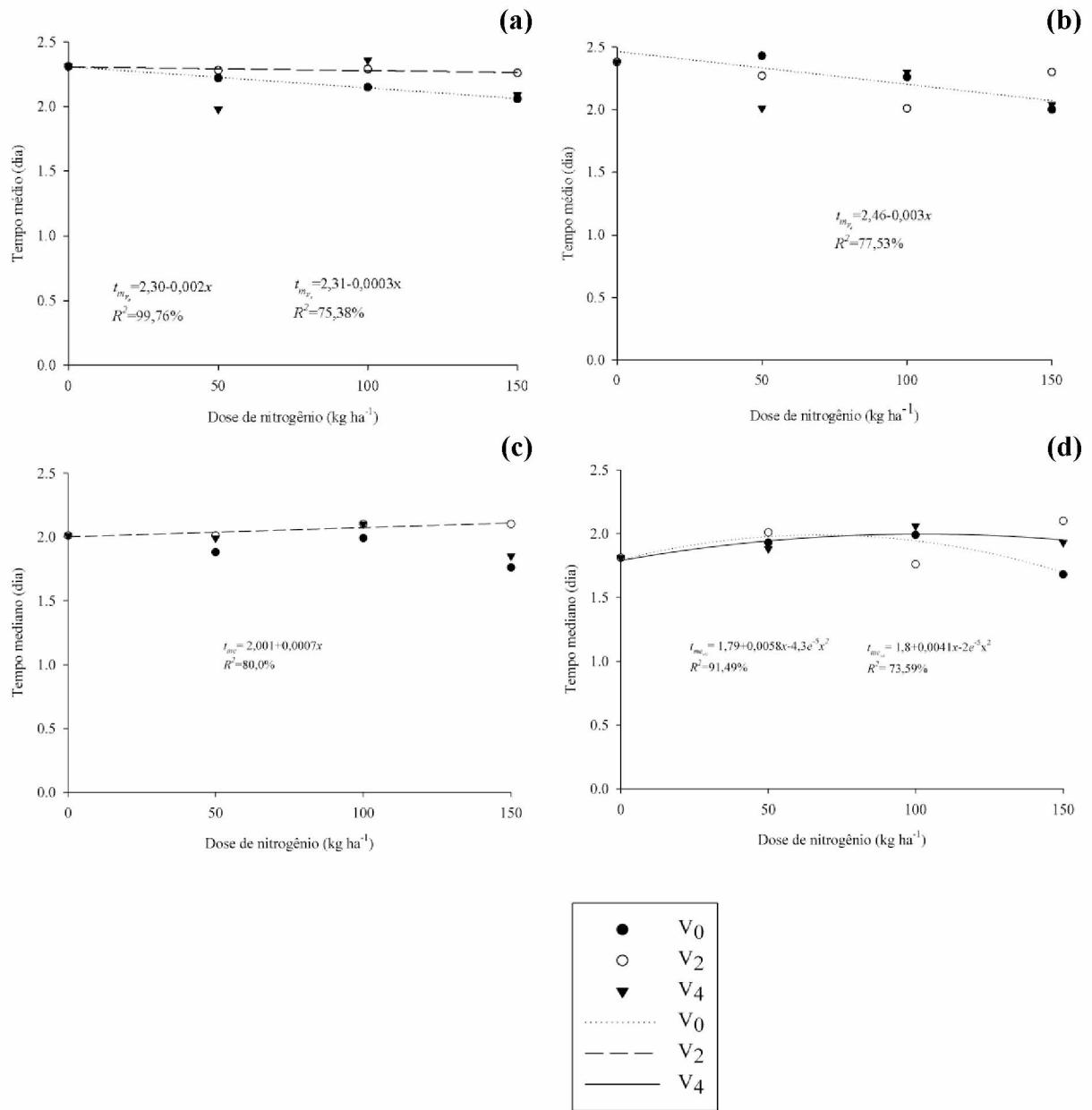


Figura 20. Tempo médio e mediano da germinação de sementes de feijão provenientes de plantas (a e c) inoculadas e (b e d) não com bactérias fixados de nitrogênio e submetidas à fertilização com doses de nitrogênio aplicada em diferentes estádios fenológicos.

A velocidade (Figura 21a e b) e a frequência diária (Figura 21c e d) em que o processo germinativo ocorreu foram estáveis em função da aplicação de nitrogênio nos diferentes estádios, com ou sem fixação biológica de nitrogênio. Tal fato fez com que modelos de predição não fossem ajustados; embora, para as sementes advindas de plantas fertilizadas no estádio V_0 resultaram em curvas com bom ajuste para a velocidade média (Figura 21a e b). Em condições de fixação biológica de nitrogênio, o incremento por quilograma de N -fertilizante aplicado foi de $0,44 \text{ dia}^{-1}$ ($R^2=97,97\%$) e na ausência de da

fixação o ponto máximo de inflexão foi com 44,44 kg ha⁻¹ de nitrogênio, em que a velocidade foi de 0,41 dia⁻¹ ($R^2=99,91\%$); a partir de então apresentaram incrementos crescentes (Figura 24). Este último comportamento foi similar para a velocidade de Maguire, na qual a menor frequência diária de germinação registrada foi de 23,03 protrusões dia⁻¹, na dose de 52,8 kg ha⁻¹ de nitrogênio ($R^2=99,99\%$).

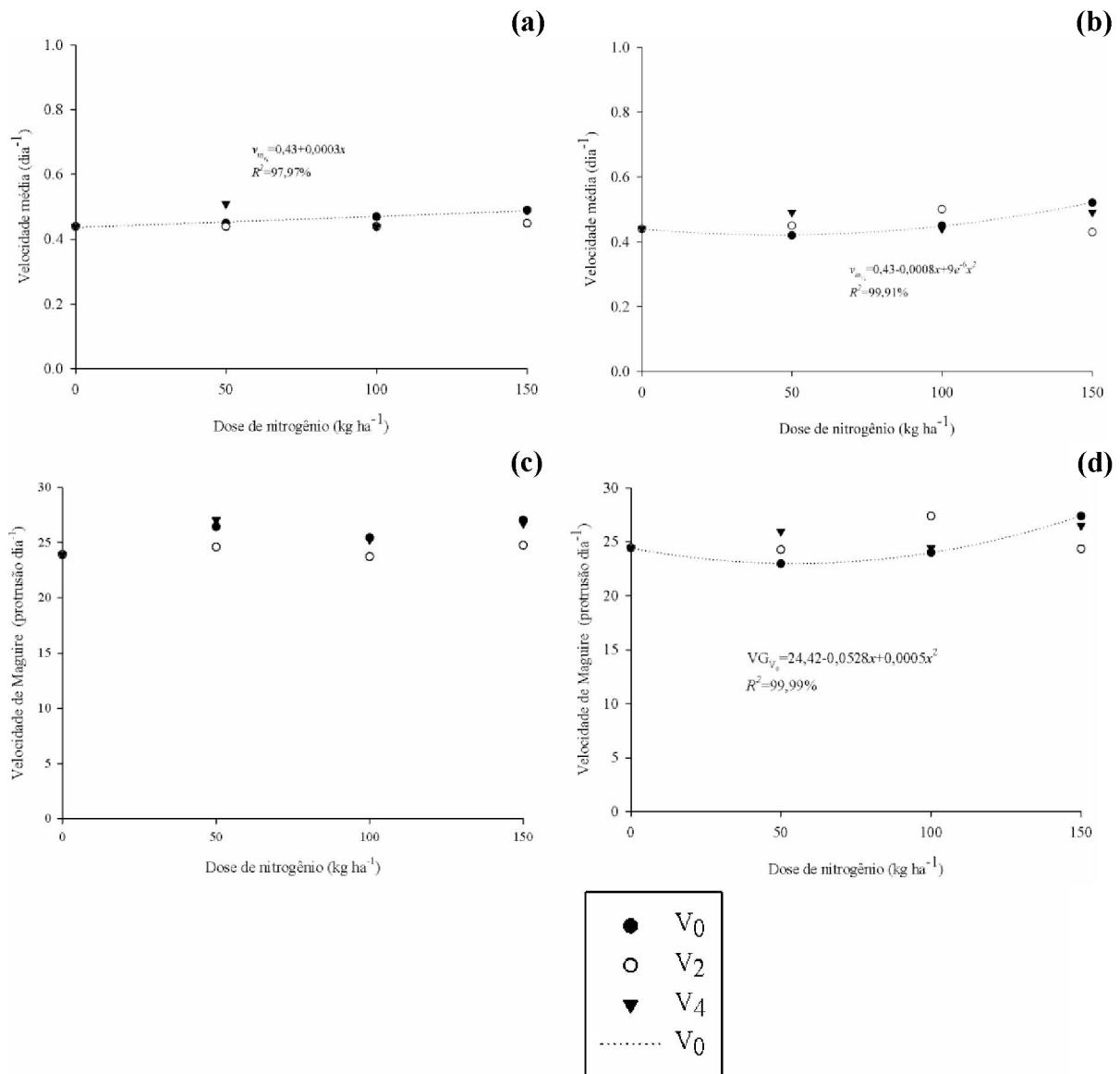


Figura 21. Velocidade média e de Maguire da germinação de sementes de feijão provenientes de plantas (a e c) inoculadas ou (b e d) não com bactérias fixadoras de nitrogênio e submetidas à fertilização com doses de nitrogênio aplicada em diferentes estádios fenológicos.

Para a sobreposição e ruído do sistema germinativo houveram variações devido a associação ou não com bactérias fixadoras de nitrogênio em plantas de feijão; embora as sementes apresentavam-se com dispersões similares e moderadas em torno do tempo médio ($37,49 \leq CV_t \leq 39,85\%$), amplitudes temporais pequenas e equivalentes ($3,85 \leq \lambda_t \leq 3,94$ dias) e

frequências equiparáveis ($25,25 \leq VE \leq 25,71$ protrusão dia $^{-1}$) do processo germinativo; (Tabela 6). Sementes produzidas por plantas apenas fertilizadas com nitrogênio mineral tiveram maior sincronia do processo ($Z=0,23$); embora o apresentasse maior entropia, ou seja, incerteza ($I=2,46$ bits) (Tabela 6). Deve-se salientar que somente a aplicação isolada de nitrogênio na dose 50 kg ha $^{-1}$ em V_4 foi capaz de reduzir a incerteza. Outra observação foi na velocidade de Maguire das sementes em que não foi alterada pela época de fertilização da planta-mãe.

Tabela 6. Medidas de uniformidade, sincronia, amplitude temporal e velocidade do processo germinativo de sementes de feijão oriundas de plantas com diferentes manejos da fertilização nitrogenada (fixação biológica, dose e estádio fenológico de aplicação de *N*-fertilizante).

FBN	Estádio	Coeficiente de variação do tempo (%)			Sincronia			Incerteza (Bits)			Média	
		Dose de Nitrogênio (Kg ha ⁻¹)			Média	Dose de Nitrogênio (Kg ha ⁻¹)			Média	Dose de Nitrogênio (Kg ha ⁻¹)		
		50	100	150		50	100	150		50	100	
Com	<i>V</i> ₀	48,20	38,74	43,30		0,17	0,22	0,22		2,89	2,49	2,50
	<i>V</i> ₂	39,78	36,82	39,33	39,85 a	0,16	0,21	0,19	0,20 b	2,82	2,59	2,73
	<i>V</i> ₄	29,42	44,87	38,19		0,25	0,15	0,20		2,29	2,91	2,62
Sem	<i>V</i> ₀	41,45	36,46	33,96		0,22	0,19	0,27		2,66	2,66	2,22
	<i>V</i> ₂	36,51	42,38	42,43	37,49 a	0,21	0,23	0,23	0,23 a	2,58	2,37	2,47
	<i>V</i> ₄	22,51	41,32	40,38		0,31	0,18	0,22		1,89 ^(1; 2)	2,84	2,46
² Adicionais		Com FBN (1)		Sem FBN (2)		Com FBN (1)		Sem FBN (2)		Com FBN (1)		Sem FBN (2)
Média		40,92		39,63		0,18		0,20		2,68		2,76
³ W; F		0,986; 1,049				0,984; 1,261				0,987; 1,387		
FBN	Estádio	Amplitude temporal (dia)			Velocidade de Maguire (protrusão dia ⁻¹)						Média	
		Dose de Nitrogênio (Kg ha ⁻¹)			Média	Dose de Nitrogênio (Kg ha ⁻¹)			Média			
		50	100	150		50	100	150		50	100	
Com	<i>V</i> ₀	4,33	3,78	4,17		26,45	25,44	27,05				
	<i>V</i> ₂	4,17	3,33	4,25	3,94 a	24,61	23,74	24,77				25,71 a
	<i>V</i> ₄	3,00	5,00	3,41		27,05	25,26	26,74				
Sem	<i>V</i> ₀	4,00	3,44	3,17		22,97	24,01	27,39				
	<i>V</i> ₂	3,92	3,92	4,56	3,85 a	24,26	27,39	24,35				25,25 a
	<i>V</i> ₄	2,44	4,67	4,58		25,96	24,44	26,49				
² Adicionais		Com FBN (1)		Sem FBN (2)		Com FBN (1)		Sem FBN (2)				
Média		3,92		4,17		23,92		24,43				
Estádio		<i>V</i> ₀		<i>V</i> ₂		<i>V</i> ₄		<i>V</i> ₀		<i>V</i> ₂		<i>V</i> ₄
Média		-		-		-		25,59 A		24,45 A		26,0 A
³ W; F		0,986; 1,049						0,984; 1,261				

¹Médias seguidas de letras distintas, minúscula na coluna e maiúscula na linha, diferem pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade. ² Médias seguida de ¹ e ² diferem do tratamentos adicionais (1) e (2), respectivamente, pelo teste de Dunnet a 0,05 de probabilidade. W; F: estatísticas do testes de Shapiro-Wilk e Levene; valores grafados em negrito indicam resíduos com distribuição normal e homogeneidade das variâncias, ambos a 0,01 de probabilidade.

A combinação de manejo que sobrepujou na fisiologia do processo germinativo das sementes foi a época de aplicação e a dose de nitrogênio (Tabela 7). A luz disto, independente da época de aplicação, as sementes findaram o processo germinativo em tempos equivalentes, próximos a 4,86; 5,22 e 5,2 dias para 50, 100 e 150 kg ha⁻¹, respectivamente. As demais medidas do processo germinativo apresentaram diferenças, e essas foram atenuadas com doses maiores (Tabela 7). A exceção foi para o tempo mediano do processo germinativo, que apresentou diferença na dose de 150 kg ha⁻¹ de nitrogênio, com redução quando aplicado no estádio V_2 , ainda que não diferisse da aplicação em V_4 . Para o coeficiente de variação do tempo, sincronia e amplitude temporal foram observadas diferenças somente na dose de 50 kg ha⁻¹ de nitrogênio. A aplicação integral da dose de nitrogênio, no estádio V_4 , aumentou a sincronia ($Z=0,28$) e reduziu a dispersão ao redor do tempo médio ($CV_t=25,97\%$), incerteza ($I=2,09$ bits) e a amplitude temporal ($\lambda_t=2,75$ dias) (Tabela 7).

Tabela 7. Medidas de tempo, uniformidade, sincronia, incerteza e amplitude temporal do processo germinativo de sementes de feijão oriundas de plantas fertilizadas com diferentes dose de nitrogênio aplicadas em estádios fenológicos distintos.

Estádio	Tempo final (dia)			Tempo mediano (dia)			Coeficiente de variação do tempo (%)		
	Dose de Nitrogênio (Kg ha ⁻¹)			Dose de Nitrogênio (Kg ha ⁻¹)			Dose de Nitrogênio (Kg ha ⁻¹)		
	50	100	150	50	100	150	50	100	150
V_0	5,29 a	4,93 a	4,89 a	1,90 a	1,99 a	1,72 b	44,82 b	37,60 a	38,63 a
V_2	5,26 a	4,83 a	5,60 a	2,01 a	1,93 a	2,10 a	38,15 b	39,60 a	40,88 a
V_4	4,04 a	5,89 a	5,10 a	1,93 a	2,08 a	1,89 ab	25,97 a	43,10 a	39,28 a
Sincronia									
Estádio	Dose de Nitrogênio (Kg ha ⁻¹)			Dose de Nitrogênio (Kg ha ⁻¹)			Amplitude temporal (dia)		
	50	100	150	50	100	150	50	100	150
V_0	0,19 b	0,20 a	0,24 a	2,77 b	2,57 a	2,36 a	4,17 b	3,61 a	3,67 a
V_2	0,19 b	0,22 a	0,21 a	2,70 b	2,48 a	2,60 a	4,01 ab	3,63 a	4,40 a
V_4	0,28 a	0,16 a	0,21 a	2,09 a	2,88 a	2,54 a	2,72 a	4,83 a	4,00 a

¹Médias seguidas de letras distintas na coluna dentro de cada variável diferem pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

O nitrogênio bacteriano foi suficiente para uniformizar o processo germinativo, visto que a aplicação de doses crescentes de nitrogênio em plantas inoculadas ocasionou em amplitude temporal (Figura 22a), coeficiente de variação do tempo (Figura 22c) e incerteza (Figura 21e) da germinação das sementes produzidas pouco variáveis e, portanto, não foi possível fazer inferências sob qual o efeito do nitrogênio no processo. O mesmo foi observado para as plantas cuja única fonte de nitrogênio foi a mineral nos estádios V_2 e V_4 (Figura 22b, d e f). Neste sentido, outra hipótese é que na ausência do nitrogênio bacteriano, o mineral se fez necessário inicialmente, culminando com redução da amplitude temporal, coeficiente de variação do tempo e incerteza da germinação das sementes produzidas em 0,007 dias

($R^2=96,11$); 0,04% ($R^2=72,91$); em 0,003 bits ($R^2=84,4\%$), respectivamente, para cada quilograma de nitrogênio aplicado. Embora não foi consenso, a sincronia do processo germinativo das sementes aumentou com a fertilização nitrogenada da planta-mãe. Isto foi verificado para plantas fertilizadas em V_0 em associação com bactérias fixadoras de nitrogênio e para plantas fertilizadas em V_2 com aumento de 0,003 e 0,002, respectivamente (Figuara 25e e f).

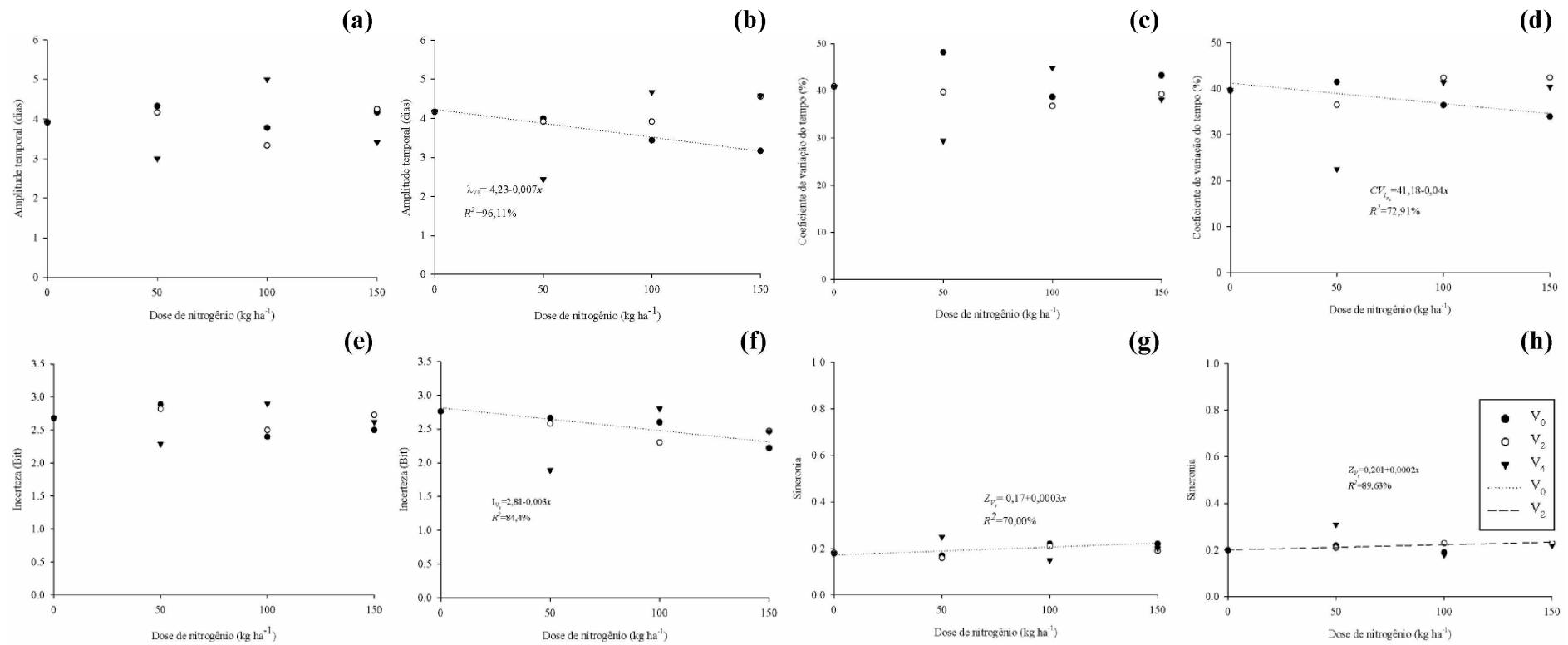


Figura 22. Amplitude temporal, coeficiente de variação do tempo, incerteza e sincronia da germinação de sementes de feijão provenientes de plantas (a, c, e e g) inoculadas ou (b, d, f e h) não com bactérias fixados de nitrogênio e submetidas à fertilização com doses de nitrogênio aplicada em diferentes estádios fenológicos.

Desenvolvimento inicial de plantas jovens *stricto sensu* ou plântulas

Desempenho hierarquizado plantas jovens stricto sensu

A sobreposição de técnicas para fertilização de plantas mãe do feijoeiro, que inclui época de aplicação (V_0 , V_2 e V_4), doses de nitrogênio (0, 50, 100 e 150 kg ha⁻¹) e mutualismo por *Rhizobium sp.* (com e sem), não foi sobrepunjante na produção de plântulas normais. O mesmo ocorreu com nitrogênio de origem bacteriana, isoladamente, na nutrição da planta-mãe, visto que a porcentagem de plântulas normais foi de aproximadamente 64% (Tabela 8). Aproximadamente 40% das plântulas normais foram classificadas como fortes; e 60% como fracas, seja para sementes produzidas por plantas com manejo que incluía bactérias noduladoras ou àquelas produzidas por meio do manejo convencional, com uso exclusivo da fertilização mineral. Posto isto, pressupõe-se que o mutualismo bacteriana *per se* na planta-mãe, não afetou a habilidade da prole em se estabelecer em condições ótimas de campo, uma vez que o aporte de nitrogênio foi ínfimo; porém, quando o mutualismo é associada a altas doses de nitrogênio – 150 kg ha⁻¹ –, disponibilizadas à planta-mãe em estádio de desenvolvimento vegetativo precoce (V_0), houve impacto substancial na habilidade de estabelecimento inicial de plântulas. Nesta condição, houve 78% de plântulas normais, um incremento de 26,08 e 28,08% em comparação com as sementes advindas de plântulas nutridas somente com nitrogênio bacteriano (52,25%) e advindas de plantas na ausência de quaisquer fontes de nitrogenada – bacteriana ou mineral – (50,25), respectivamente (Tabela 8).

A fertilização mineral pode ser aplicada em quaisquer estádios de desenvolvimento da planta do feijoeiro, independente da dose e do uso de bactérias nodulantes, sem afetar a capacidade de estabelecimento em campo (59,31 ≤ Plântulas normais ≤ 67,38%) (Tabela 8). Todavia, ao produzir sementes aplicando *N*-fertilizante nas plantas tardiamente, *i.e.*, estádio V_4 , a porcentagem de plântulas normais fortes diminui (35,40%), em contraste com a aplicação nos demais estádios (42,84 e 44% para V_0 e V_2 , respectivamente). Em consequência disto, por ser uma característica recíproca e complementar, as plântulas normais fracas seguem a mesma tendência: com maior porcentagem plântulas normais fracas (64,6%) para sementes produzidas por plantas fertilizadas em V_4 , em contraste com as produzidas em V_0 e V_2 , com 57,16 e 56%, respectivamente. Isso demonstrou que o momento de aplicação de *N*-fertilizante quando do manejo da planta-mãe é importante para a determinação de vigor de plântulas (Tabela 8).

Tabela 8. Desempenho categorizado de inicial de plântulas e vigor por classificação de plântulas (forte e fraca) de sementes de feijão oriundas de plantas com diferentes manejos da fertilização nitrogenada (fixação biológica, dose e estádio fenológico de aplicação de *N*-fertilizante).

¹ FBN	Estádio	Plântulas normais (%)			Plântulas normais Fortes (%)			Plântulas normais Fracas (%)				
		Dose de Nitrogênio (kg ha ⁻¹)			Média	Dose de Nitrogênio (kg ha ⁻¹)			Média	Média		
		50	100	150		50	100	150				
Com	<i>V</i> ₀	62,67	59,00	78,33 ^(1,2)	64,04 a	41,21	50,51	32,91	58,79	49,49	67,10	
	<i>V</i> ₂	65,33	55,75	65,00		51,71	38,25	45,21	41,04 a	48,29	61,75	
	<i>V</i> ₄	62,75	61,25	66,25		40,66	43,40	25,58	59,34	56,60	74,42	
Sem	<i>V</i> ₀	58,50	71,50	74,25	64,27 a	42,87	48,60	40,96	57,13	51,40	59,04	
	<i>V</i> ₂	53,33	62,00	54,50		37,78	49,49	41,56	40,04 a	62,22	50,51	
	<i>V</i> ₄	71,33	60,00	73,00		31,68	35,63	35,47	68,32	64,38	64,53	
² Adicionais		Com FBN (1)		Sem FBN (2)		Com FBN (1)		Sem FBN (2)		Com FBN (1)		
Média		52,25		50,25		47,16		41,42		52,85		
Estádio		<i>V</i> ₀		<i>V</i> ₂		<i>V</i> ₀		<i>V</i> ₂		<i>V</i> ₀		
Médias		67,38 A		59,31 A		42,84 A		44,00 A		57,16 B		
³ W; F		0,979; 1,251				0,980; 1,285				0,955; 1,155		
¹ FBN	Estádio	Plântulas anormais Deterioradas (%)			Plântulas anormais Danificadas (%)			Sementes Mortas (%)				
		Dose de Nitrogênio (kg ha ⁻¹)			Média	Dose de Nitrogênio (kg ha ⁻¹)			Média	Média		
		50	100	150		50	100	150				
Com	<i>V</i> ₀	7,75	11,50	7,00	8,16 a	27,08	27,25	13,00	2,50	2,25	1,67	
	<i>V</i> ₂	12,00	2,25	3,00		20,67	42,00	31,50	2,00	0,00	0,50	
	<i>V</i> ₄	4,75	11,00	14,25		30,75	27,00	19,25	1,75	0,75	0,25	
Sem	<i>V</i> ₀	11,25	1,50	2,00	6,83 a	29,75	26,25	21,50	0,50	0,75	2,25	
	<i>V</i> ₂	1,33	6,50	6,00		45,33	30,00	42,00	-	0,00	1,50	
	<i>V</i> ₄	11,50	18,67	2,75		34,75	20,00	23,25	0,25	1,33	0,93 a	
Com	-	-	-	-	26,17 a			-	-	-		
Sem	-	-	-	-	36,61 b			-	-	-		
² Adicionais		Com FBN (1)		Sem FBN (2)		Com FBN (1)		Sem FBN (2)		Com FBN (1)		
Média		2,75		12,0		43,5		35,25		1,5		
Estádio		<i>V</i> ₀		<i>V</i> ₂		<i>V</i> ₀		<i>V</i> ₂		<i>V</i> ₀		
Médias		6,83 A		5,18 A		24,13 A		35,25 B		1,65 A		
³ W; F		0,850; 3,260				0,951; 1,903				0,879; 3,110		

¹Médias seguidas de letras distintas, minúscula na coluna e maiúscula na linha, diferem pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade. ² Médias seguida de ¹ e ² diferem do tratamentos adicionais (1) e (2), respectivamente, pelo teste de Dunnet a 0,05 de probabilidade. W; F: estatísticas dos testes de Shapiro-Wilk e Levene; valores grafados em negrito indicam resíduos com distribuição normal e homogeneidade das variâncias, ambos a 0,01 de probabilidade.

Em plantas infectadas com bactérias nodulantes, a fertilização da planta-mãe com doses crescente de *N*-fertilizantes, independente do estádio de aplicação, não incrementou as porcentagens de plântulas normais; a exceção ocorreu no estádio V_0 com 150 kg ha⁻¹ de *N*-fertilizante (Figura 23). De modo geral, o nitrogênio mineral causou uma variabilidade fixa no sistema, independente da dose, embora, a época da aplicação seja preponderante na magnitude dessa variação. Sendo assim, independente da dose, foi notório que: com o avançar do desenvolvimento da planta-mãe, a aplicação do nitrogênio culmina em um aumento da variabilidade na porcentagem de plântulas normais; visto que as maiores variações foram constatadas nos estádios V_0 , V_2 e V_4 , nesta ordem (Figura 23).

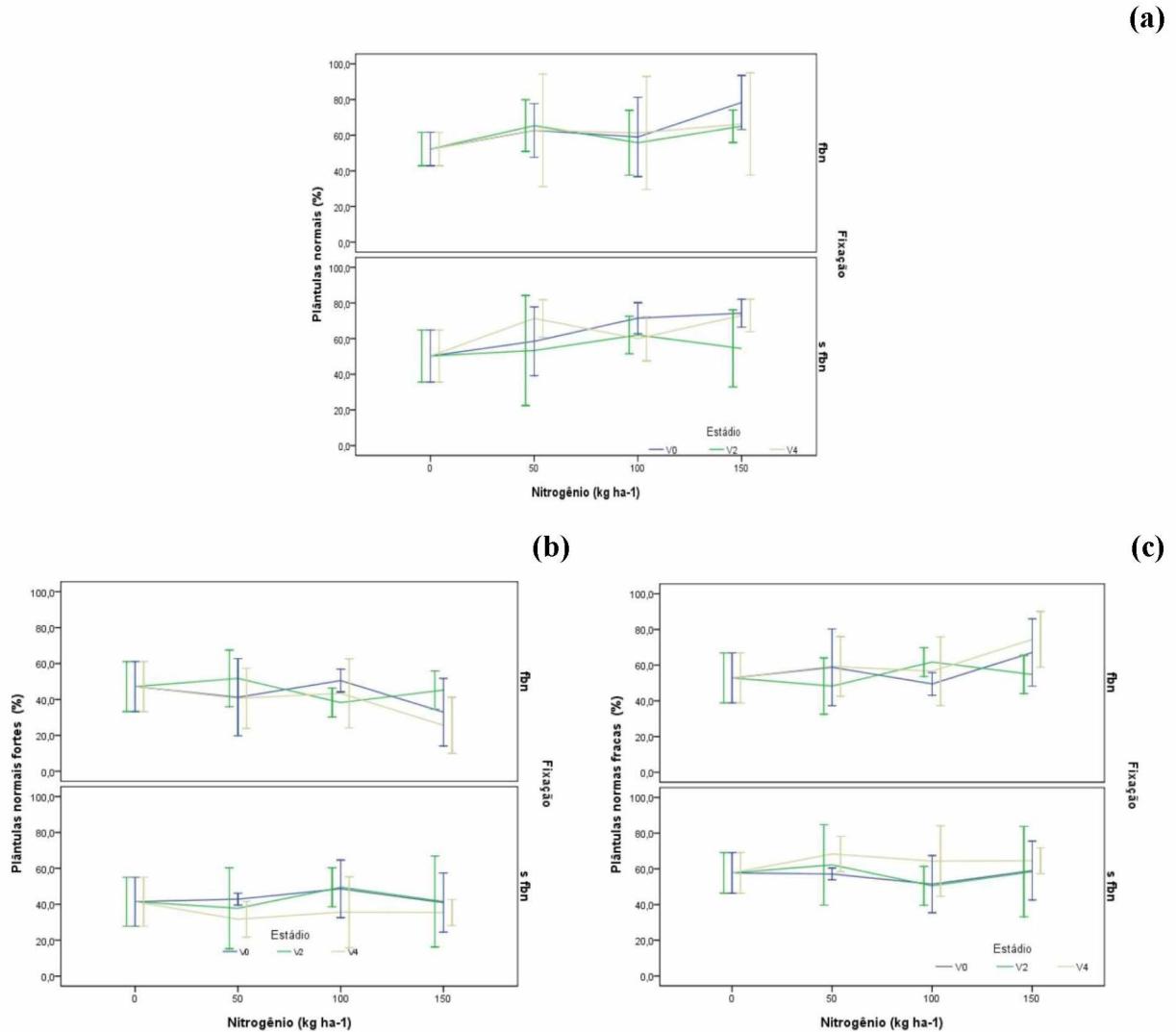


Figura 23. Plântulas normais (a), forte (b) e fracas (c) provenientes do teste de desempenho categorizado de inicial de plântulas oriunda de sementes de feijão produzidas por plantas-mãe com diferentes manejos de fertilização nitrogenada (fixação biológica, dose e estádio fenológico de aplicação de N -fertilizante). Sobreposição de intervalos de confiança indicam similaridades entre as médias, utilizando-se a distribuição t de “Student” a 0,05 de significância. A dose “zero” corresponde aos tratamentos adicionais com presença e ausência da fixação biológica de nitrogênio

Quando o manejo da fertilização nitrogenada adotado foi composto apenas por fonte mineral, o binômio dose e época de aplicação se torna relevante. Na dose de 50 kg ha^{-1} foram registradas as maiores variações, independente da época de aplicação. Em paralelo, as menores variações foram registradas na dose 150 kg ha^{-1} quando aplicados em estádio V_0 e V_4 , respectivamente, e na dose 100 kg ha^{-1} quando aplicados em estádio V_2 (Figura 23).

Como para plântulas normais, aquelas que se encaixam nas categorias fortes e fracas advindas de sementes de plantas infectadas por bactérias mutualísticas resultaram apresentaram maior variabilidade em função da média (Figura 23). Doses crescentes de N -

fertilizante não promoveram incrementos de plântulas normais fortes (redução de fracas) em sementes oriundas de planta-mãe com aporte de nitrogênio bacteriano. Para estas características, o padrão da variação foi casual, com menores oscilações nas doses de 100 kg ha⁻¹ aplicados em V_0 e V_2 e na de 150 kg ha⁻¹ aplicados em V_4 , respectivamente para sementes advindas de plantas em mutualismo; ao passo que para sementes advindas de plantas unicamente fertilizadas com nitrogênio mineral foi observado as menores oscilações em torno do valor meio nas doses de 50; 100 e 150 kg ha⁻¹ aplicados em V_0 ; V_2 e V_4 , respectivamente (Figura 23).

Inferiu-se que a fertilização nitrogenada na produção das sementes não incrementou e/ou potencializou a quantidade de plântulas anormais deterioradas e sementes mortas (Tabela 8; Figura 24). As infecções em plântulas e a mortalidade de sementes foram de no máximo de 8,16 e 1,29; respectivamente (Tabela 8), em função do mutualismo ou não da planta-mãe com bactérias nodulantes; tampouco a época de aplicação do *N*-fertilizante refletiu em algum impacto (máximo de 10,49% de plântulas anormais deterioradas e 1,65% de sementes mortas; (Tabela 8).

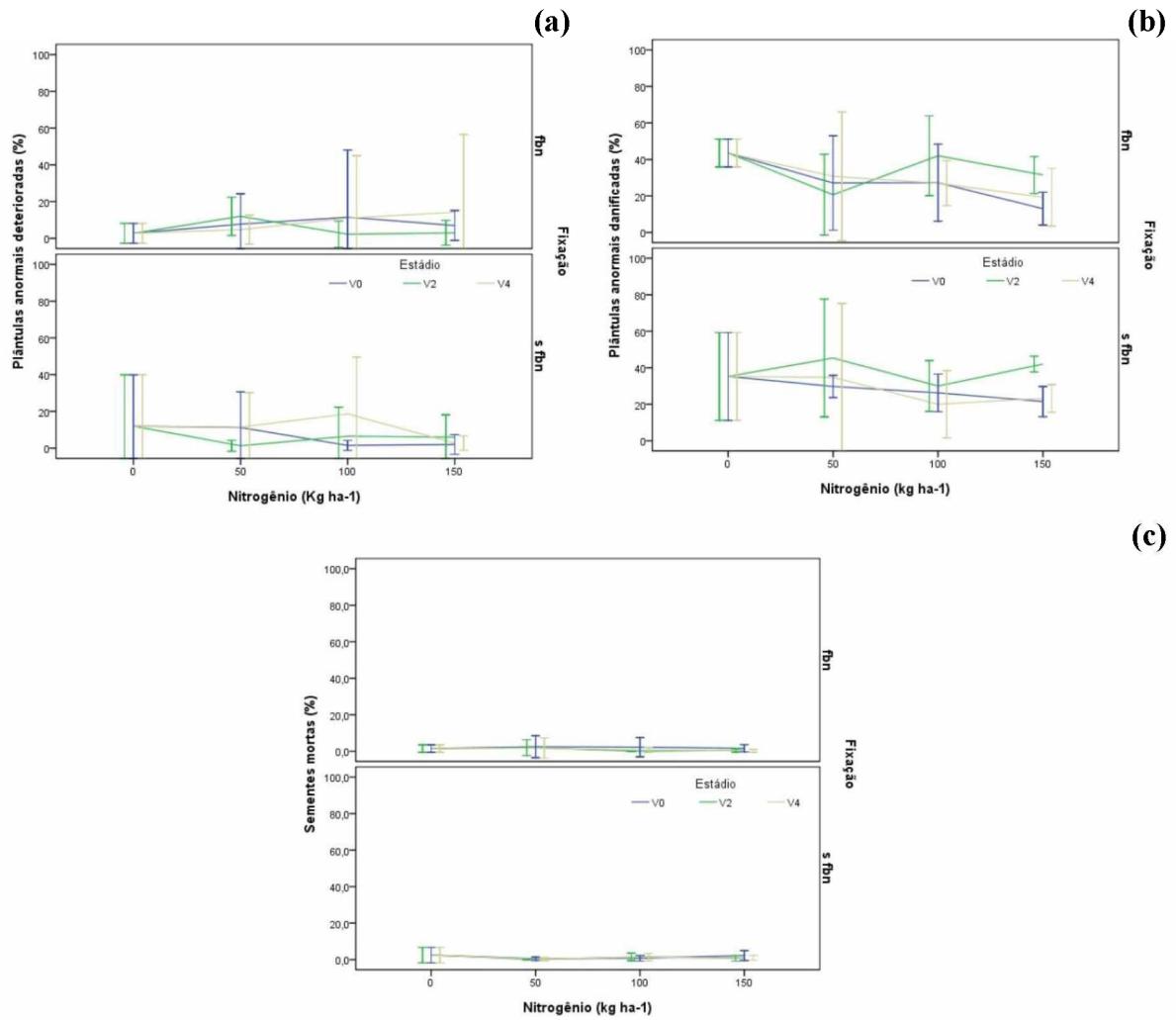


Figura 24. Plântulas anormais danificadas (a) e deterioradas (b) e sementes mortas (c) provenientes do teste de desempenho categorizado inicial de plântulas oriunda de sementes de feijão produzidas por plantas-mãe com diferentes manejos de fertilização nitrogenada (fixação biológica, dose e estádio fenológico de aplicação de *N*-fertilizante). Sobreposição de intervalos de confiança indicam similaridades entre as médias, utilizando-se a distribuição *t* de “Student” a 0,05 de significância. A dose “zero” corresponde aos tratamentos adicionais com presença e ausência da fixação biológica de nitrogênio

Ainda nesta vertente, embora as doses nitrogênio mineral não tenham impactado na quantidade de plântulas anormais deterioradas e sementes mortas, a fertilização mineral de nitrogênio em associação com a biológica na planta-mãe, independente da época de aplicação, produziram sementes que resultaram em maiores oscilações de plântulas anormais deterioradas, ou seja, houve uma desuniformidade entre as observações quanto a resposta (Figura 24). O oposto foi visto quando o manejo adotado foi exclusivamente composto por fertilização mineral. Neste caso, em geral, com o aumento da quantidade aplicada de *N*-fertilizante, as variações em torno do valor médio de plântulas anormais deterioradas diminuíram e isto foi observado para todos os estádios de aplicação.

A interação entre dose de *N*-fertilizante e uso de fixação biológica de nitrogênio na planta-mãe se mostrou relevantes para a característica plântulas anormais danificadas (Tabela 8). Na menor dose, 50 kg ha⁻¹, a associação da planta-mãe com bactérias nodulantes reduziu a porcentagem de plântulas com danos e com doses mais elevadas (100 e 150 kg ha⁻¹) não houve diferença. Em outras palavras, em condições de restrição de nitrogênio, o aporte do nutriente por meio do mutualismo com bactérias culminou em sementes com maior possibilidade de promover plântulas robustas para condições de campo (Tabela 8). Portanto, este resultado e àquele das plântulas normais (combinação entre 150 kg ha⁻¹ aplicados em V_0 em plantas infectadas com bactérias nodulantes que resultou em 78,33% de plântulas normais) demonstraram que a cultivar superprecoce de feijão-comum BRS FC104 foi exigente em nitrogênio para produção de sementes com alta qualidade fisiológica (Tabela 8). Ainda neste contexto, em plantas em associação simbiótica ou não com *Rhizobium sp.* não foi constadas diferença para a porcentagem de plântulas anormais danificadas entre diferentes doses em cada estádio, embora seja consenso que a maior dose (150 kg ha⁻¹) resulte nas menores amplitude de variação e, de modo geral, as maiores seja registrada para a dose de 50 kg ha⁻¹.

A época de aplicação do *N*-fertilizante foi outro fator preponderante na quantidade de plântulas anormais danificadas (Tabela 8). A aplicação precoce e tardia (V_0 e V_4 , respectivamente) de *N*-fertilizante fez com que a planta-mãe produzisse sementes com maior porcentagem de plântulas anormais danificadas (24,13 e 25,08%, respectivamente; Tabela 8).

Crescimento de plantas jovens stricto sensu

O padrão de crescimento e desenvolvimento das plântulas normais de feijão foi pouco influenciado pelo aporte de nitrogênio bacteriano (Tabela 9). A saber, os manejos com fixação biológica de nitrogênio em plantas geraram plântulas com maior comprimento (8,6 e 8,62 g para com e sem FBN, respectivamente), muito pelo maior investimento em parte aérea (massa seca de 0,031 e 0,033 g e comprimento de 5,11 e 4,02 g, respectivamente, para com e sem FBN; Tabela 9).

Por outro lado, a época de aplicação do *N*-fertilizante não foi o fator preponderante para massa da estrutura radicular, tamanho da parte aérea e tamanho total de plântulas normais (Tabela 9). Todavia, a aplicação do *N*-fertilizante nos estádios V_2 e V_4 na planta-mãe promoveu plântulas com maior massa da parte aérea (massa de 0,035 e 0,030 para V_2 e V_4 respectivamente); embora as produzidas no estádio V_4 não tenham diferido das de V_0

(0,029 g). Ainda que apresente interação tripla, somente foi verificada diferença na época de aplicação do fertilizante mineral na dose de 100 kg ha⁻¹, sem o uso de bactérias fixadora de nitrogênio. Neste tratamento foi constatado que a aplicação em *V₄* reduz a massa total das plântulas (0,028 g; Tabela 9).

Tabela 9. Crescimento e desenvolvimento de plântulas normais de feijão advindas de sementes oriundas de plantas com diferentes manejos da fertilização nitrogenada (fixação biológica, dose e estádio fenológico de aplicação de *N*-fertilizante).

¹ FBN	Estádio	Massa da parte aérea (g)			Média	Massa da parte radicular (g)			Massa total (g)				
		Dose de Nitrogênio (Kg ha ⁻¹)				Dose de Nitrogênio (Kg ha ⁻¹)			Dose de Nitrogênio (Kg ha ⁻¹)				
		50	100	150		50	100	150	50	100	150		
Com	<i>V</i> ₀	0,031	0,034	0,023	0,033 a	0,006 a	0,007 a	0,007 a	0,038 a	0,040 a	0,025 a		
	<i>V</i> ₂	0,035	0,041	0,033		0,005 a	0,008 a	0,008 a	0,040 a	0,050 a	0,040 a		
	<i>V</i> ₄	0,040	0,030	0,029		0,006 a	0,004 a	0,004 a	0,047 a	0,034 a	0,040 a		
Sem	<i>V</i> ₀	0,029	0,032	0,029	0,031 a	0,003 a	0,007 a	0,007 a	0,032 a	0,040 a	0,034 a		
	<i>V</i> ₂	0,044	0,031	0,028		0,007 a	0,005 a	0,005 a	0,050 a	0,037 a	0,032 a		
	<i>V</i> ₄	0,027	0,023	0,031		0,006 a	0,005 a	0,005 a	0,033 a	0,028 b	0,039 a		
² Adicionais		Com FBN (1)		Sem FBN (2)		Com FBN (1)		Sem FBN (2)		Com FBN (1)			
Média		0,033		0,025		0,005		0,004		0,038			
Estádio		<i>V</i> ₀		<i>V</i> ₂		<i>V</i> ₀		<i>V</i> ₂		<i>V</i> ₀			
Média		0,029 B		0,035 A		-		-		-			
³ W; F		0,905; 2,671		0,929; 2,249		0,901; 2,603							
Tamanho da parte aérea (cm)													
¹ FBN	Estádio	Tamanho da parte aérea (cm)			Média	Tamanho da parte radicular (cm)			Tamanho total (cm)				
		Dose de Nitrogênio (Kg ha ⁻¹)				Dose de Nitrogênio (Kg ha ⁻¹)			Dose de Nitrogênio (Kg ha ⁻¹)				
		50	100	150		50	100	150	50	100	150		
Com	<i>V</i> ₀	3,94	4,52	3,52	5,11 a	4,95 a	4,64 a	3,76 a	8,89	9,16	7,28		
	<i>V</i> ₂	3,98	4,25	3,89		4,49 a	4,48 a	5,02 a	8,47	8,74	8,90		
	<i>V</i> ₄	3,86	3,91	3,95		4,98 a	4,86 a	4,41 a	8,84	8,77	8,36		
Sem	<i>V</i> ₀	3,91	4,07	3,31	4,02 a	4,06 a	6,25 a	5,19 ab	7,97	10,33	8,50		
	<i>V</i> ₂	3,98	3,62	3,63		4,66 a	4,31 b	3,90 b	8,64	7,94	7,54		
	<i>V</i> ₄	3,63	3,76	3,70		4,77 a	4,65 ab	6,18 a	8,4	8,42	9,88		
² Adicionais		Com FBN (1)		Sem FBN (2)		Com FBN (1)		Sem FBN (2)		Com FBN (1)			
Média		5,11		4,03		4,93		4,02		10,04			
Estádio		<i>V</i> ₀		<i>V</i> ₂		<i>V</i> ₀		<i>V</i> ₂		<i>V</i> ₀			
Média		3,88 A		3,89 A		-		-		8,69 A			
³ W; F		0,963; 1,681		0,973; 1,185		0,988; 1,388							

¹Médias seguidas de letras distintas, minúscula na coluna dentro de FBN (com ou sem) e maiúscula na linha, diferem pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade. ² Médias seguida de ¹ e ² diferem do tratamentos adicionais (1) e (2), respectivamente, pelo teste de Dunnet a 0,05 de probabilidade. W; F: estatísticas dos testes de Shapiro-Wilk e Levene; valores grafados em negrito indicam resíduos com distribuição normal e homogeneidade das variâncias, ambos a 0,01 de probabilidade.

A combinação de manejo do nitrogênio, dada por época de aplicação e dose de *N*-fertilizante e fixação biológica de nitrogênio, afetou o sistema radicular. As sementes produzidas por plantas somente fertilizadas com 100 e 150 Kg ha⁻¹ nos estádios *V*₀ e *V*₄ resultem em plântulas com maior crescimento radicular, não diferindo no entanto das fertilizadas em *V*₄ e *V*₀, respectivamente (para 100 e 150 Kg ha⁻¹ de nitrogênio aplicados nos estádios *V*₀ e *V*₄, massa de 6,25; 4,65; 5,19 e 6,18 cm, respectivamente; Tabela 9). Independente da dose, utilizando ou não bactérias noduladora, não foi constatada diferenças entre os estádios fenológicos (*V*₀, *V*₂ e *V*₄) para a massa da parte radicular (0,003 g ≤ massa da parte radicular ≤ 0,009 g).

As plântulas de feijão tiveram em média 6,5 vezes mais incrementos em massa na parte aérea que na parte radicular, independente do uso da bactéria fixadora de nitrogênio na planta genitora (Tabela 2). As plântulas de feijão apresentaram tamanho similar entre a parte aérea e radicular (1,05) para aquelas advindas de sementes geradas por plantas supridas com nitrogênio bacteriano somente ou sem aporte de nitrogênio. Esta proporcionalidade no tamanho se manteve as combinações de manejo de fertilização nitrogenada, exceto para suplementação com 100 ou 150 kg ha⁻¹ de *N*-fertilizante aplicados em *V*₄ associados a fixação biológica de nitrogênio e 150 kg ha⁻¹ de *N*-fertilizante aplicados em *V*₀ ou *V*₄. Verificou-se também que a relação entre os tamanhos das plântulas possuem diferenças quanto a época de aplicação do nitrogênio na dose de 100 e 150 kg ha⁻¹, com e sem o uso de fixação biológica, respectivamente. Para primeira, a proporcionalidade do tamanho foi reduzida quando a aplicação do *N*-fertilizante ocorreu em *V*₄ e para a segunda em *V*₀ e *V*₄ (Tabela 10).

Tabela 10. Relação entre as massa e tamanhos de plântulas normais de feijão advindas de sementes oriundas de plantas com diferentes manejos da fertilização nitrogenada (fixação biológica, dose e estádio fenológico de aplicação de *N*-fertilizante).

¹ FBN	Estádio	Relação						
		Massa da parte aérea : massa da parte radicular			Média	Tamanho da parte aérea : tamanho da parte radicular		
		Dose de Nitrogênio (Kg ha ⁻¹)				50	100	150
Com	<i>V</i> ₀	5,49	8,29	6,93	6,61 a	0,83 a	0,99 a	0,94 a
	<i>V</i> ₂	7,01	6,48	5,41		0,88 a	0,96 a	0,81 a
	<i>V</i> ₄	6,32	6,48	7,13		0,79 a	0,81 b	0,94 a
	<i>V</i> ₀	7,86	4,54	5,16		0,95 a	0,65 ^(1,2) a	0,65 ^(1,2) b
Sem	<i>V</i> ₂	6,07	6,73	7,66	5,91 a	0,86 a	0,85 a	0,93 a
	<i>V</i> ₄	5,90	4,78	4,50		0,83 a	0,85 a	0,61 ^(1,2) b
² Adicionais		Com FBN (1)		Sem FBN (2)		Com FBN (1)		Sem FBN (2)
Média		7,08		6,59		1,08		1,01 ^(1,2)
³ W; F		0,859; 3,026				0,984; 1,180		

¹Médias seguidas de letras distintas minúscula na coluna dentro de FBN (com ou sem diferem pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade. ² Médias seguida de ¹ e ² diferem do tratamentos adicionais (1) e (2), respectivamente, pelo teste de Dunnet a 0,05 de probabilidade. ³W; F: estatísticas dos testes de Shapiro-Wilk e Levene; valores grafados em negrito indicam resíduos com distribuição normal e homogeneidade das variâncias, ambos a 0,01 de probabilidade.

A época de aplicação do *N*-fertilizante para a relação entre a massa da parte aérea e radicular depende da dose aplicada e o reciproco também foi verdadeiro. Todavia, embora a ANOVA tenha apontado a existência desta diferença, o teste de média não foi robusto para verificar-a (Tabela 11).

Tabela 11. Relação entre as massa de plântulas normais de feijão advindas de sementes oriundas de plantas com diferentes dose de *N*-fertilizante aplicado nos fenológico *V*₀, *V*₂ e *V*₄.

Estádio	Massa da parte aérea : massa da parte radicular		
	Dose de Nitrogênio (Kg ha ⁻¹)		
	50	100	150
<i>V</i> ₀	6,68 a	6,41 a	6,05 a
<i>V</i> ₂	6,54 a	6,60 a	6,54 a
<i>V</i> ₄	6,11 a	5,63 a	5,84 a

¹Médias seguidas de letras distintas minúscula na coluna diferem pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

De fato, as doses de nitrogênio (0; 50; 100 e 150 kg ha⁻¹) não impactaram no crescimento de desenvolvimento das plântulas de feijão oriundas de sementes inoculadas com bactérias fixadora de nitrogênio, pois não foi constatada diferença em nenhuma das variáveis (Figura 25). De modo geral, o nitrogênio de origem bacteriano em plantas de feijão resultou em plântulas com maior variação em torno do valor médio em todas as variáveis de massa, quando comparado com plantas cultivadas sem manejo de fertilização nitrogenada (Figura 18). Outra ratificação foi que, de modo geral, o nitrogênio aplicado em *V*₀ resulta em uma menor variabilidade, com menores variações entre as observações (Figura 25).

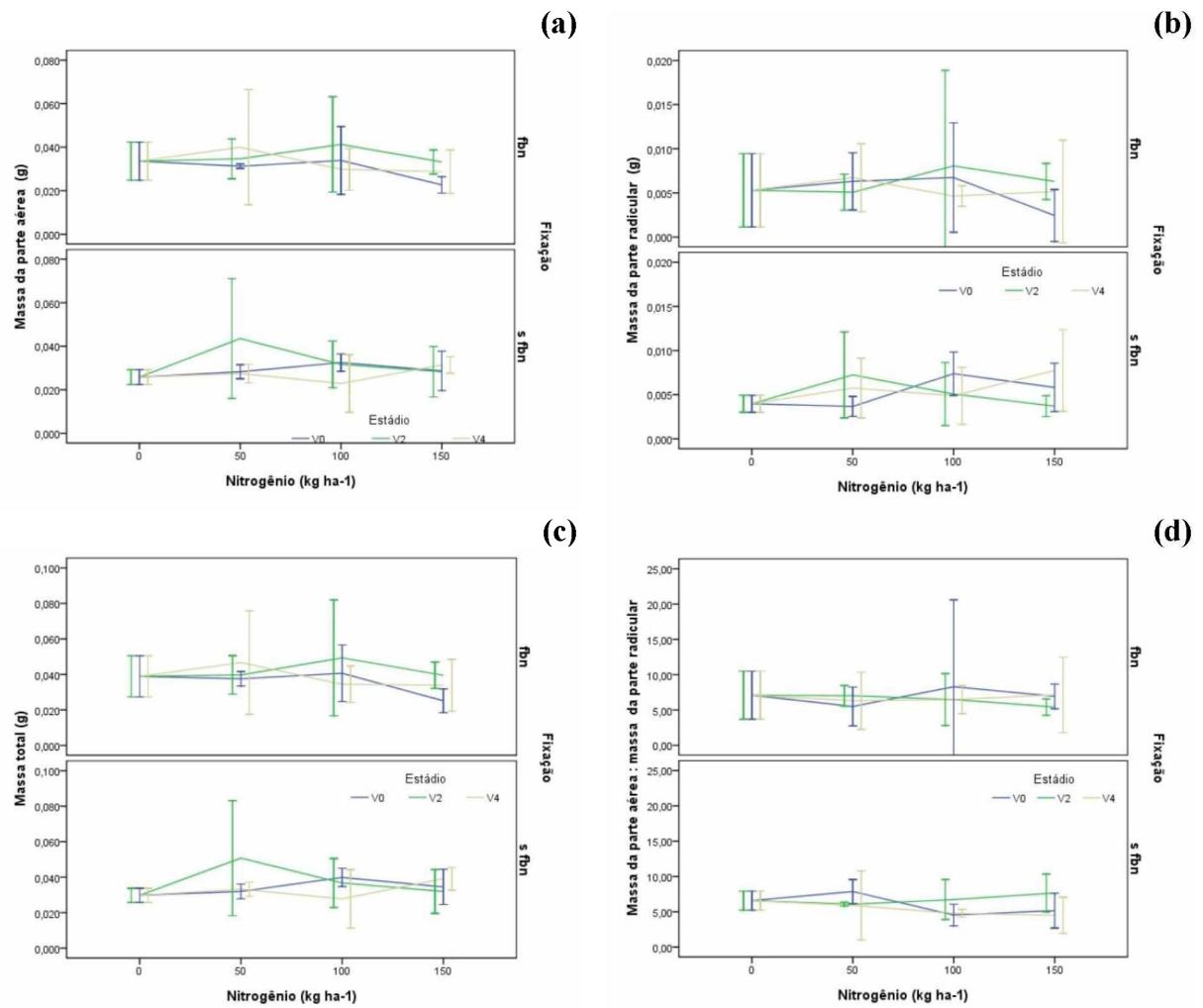


Figura 25. Massa de parte aérea (a), radicular (b) e total (c) e relação da massa de parte aérea e da parte radicular (d) de plântulas normais provenientes do teste de germinação de sementes de feijão oriundas de plantas com diferentes manejos de fertilização nitrogenada (fixação biológica, dose e estádio fenológico de aplicação de N -fertilizante). Sobreposição de intervalos de confiança indicam similaridades entre as médias, utilizando-se a distribuição t de “Student” a 0,05 de significância. A dose “zero” corresponde aos tratamentos adicionais com presença e ausência da fixação biológica de nitrogênio.

O uso da fixação biológica de nitrogênio em plântulas de feijão fertilizadas com nitrogênio nos diferentes estádios não resultou em incremento na massa da parte radicular e total de plântulas de feijão (Tabela 12). Nesta vertente, para tamanho da parte radicular e relação dos tamanhos, a bactéria noduladora resultou, na dose de 100 kg ha^{-1} aplicados em V_0 , em sementes que geraram em plântulas com menor tamanho de parte radicular (4,64 cm), priorizando o crescimento em parte aérea (0,99); o mesmo foi observado para a dose de 150 kg ha^{-1} aplicados em V_0 (3,76 cm e 0,64). Contradicoriatamente, na dose de 150 kg ha^{-1} aplicados em V_4 , a bactéria noduladora resultou em sementes que geraram em plântulas com

maior tamanho de parte radicular e melhor proporcionalidade de desenvolvimento (6,18 cm e 0,61) (Tabela 12).

Tabela 12. Comparação da fixação biológica de nitrogênio nas características das massa e tamanho da parte radicular, massa total e relação entre o tamanho da parte aérea e radicular em plântulas de sementes de feijão oriundas de plantas com diferentes manejos da fertilização nitrogenada (fixação biológica, dose e estádio fenológico de aplicação de *N*-fertilizante).

Dose de Nitrogênio (Kg ha ⁻¹)	¹ FBN	Massa parte radicular (g)			Massa total (g)		
		Estádio			Estádio		
		<i>V₀</i>	<i>V₂</i>	<i>V₄</i>	<i>V₀</i>	<i>V₂</i>	<i>V₄</i>
50	Com	0,006 a	0,005 a	0,006 a	0,038 a	0,040 a	0,047 a
	Sem	0,003 a	0,007 a	0,006 a	0,032 a	0,050 a	0,033 a
100	Com	0,007 a	0,008 a	0,004 a	0,040 a	0,050 a	0,034 a
	Sem	0,007 a	0,005 a	0,005 a	0,040 a	0,037 a	0,028 a
150	Com	0,007 a	0,008 a	0,004 a	0,025 a	0,040 a	0,040 a
	Sem	0,007 a	0,005 a	0,005 a	0,034 a	0,032 a	0,039 a
Dose de Nitrogênio (Kg ha ⁻¹)	¹ FBN	Tamanho da parte radicular (cm)			Tamanho da parte aérea : tamanho da parte radicular		
		Estádio			Estádio		
		<i>V₀</i>	<i>V₂</i>	<i>V₄</i>	<i>V₀</i>	<i>V₂</i>	<i>V₄</i>
50	Com	4,95 a	4,49 a	4,48 a	0,83 a	0,88 a	0,79 a
	Sem	4,06 a	4,66 a	4,77 a	0,95 a	0,86 a	0,83 a
100	Com	4,64 b	4,48 a	4,86 a	0,99 b	0,96 a	0,81 a
	Sem	6,25 a	4,31 a	4,65 a	0,65 a	0,85 a	0,85 a
150	Com	3,76 b	5,02 a	4,41 b	0,94 b	0,81 a	0,94 b
	Sem	5,19 a	3,90 a	6,18 a	0,65 a	0,93 a	0,61 a

¹Médias seguidas de letras distintas na coluna dentro de cada dose de nitrogênio diferem pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

Para tamanho da parte aérea, radicular e total, bem como a relação entre o tamanho da parte aérea e radicular, não se observou diferenças para as doses de *N*-fertilizante aplicadas nos diferentes estádios fenológicos, mesmo com aporte da nitrogênio bacteriano (Figura 26). As variações em torno do valor médio foram aleatórias para parte aérea, radicular e total; todavia, para a relação entre o tamanho da parte aérea e radicular se mostrou consistente, *i.e.*, as plantas de feijão, independente do tamanho, mantêm-se proporcionais em tamanho – investindo recursos igualmente em estruturas subterrâneas e aéreas – e, além disto, com pouca variação; frente ao incremento do *N*-fertilizante, independente da dose e do aporte de nitrogênio bacteriano (Figura 26).

Uma explanação se faz pertinente ao comparar as plântulas advindas de sementes geradas por plantas manejadas exclusivamente com fixação biológica de nitrogênio e sem qualquer manejo: para todas as características de tamanho e, para a relação de tamanho, a uniformidade dos valores observados foi reduzida com uso de fixação biológica de nitrogênio (Figura 26).

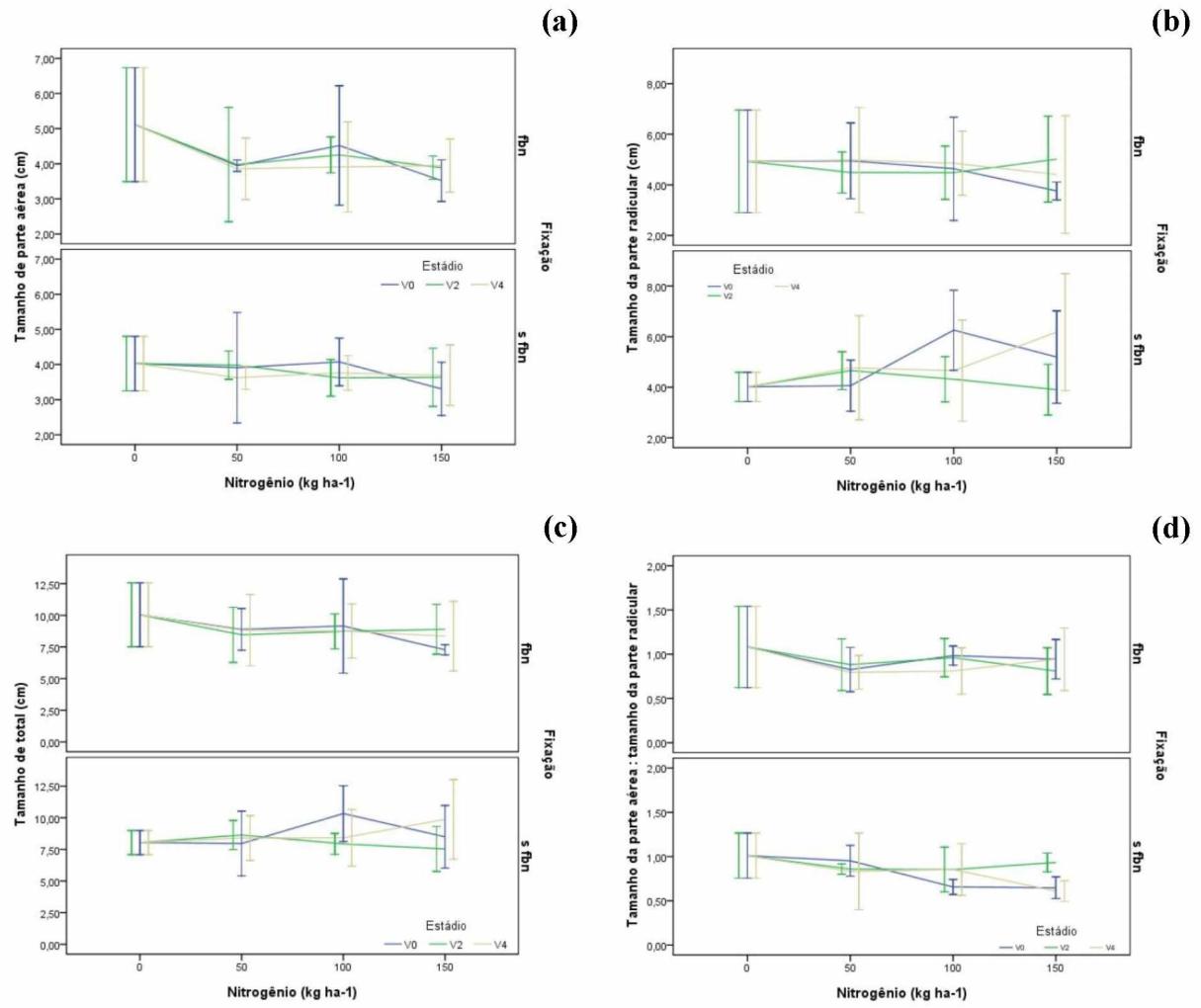


Figura 26. Tamanho de parte aérea (a), radicular (b) e total (c) e relação do tamanho de parte aérea e da parte radicular (d) de plântulas normais provenientes do teste de germinação de sementes de feijão oriundas de plantas com diferentes manejos de fertilização nitrogenada (fixação biológica, dose e estádio fenológico de aplicação de N -fertilizante). Sobreposição de intervalos de confiança indicam similaridades entre as médias, utilizando-se a distribuição t de “Student” a 0,05 de significância. A dose “zero” corresponde aos tratamentos adicionais com presença e ausência da fixação biológica de nitrogênio.

Estresse em sementes

A aptidão das sementes de feijão em tolerar estresse foi influenciada pelo manejo de fertilização nitrogenada adotada para a sua produção. Neste sentido, consonância de manejo na planta genitora, dado por doses, época de aplicação de N -fertilizante e uso de bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico, resulta em combinações que ocasionam sementes que geram plântulas com padrões de desenvolvimento distintos — após o estresse térmico e húmido do teste de envelhecimento acelerado — daquelas cuja planta-mãe foi nutrida com nitrogênio de origem bacteriana (3,33%) ou sem quaisquer técnicas de fertilização (1,33).

Portanto, o uso de *N*-fertilizante na dose de 50; 100 e 150 Kg ha⁻¹ aplicados em *V*₂, *V*₄ e *V*₀, respectivamente; bem como, a combinação de bactérias nodulante junto a 100 Kg ha⁻¹ de *N*-fertilizante aplicado em *V*₂ resultou em decréscimo de desenvolvimento inicial (27,5; 37,5; 31,0 e 16%, de plântulas normais, respectivamente; Tabela 13). Ainda assim, dentre todos os manejo adotados na planta-mãe, o único que aumentou a mortalidade das sementes pós-estresse foi o composto por fixação biológica de nitrogênio e aplicação de 100 Kg ha⁻¹ de *N*-fertilizante aplicado em *V*₂ (66,5%; Tabela 13).

Em geral, as sementes produzidas pelos variados manejo de fertilização nitrogenada e utilizadas no teste de vigor de plântulas apresentavam-se sem qualquer impedimento ao desenvolvimento, visto as baixas ou nulas frequências de sementes duras e dormentes (Tabela 13). As plantas que receberam unicamente nitrogênio de origem bacteriana produziram 1,33% das sementes duras pós-estresse e 2,0 % de sementes dormentes pós-estresse foram constatadas na amostra produzida por plantas que receberam nitrogênio bacteriano, juntamente com *N*-fertilizante na dose de 50 Kg ha⁻¹ de *N*-fertilizante aplicado em *V*₀ (Tabela 13)

Tabela 13. Teste de envelhecimento acelerado de sementes de feijão oriundas de plantas com diferentes manejos da fertilização nitrogenada (fixação biológica, dose e estádio fenológico de aplicação de *N*-fertilizante).

¹ FBN	Estádio	Plântulas normais (%)			Plântulas anormais deterioradas (%)			Plântulas anormais danificadas (%)			
		Dose de Nitrogênio (Kg ha ⁻¹)			Dose de Nitrogênio (Kg ha ⁻¹)			Média	Dose de Nitrogênio (Kg ha ⁻¹)		
		50	100	150	50	100	150		50	100	
Com	<i>V</i> ₀	51,5 a	43,0 ab	53,5 a	4,5	11,5	9,0	8,39 a	32,5	26,5	
	<i>V</i> ₂	61,0 a	16,0 ^(1,2) b	71,0 a	11,5	6,5	4,5		24,0	11,0	
	<i>V</i> ₄	33,5 ^{1,2} a	52,0 a	70,0 a	13,5	7,0	7,5		15,0	29,5	
Sem	<i>V</i> ₀	52,0 ab	63,5 a	31,0 ^(1,2) a	8,5	6,0	7,5	7,33 a	30,5	26,5	
	<i>V</i> ₂	27,5 ^{1,2} b	43,5 a	60,0 a	9,5	10,5	5,3		22,5	20,5	
	<i>V</i> ₄	74,0 a	37,5 ^(1,2) a	49,0 a	2,7	7,0	9,0		23,3	32,0	
² Adicionais	Com FBN (1)		Sem FBN (2)		Com FBN (1)		Sem FBN (2)		Com FBN (1)		
Média	72,0		80,0		4,67		2,0		18,67		
Estádio	<i>V</i> ₀	<i>V</i> ₂	<i>V</i> ₄		<i>V</i> ₀	<i>V</i> ₂	<i>V</i> ₄		<i>V</i> ₀	<i>V</i> ₂	
Média	-	-			7,97 A	7,97 A	7,78 A		28,0 A	20,11 A	
³ W; F	0,972; 2,378				0,981; 1,634				0,980; 1,496		
¹ FBN	Estádio	Sementes mortas (%)			Sementes duras (%)			Sementes dormentes (%)			
		Dose de Nitrogênio (Kg ha ⁻¹)			Dose de Nitrogênio (Kg ha ⁻¹)			Dose de Nitrogênio (Kg ha ⁻¹)			Média
		50	100	150	50	100	150	50	100	150	50
COM	<i>V</i> ₀	10,5 ab	16,0 a	8,5 a	0,0 ⁽¹⁾	0,0 ⁽¹⁾	0,0 ⁽¹⁾	0,11 a	0,0	2,0 ^(1,2)	
	<i>V</i> ₂	3,5 a	66,5 ^(1,2) b	8,5 a	0,0 ⁽¹⁾	0,0 ⁽¹⁾	0,0 ⁽¹⁾		0,0	0,0	
	<i>V</i> ₄	38,0 b	11,5 a	2,0 a	0,0 ⁽¹⁾	0,0 ⁽¹⁾	0,0 ⁽¹⁾		0,0	0,0	
SEM	<i>V</i> ₀	9,0 ab	4,0 a	38,0 a	0,0 ⁽¹⁾	0,0 ⁽¹⁾	0,0 ⁽¹⁾	0,0 a	0,0	0,0	
	<i>V</i> ₂	40,5 b	25,5 a	8,0 a	0,0 ⁽¹⁾	0,0 ⁽¹⁾	0,0 ⁽¹⁾		0,0	0,0	
	<i>V</i> ₄	0,0 a	23,5 a	7,5 a	0,0 ⁽¹⁾	0,0 ⁽¹⁾	0,0 ⁽¹⁾		0,0	0,0	
² Adicionais	Com FBN (1)		Sem FBN (2)		Com FBN (1)		Sem FBN (2)		Com FBN (1)		
Média	3,33		1,33		1,33		0,0 ⁽¹⁾		0,0		
Estádio	<i>V</i> ₀	<i>V</i> ₂	<i>V</i> ₄		<i>V</i> ₀	<i>V</i> ₂	<i>V</i> ₄		<i>V</i> ₀	<i>V</i> ₂	
Média	-	-	-		0,17 A	0,0 A	0,0 A		0,42 A	0,0 A	
³ W; F	0,895; 4,692				0,343; 6,988				0,293; 8,777		

¹Médias seguidas de letras distintas, minúscula na coluna e maiúscula na linha, diferem pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade. ² Médias seguida de ¹ e ² diferem do tratamentos adicionais (1) e (2), respectivamente, pelo teste de Dunnet a 0,05 de probabilidade. W; F: estatísticas dos testes de Shapiro-Wilk e Levene; valores grafados em negrito indicam resíduos com distribuição normal e homogeneidade das variâncias, ambos a 0,01 de probabilidade.

Em suma, verificou-se que a antecipação da fertilização nitrogenada diminui a porcentagem de plântulas normais advindas de sementes estressadas. Isto foi notório para sementes produzidas com uso de fixação biológica em associação com 100 kg ha⁻¹ de N-fertilizante aplicado em V_0 e V_2 (43,0 e 16%, respectivamente) e para àquelas produzidas com 50 kg ha⁻¹ de N-fertilizante aplicado em V_0 e V_2 (52,0 e 27,5%, respectivamente). Ademais, de modo a ratificar a primeira observação, a aplicação antecipada do N-fertilizante reduz a mortalidade das sementes pós-estresse (Tabela 13). Notadamente, observado em sementes produzidas a partir de plantas nutridas por meio de fixação biológica em combinação com: 50 kg ha⁻¹ de N-fertilizante aplicado em V_0 e V_2 (10,5 e 3,5, respectivamente) ou com 100 kg ha⁻¹ de N-fertilizante aplicado em V_2 (66,5%); e por sementes produzidas a partir de plantas nutridas somente com 50 kg ha⁻¹ de N-fertilizante aplicado em V_0 (9,0%). A exceção a regra foram as sementes produzidas por plantas nutridas com 50 kg ha⁻¹ de N-fertilizante, aplicado em V_4 , cujas sementes pós-estresse não apresentaram mortalidade (Tabela 13). Por fim, a época de aplicação do fertilizante nitrogenado e o uso de bactérias nodulíferas não foram promotores da contaminação microbiana (7,78≤Plântulas anormais deterioradas≤7,97% e 7,33≤Plântulas anormais deterioradas≤8,39%, respectivamente) e nos danos fisiológicos em plântulas (20,11≤Plântulas anormais danificadas≤28,0% e 22,61≤Plântulas anormais danificadas≤26,51%, respectivamente), ou na indução de dormência nas sementes (0,0≤Sementes duras≤0,17%; 0,0≤Sementes duras≤0,11%; 0,0≤Sementes dormentes≤0,42% e 0,06≤Sementes dormentes≤0,22%, respectivamente; Tabela 13).

O uso da fixação biológica de nitrogênio em plantas, juntamente com fertilizante nitrogenado aplicado em V_0 não inflaciona a germinação da sementes pós-estresse, independente da dose (31,0≤Plântulas normais≤63,5%; Tabela 14). No estádio V_2 , verificou-se na dose de 50 kg ha⁻¹ que o nitrogênio bacteriano foi benéfico (61,0%), ao passo que na dose de 100 kg ha⁻¹ foi deletério; do mesmo modo que a aplicação de 50 kg ha⁻¹ N-fertilizante em estádio V_4 reduziu a porcentagem de plântulas normais (33,5%; Tabela 14).

Tabela 14. Comparação do uso ou não da fixação biológica de nitrogênio para as variáveis plântulas normais e sementes mortas do teste de envelhecimento acelerado de sementes de feijão oriundas de plantas com diferentes manejos da fertilização nitrogenada (fixação biológica, dose e estádio fenológico de aplicação de N-fertilizante).

¹Dose de Nitrogênio (Kg ha ⁻¹)	¹FBN	Plântulas normais (%)			Sementes mortas (%)		
		Estádio			Estádio		
		<i>V₀</i>	<i>V₂</i>	<i>V₄</i>	<i>V₀</i>	<i>V₂</i>	<i>V₄</i>
50	Com	51,5 a	61,0 a	33,5 b	10,5 a	3,5 a	38,0 b
	Sem	52,0 a	27,5 b	74,0 a	9,0 a	40,5 b	0,0 a
100	Com	43,0 a	16,0 b	52,0 a	16,0 a	66,5 b	11,5 a
	Sem	63,5 a	43,5 a	37,5 a	4,0 a	25,5 a	23,5 a
150	Com	53,5 a	71,0 a	70,0 a	8,5 a	8,5 a	2,0 a
	Sem	31,0 a	60,0 a	49,0 a	38,0 b	8,0 a	7,5 a

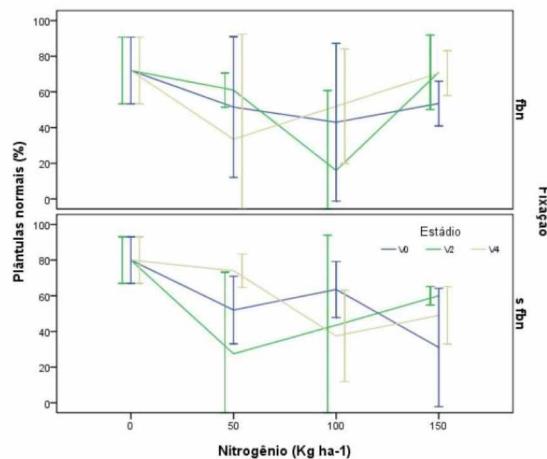
^¹Médias seguidas de letras distintas na coluna dentro de cada dose de nitrogênio diferem pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

O dinamismo da resposta quanto ao uso ou não da fixação biológica de nitrogênio para a produção de sementes de feijão também foi registradas para a característica sementes mortas pós-estresse. Nesta, as sementes que tiveram menor mortalidade, foram: as provenientes de plantas produzidas em associação mutualística com bactérias fixadoras de nitrogênio, juntamente com a aplicação de *N*-fertilizante em *V₀* e *V₂* na dose de 150; 50 kg ha⁻¹ (8,5 e 3,5%), respectivamente; e as provenientes de plantas fertilizadas em *V₂* e *V₄* com 100 e 50 kg ha⁻¹ de *N*-fertilizante (25,5 e 0,0%), respectivamente (Tabela 14).

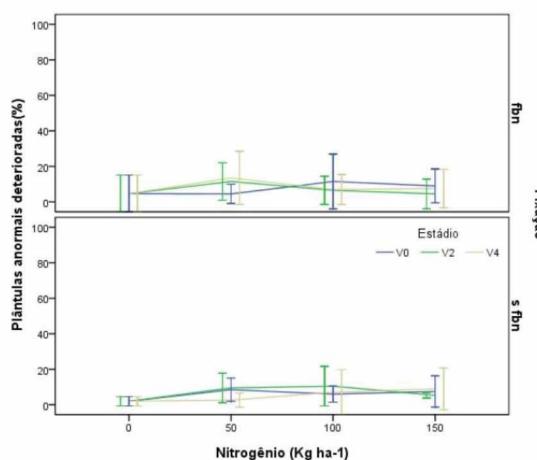
Sementes produzidas por plantas nutridas com nitrogênio bacteriano e fertilizadas nos diferentes estádios de desenvolvimento não apresentaram diferença quanto a dose de nitrogênio aplicado para a característica plântulas normais. Todavia, o mesmo não foi observado quando a nutrição se baseou somente na fertilização mineral. Nesta, quando a fertilização ocorreu com a dosagem de 150 kg ha⁻¹ em *V₀* e *V₄*, houve redução da porcentagem de plântulas normais após o estresse das sementes. Chama-se a atenção ainda para as elevadas amplitudes de variação registradas para as doses intermediárias (50 e 100 kg ha⁻¹; Figura 27).

Para Plântulas anormais deterioradas e danificadas, independente da época de aplicação do *N*-fertilizante e da associação mutualística com bactérias noduladoras, as doses de *N*-fertilizante nas plantas genitoras não refletiram em mudanças do padrão destas características (Figura 27).

(a)



(b)



(c)

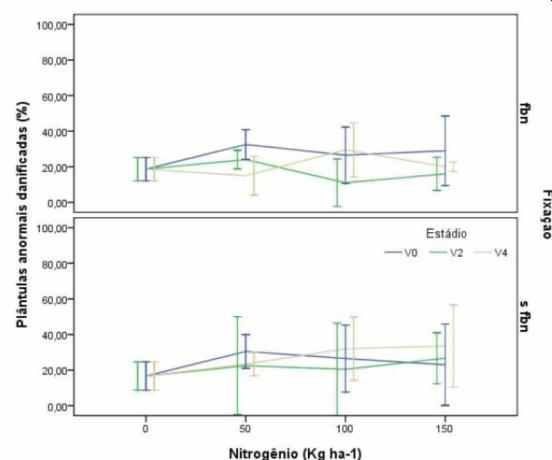


Figura 27. Plântulas normais (a) e anormais deterioradas (b) e danificadas (c) provenientes do teste de envelhecimento acelerado de sementes de feijão oriundas de plantas com diferentes manejos de fertilização nitrogenada (fixação biológica, dose e estádio fenológico de aplicação de *N*-fertilizante). Sobreposição de intervalos de confiança indicam similaridades entre as médias, utilizando-se a distribuição *t* de “Student” a 0,05 de significância. A dose “zero” corresponde aos tratamentos adicionais com presença e ausência da fixação biológica de nitrogênio

Para plantas suplementadas com nitrogênio bacteriano, a mortalidade das sementes pós-estresse produzidas por plantas nutridas com 50 kg ha^{-1} de *N*-fertilizante foi menor do que com 100 kg ha^{-1} de *N*-fertilizante, ambos aplicados V_2 (Figura 27). Para plantas não suplementadas com nitrogênio bacteriano, a resposta obtida para doses para épocas de aplicação foi mais tardia; nesta, a mortalidade das sementes pós-estresse que foram produzidas por plantas nutridas com 0 ou 50 kg ha^{-1} de *N*-fertilizante foi menor que com 150 kg ha^{-1} de *N*-fertilizante, ambos aplicados V_2 . A presença de sementes duras pós-estresse somente foi registrada em sementes produzidas por plantas em estado de mutualismo com bactérias fixadoras de nitrogênio, e, ainda assim, somente para as doses 0 e 100 kg ha^{-1} de *N*-fertilizante aplicados em V_0 (Figura 28).

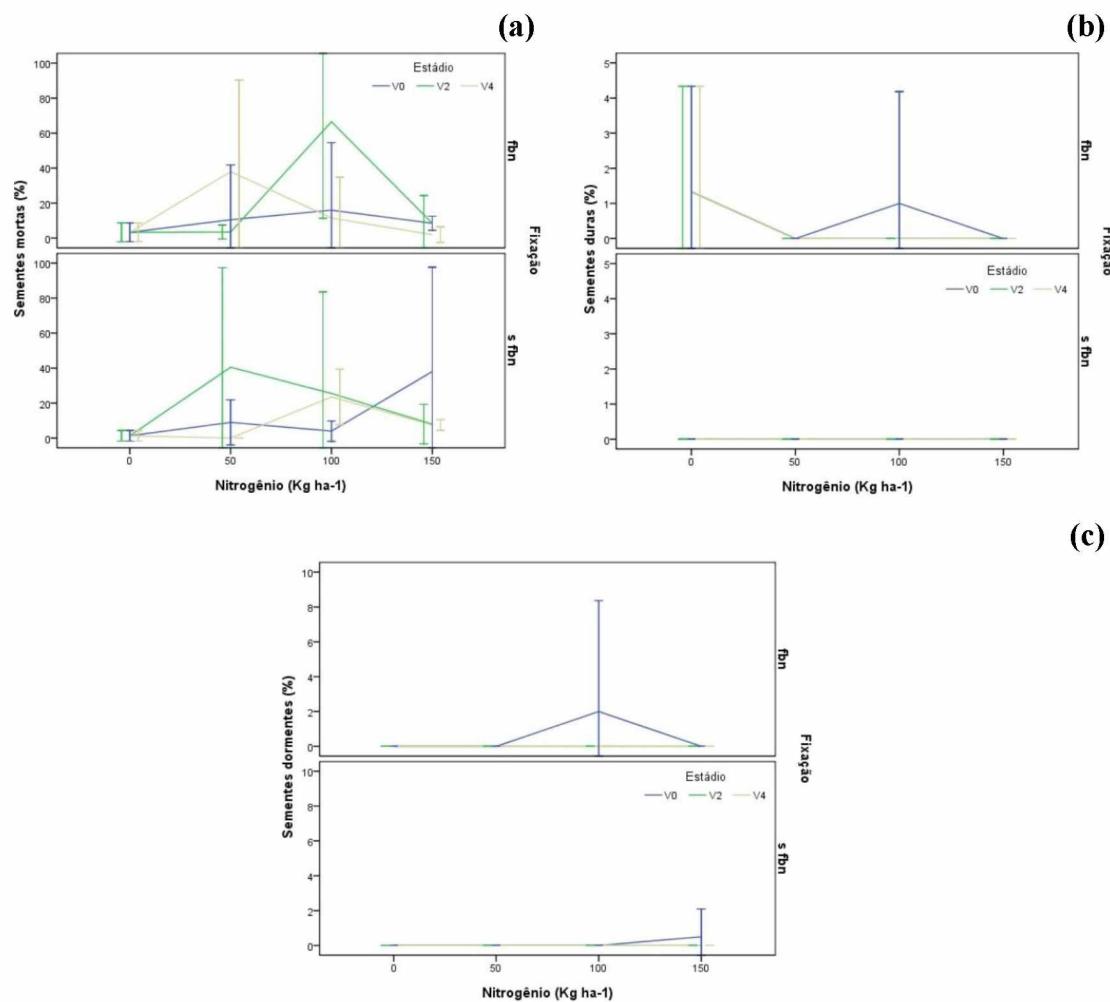


Figura 28. Sementes mortas (a), duras (b) e sementes dormentes (c) do teste de envelhecimento acelerado de sementes de feijão oriundas de plantas com diferentes manejos de fertilização nitrogenada (fixação biológica, dose e estádio fenológico de aplicação de N-fertilizante). Sobreposição de intervalos de confiança indicam similaridades entre as médias, utilizando-se a distribuição *t* de “Student” a 0,05 de significância. A dose “zero” corresponde aos tratamentos adicionais com presença e ausência da fixação biológica de nitrogênio

Correlações

Sementes com alto teor de cinzas apresentam baixa germinabilidade. O teor de cinza, que corresponde a parte mineral da semente, foi inflacionada pelo teor de enxofre ($r = 0,38$). O acréscimo de manganês e zinco decaiu com o incremento dos valores de cinza (Tabela 15).

O teor de carboidratos teve impacto direto e crescente na massa seca da raiz, total, tamanho aéreo das plântulas normais ($r \geq 23$, Tabela 15). Como o próprio nome sugere, o teor de nitrogênio, constituinte protéico, reflete em queda do teor de carboidratos ($r=0,93$, adjetivo: muito alta); causa também impacto substancial sobre o teor de cinza ($r=50$, adjetivo: muito alta; Tabela 15).

Sabe-se que o principal constituinte de proteína é o nitrogênio, ratificado pela correlação perfeita ($r=0,99$; Tabela 15). Posto isto, o mesmo comportamento ocorreu para ambos em relação as massa das raízes das plântulas normais, no qual com aumento do valor nutricional nas sementes de feijão, a massa das raízes das plântulas normais cai, embora a correlação seja baixa ($r=0,28$, Tabela 15).

O incremento do teor de potássio conferiu plântulas com maior comprimento de raiz e, consequentemente, menor relação parte aérea: raiz (Tabela 15). O incremento de magnésio nas sementes, por sua vez, resulta em maior quantidade de plântulas fortes e, por conseguinte, queda das fracas. A germinação tende a ser mais lenta (tempo médio) quando o teor de zinco aumentam ($r=-0,23$). Correlação positiva revela que o aumento do conteúdo interno de cobre na semente aumenta de igual maneira a distribuição do investimento em parte aérea: radicular da massa seca da plântula (Tabela 15). Houve o sinergismo entre o teor endógenos de nitrogênio e cobre nas sementes ($r= 0,22$), bem como entre cobre e magnésio ($r= 0,25$). Todavia, o teor internos de nutrientes se contrabalanceiam para as relações: magnésio/potássio, magnésio/cálcio, ferro/potássio, manganês/cobre; zinco/potássio, zinco/magnésio, zinco/enxofre, zinco/cobre, zinco/manganês. Com o aumento de fibras nas sementes há o aumento de plântulas menores, reflexo de menor parte aérea. O teor de fibra foram acompanhados de maior teor de manganês (Tabela 15).

Características reciprocas, plântulas normais fortes e fracas compartilham a mesma variâncias e, assim, apresentaram correlações negativa perfeita, $r=-0,99$; *i.e.*, a medida que uma cresce a outra decresce proporcionalmente (Tabela 15). Como esperado, plântulas normais fortes apresentaram correlação positiva e as fracas negativa com o tamanho da parte aérea e total ($r\leq0,30$; Tabela 15)

O incremento de plântulas normais contrapôs a queda de plântulas anormais danificadas e deterioradas ($r=0,46$, correlações substanciais; Tabela 15). A contaminação microbiológica, ao ocasionar a deterioração das plântulas, aumenta também a quantidade de mortas de sementes ($r=0,99$, correlação substancial). Ao passo que a mortalidade de sementes é reduzida quando há maior número de plântulas com danos (Tabela 15).

Tabela 15. Coeficiente de correlação linear de Pearson (*r*) entre as variáveis dos testes feitos com sementes de feijão oriundas de plantas submetidas a diferentes manejos da fertilização nitrogenada (fixação biológica, dose e estádio fenológico de aplicação de *N*-fertilizante),

¹ Variável	PNFo	PNFR	PN	PADe	PADa	SM	MA	MR	MT	RM	TA	TR	TT	RT
PNFo	1,00													
PNFR	-1,00	1,00												
PN	0,05	-0,05	1,00											
PADe	-0,14	0,14	-0,46	1,00										
PADa	0,02	-0,03	-0,46	-0,38	1,00									
SM	0,09	-0,09	-0,11	0,41	-0,42	1,00								
MA	0,06	-0,05	-0,32	-0,30	0,56	-0,31	1,00							
MR	-0,05	0,06	-0,15	-0,13	0,26	-0,08	0,63	1,00						
MT	0,03	-0,03	-0,30	-0,28	0,53	-0,27	0,98	0,77	1,00					
RM	0,14	-0,14	-0,02	-0,07	0,09	-0,16	-0,02	-0,64	-0,18	1,00				
TA	0,30	-0,29	-0,27	0,00	0,23	-0,05	0,31	0,11	0,28	0,11	1,00			
TR	0,17	-0,17	0,26	-0,24	-0,01	-0,23	0,22	0,51	0,31	-0,47	0,32	1,00		
TT	0,26	-0,26	0,07	-0,18	0,09	-0,20	0,31	0,44	0,36	-0,30	0,70	0,90	1,00	
RT	0,01	0,00	-0,44	0,24	0,18	0,18	-0,01	-0,37	-0,10	0,51	0,42	-0,70	-0,34	1,00
G(%)	-0,03	0,04	-0,04	0,05	0,06	-0,01	0,10	0,05	0,10	-0,01	0,12	-0,03	0,03	0,10
<i>t_m</i>	0,14	-0,14	-0,25	0,07	0,14	-0,12	0,06	-0,04	0,04	0,09	0,18	-0,06	0,03	0,17
CV _t	0,19	-0,19	-0,02	0,07	-0,12	0,25	-0,05	-0,04	-0,05	-0,01	0,12	-0,01	0,05	0,07
V _m	-0,14	0,14	0,21	0,00	-0,17	0,13	-0,10	0,00	-0,09	-0,07	-0,17	0,05	-0,04	-0,16
I	0,16	-0,16	-0,20	0,12	0,00	0,08	0,07	0,05	0,07	-0,03	0,24	0,05	0,15	0,11
Z	-0,14	0,13	0,19	-0,14	0,02	-0,10	-0,10	-0,11	-0,11	0,08	-0,22	-0,10	-0,18	-0,06
T _o	-0,03	0,03	0,01	-0,04	0,03	-0,18	0,11	-0,01	0,09	0,12	0,07	-0,04	0,01	0,07
t _f	0,27	-0,27	-0,03	0,03	-0,06	0,11	-0,01	-0,05	-0,02	0,02	0,08	-0,02	0,02	0,05
VE	-0,08	0,09	0,19	0,06	-0,22	0,23	-0,11	0,01	-0,09	-0,10	-0,11	0,07	0,00	-0,14
T _{me}	0,10	-0,10	-0,24	0,05	0,15	-0,14	0,19	0,11	0,18	0,01	0,13	0,02	0,08	0,07
λ _t	0,28	-0,28	-0,03	0,04	-0,07	0,15	-0,04	-0,05	-0,04	0,00	0,07	-0,01	0,02	0,04
U%	-0,06	0,06	0,00	0,13	-0,10	-0,06	-0,07	0,07	-0,04	-0,11	0,00	0,14	0,11	-0,09
N	0,06	-0,06	0,13	-0,06	-0,12	-0,12	-0,17	-0,28	-0,21	0,14	-0,19	0,00	-0,09	-0,17
P	-0,02	0,01	-0,01	-0,09	0,08	-0,02	0,00	-0,02	0,00	0,01	0,07	-0,01	0,03	0,06
K	0,06	-0,06	0,02	-0,02	0,07	-0,18	0,16	0,16	0,17	-0,17	-0,08	0,23	0,14	-0,32
Ca	0,14	-0,14	-0,08	-0,05	0,06	-0,08	-0,05	-0,06	-0,05	0,12	0,03	-0,06	-0,03	0,10
Mg	0,22	-0,23	-0,03	-0,06	0,11	0,03	0,07	0,01	0,06	0,10	0,01	0,12	0,09	-0,15
S	0,12	-0,12	-0,07	-0,08	0,10	-0,01	0,08	0,18	0,11	-0,19	0,09	0,08	0,10	-0,01
Cu	0,12	-0,12	-0,04	0,08	0,02	-0,11	-0,06	-0,20	-0,10	0,23	0,06	-0,11	-0,06	0,11
Fe	-0,11	0,11	0,18	-0,07	0,02	-0,15	0,06	0,04	0,06	0,00	-0,15	0,12	0,02	-0,21
Mn	0,05	-0,06	-0,13	0,04	0,11	-0,11	-0,06	-0,12	-0,08	-0,01	-0,01	-0,01	-0,02	-0,01
Zn	0,00	0,00	0,00	0,03	0,11	-0,10	-0,02	-0,09	-0,03	0,07	0,06	0,04	0,06	-0,01
Pro	0,06	-0,06	0,13	-0,06	-0,12	-0,12	-0,17	-0,27	-0,21	0,14	-0,19	0,00	-0,09	-0,17
Fi	-0,05	0,05	0,14	-0,14	-0,07	-0,02	-0,12	-0,11	-0,12	-0,06	-0,23	-0,17	-0,23	-0,01
Ci	0,01	-0,01	-0,06	-0,02	0,01	0,07	-0,02	-0,03	-0,02	-0,05	-0,18	-0,06	-0,13	-0,09
ENN	-0,03	0,03	-0,15	0,09	0,13	0,10	0,20	0,28	0,23	-0,09	0,26	0,07	0,17	0,16
PNE	-0,06	0,06	0,03	0,10	-0,04	-0,09	-0,25	-0,23	-0,26	0,13	0,00	-0,10	-0,08	0,13
PADaE	0,01	0,00	0,09	0,09	-0,20	0,18	-0,24	-0,12	-0,23	0,02	0,05	0,13	0,12	-0,06
PADeE	0,17	-0,17	0,01	0,01	-0,07	-0,04	0,19	0,18	0,20	-0,15	-0,01	0,18	0,13	-0,24
SDoE	0,13	-0,13	-0,18	0,34	-0,18	0,39	-0,15	0,19	-0,07	-0,22	-0,12	-0,15	-0,17	0,09
SDuE	0,19	-0,19	-0,08	-0,07	0,11	0,01	0,01	-0,19	-0,04	0,54	0,36	-0,05	0,12	0,30
SME	0,00	0,00	-0,07	-0,15	0,15	0,00	0,31	0,23	0,31	-0,11	-0,02	0,01	-0,01	-0,06
M100	-0,01	0,02	0,07	0,15	-0,15	-0,11	0,08	0,01	0,07	0,09	0,04	0,03	0,04	0,04

Continua...

...Continuação

¹ Variável	<i>G(%)</i>	<i>t_m</i>	<i>CV_t</i>	<i>V_m</i>	<i>I</i>	<i>Z</i>	<i>T_o</i>	<i>t_f</i>	<i>VE</i>	<i>t_{me}</i>	<i>λ_t</i>	<i>%U</i>	N	P
<i>G(%)</i>	1,00													
<i>t_m</i>	-0,15	1,00												
<i>CV_t</i>	-0,13	0,39	1,00											
<i>V_m</i>	0,16	-0,98	-0,40	1,00										
<i>I</i>	-0,13	0,66	0,69	-0,63	1,00									
<i>Z</i>	0,19	-0,53	-0,62	0,52	-0,95	1,00								
<i>T_o</i>	-0,15	0,38	-0,22	-0,40	-0,23	0,25	1,00							
<i>t_f</i>	-0,10	0,66	0,81	-0,66	0,59	-0,47	0,12	1,00						
<i>VE</i>	0,27	-0,90	-0,10	0,93	-0,39	0,29	-0,58	-0,46	1,00					
<i>t_{me}</i>	0,00	0,71	0,10	-0,76	0,41	-0,40	0,31	0,42	-0,76	1,00				
<i>λ_t</i>	-0,07	0,58	0,86	-0,57	0,64	-0,53	-0,10	0,98	-0,33	0,35	1,00			
<i>%U</i>	-0,07	0,05	-0,10	-0,01	-0,04	0,00	-0,07	-0,03	-0,07	0,11	-0,01	1,00		
<i>N</i>	-0,10	-0,02	0,06	0,02	-0,08	0,06	0,03	0,13	0,00	-0,07	0,12	-0,01	1,00	
<i>P</i>	-0,20	0,02	-0,01	-0,04	-0,06	0,06	0,08	-0,04	-0,07	0,01	-0,06	-0,03	-0,15	1,00
<i>K</i>	0,01	0,03	-0,06	-0,01	0,11	-0,16	-0,12	0,01	0,00	0,16	0,03	0,00	0,13	-0,13
<i>Ca</i>	0,05	0,14	0,03	-0,16	0,06	-0,06	-0,07	0,04	-0,14	0,20	0,05	0,04	-0,12	0,15
<i>Mg</i>	-0,01	-0,10	-0,02	0,07	0,00	-0,02	-0,16	-0,09	0,09	-0,02	-0,06	-0,10	0,14	-0,11
<i>S</i>	-0,20	0,15	-0,01	-0,15	0,15	-0,15	-0,02	0,00	-0,17	0,06	0,01	0,12	-0,06	-0,06
<i>Cu</i>	0,09	0,06	-0,03	-0,06	0,01	0,05	-0,04	0,01	-0,07	0,07	0,02	-0,12	0,22	0,01
<i>Fe</i>	0,16	0,02	-0,22	-0,03	-0,17	0,15	0,21	-0,08	-0,09	0,08	-0,13	0,22	0,13	-0,26
<i>Mn</i>	-0,08	0,13	0,08	-0,10	0,17	-0,17	-0,01	0,08	-0,09	0,01	0,08	-0,19	0,16	-0,09
<i>Zn</i>	0,11	-0,23	0,00	0,20	-0,14	0,11	-0,11	-0,07	0,21	-0,12	-0,05	-0,14	0,22	-0,03
<i>Pro</i>	-0,10	-0,02	0,06	0,02	-0,08	0,07	0,03	0,13	0,00	-0,08	0,12	-0,01	1,00	-0,15
<i>Fi</i>	0,05	0,04	0,20	-0,07	-0,02	0,06	0,08	0,15	-0,02	-0,08	0,14	-0,09	0,17	-0,03
<i>Ci</i>	-0,23	0,05	0,04	-0,05	0,04	-0,04	-0,12	0,04	-0,07	0,03	0,07	0,05	-0,01	0,17
<i>ENN</i>	0,09	-0,01	-0,13	0,02	0,06	-0,06	-0,04	-0,18	0,02	0,08	-0,17	0,02	-0,93	0,14
<i>PNE</i>	-0,02	0,13	-0,02	-0,11	0,06	-0,05	0,02	0,00	-0,12	-0,01	0,00	-0,06	0,13	-0,07
<i>PADaE</i>	0,04	0,00	0,25	0,00	0,06	-0,01	-0,23	0,19	0,10	-0,12	0,24	0,08	0,14	-0,10
<i>PADeE</i>	-0,03	-0,02	-0,01	0,01	-0,09	0,06	0,17	0,13	-0,02	0,09	0,09	0,13	0,04	-0,07
<i>SDoE</i>	0,00	-0,05	-0,03	0,04	-0,01	-0,02	-0,06	-0,03	0,02	0,05	-0,02	0,08	0,06	-0,02
<i>SDuE</i>	-0,06	0,04	-0,02	-0,06	0,03	-0,07	0,17	-0,03	-0,08	0,09	-0,06	-0,06	-0,03	-0,02
<i>SME</i>	0,01	-0,12	-0,09	0,10	-0,06	0,04	0,04	-0,12	0,08	0,04	-0,13	-0,01	-0,21	0,13
<i>M100</i>	0,05	-0,14	0,00	0,12	-0,12	0,07	0,03	0,01	0,09	0,05	0,01	0,18	0,14	-0,07

Continua...

...Continuação

¹ Variável	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn	Pro	Fi	Ci	ENN	PNE	PADaE	PADeE	SDoE	SDuE	SME	M100
K	1,00																		
Ca	-0,11	1,00																	
Mg	0,30	0,31	1,00																
S	0,12	-0,15	-0,03	1,00															
Cu	0,12	0,00	0,25	-0,03	1,00														
Fe	0,05	-0,01	0,00	-0,14	-0,01	1,00													
Mn	0,13	-0,07	0,03	-0,14	0,30	-0,12	1,00												
Zn	0,26	-0,05	0,35	-0,37	0,43	-0,12	0,36	1,00											
Pro	0,13	-0,12	0,15	-0,06	0,22	0,13	0,16	0,22	1,00										
Fi	-0,09	0,00	-0,10	-0,11	-0,03	-0,12	0,22	0,17	0,18	1,00									
Ci	0,16	0,04	0,00	0,38	-0,18	0,03	-0,24	-0,38	-0,01	-0,05	1,00								
ENN	-0,09	0,09	-0,09	0,06	-0,16	-0,08	-0,19	-0,20	-0,93	-0,50	-0,07	1,00							
PNE	-0,05	0,14	-0,05	-0,03	0,15	0,12	0,02	-0,07	0,13	0,08	-0,01	-0,15	1,00						
PADaE	-0,10	0,02	0,02	-0,24	0,16	0,04	0,15	0,17	0,14	0,14	-0,03	-0,17	0,05	1,00					
PADeE	0,06	-0,19	0,02	0,03	0,03	-0,07	0,04	0,09	0,04	-0,06	-0,15	0,01	-0,48	-0,17	1,00				
SDoE	-0,03	0,02	0,04	-0,01	0,00	-0,10	0,02	0,04	0,06	-0,04	-0,09	-0,03	0,04	-0,06	0,04	1,00			
SDuE	-0,38	0,09	0,06	-0,09	0,07	-0,12	0,02	0,06	-0,03	-0,09	-0,17	0,08	0,03	0,06	0,06	-0,03	1,00		
SME	0,09	-0,10	0,03	0,13	-0,23	-0,12	-0,10	-0,03	-0,21	-0,12	0,08	0,23	-0,89	-0,45	0,30	-0,06	-0,09	1,00	
M100	0,06	0,02	0,01	-0,18	-0,06	0,03	0,00	0,26	0,14	0,05	-0,11	-0,13	0,13	0,02	0,21	-0,08	0,06	1,00	

PN: plântulas normais; PNF: plântulas normais fortes; PNFr: plântulas normais fracas; PADe: plântulas anormais deterioradas; PADa: plântulas anormais danificadas; SM: sementes mortas; SDu: sementes duras; SDo: sementes dormentes; MA: massa da parte aérea; MR: massa da parte radicular; MT: massa total; RM: relação entre as massas; TA: tamanho da parte aérea; TR: tamanho da parte radicular; TT: tamanho total; RT: relação entre os tamanhos; $G\%$: germinabilidade; t_m : tempo médio; t_{me} : tempo mediano; t_0 : tempo inicial; t_f : tempo final; λ_t : amplitude do tempo; CV_{t_i} : coeficiente de variação do tempo; I: incerteza; Z: sincronia; VE : índice de velocidade de Magure; U%: umidade; M100: massa de 100 sementes; N: nitrogênio; P: fosforo; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; S: enxogre; Cu: cobre; Fe: ferro; Mn: manganes; Zn: zinco; Pro: proteína; Li: lipídios; Fi: fibra total; Ci: cinza; ENN: extrato não nitrogenado; PNE: plântulas normais- envelhecimento acelerado (E.A.); PADaE : plântulas anormais danificadas (E.A.); PADeE : plântulas anormais deterioradas (E.A.); SME: sementes mortas (E.A.); SDuE: sementes duras (E.A.); SDoE: sementes dormente (E.A.) e M100: massa de 100 sementes.

A massa seca da parte aérea se correlaciona de modo moderado e negativo com a quantidade de plântulas normais, anormais infecionadas ($r = -0,32; -0,30$); enquanto é correlacionada positivamente com o número de sementes mortas ($r = 0,31$). A massa seca total também é inversamente proporcional à quantidade de plântulas normais, anormais infecionadas e sementes mortas ($r = -0,30; -0,28; -0,27$, respectivamente). Esses resultados demonstram que a melhor aptidão morfofisiológica de plântulas de feijão não acarreta em incremento de acúmulo de massa seca seca (Tabela 15). A massa seca de raiz de plântulas normais e a porcentagem de plântulas anormais danificadas também são inversamente proporcionais ($r = 0,26$). Para a característica tamanho da parte aérea, correlações de $0,30; -0,29; -0,27; -0,23$ com a quantidade plântulas normais fortes, fracas e total e anormais danificadas, respectivamente, ratificam a hipótese (Tabela 15). Nesta vertente, ainda tem-se as correlações de $0,26; 0,24; 0,23$ e $0,51$; entre o tamanho da parte aérea das plântulas normais com a quantidade de plântulas normais, anormais deterioradas e danificadas e sementes mortas, respectivamente.

A independência das medidas de massa e tamanho de plântulas são ratificadas com as correlações tidas como moderadas ou baixas entre: massa e tamanho da aérea; massa total e tamanho da parte aérea; tamanho e massa do sistema radicular; tamanho do sistema radicular e a massa total; a relação entre as massa e o tamanho da raiz; tamanho da parte aérea e o tamanho do sistema radicular; massa aérea e tamanho total; massa do sistema radicular e tamanho total; massa e tamanho total e, por fim, relação entre massa e tamanho total (Tabela 15).

Correlação espúria foi registrada algumas características, sendo elas: sementes pós-estresse embebidas e plântulas anormais deterioradas; sementes estressadas e embebidas e sementes mortas; sementes duras pós-estresse e a relação entre as massas secas da plântula; sementes duras pós-estresse e o tamanho da parte aérea da plântula; sementes duras pós-estresse e a relação entre os tamanhos da plântula; sementes mortas após estresse com a massa seca aérea, radicular e total de plântula; sementes mortas pós-estresse e a massa seca da plântula (Tabela 15).

As correlações substanciais entre massa seca total e plântulas normais, bem como relação entre os tamanhos das plantas jovens com plântulas normais demonstram que possivelmente com o acréscimo do número de plantas normais a amostragem das medidas de massa e tamanho melhoram. Assim a correlação negativa, indica a possibilidade de mensurações subestimadas (Tabela 15).

A característica massa e comprimento de plântulas foram dadas pelo cômputo das partes aéreas e radiculares, justificando assim as correlações muito altas, acima de 0,70, para massa seca total de plântulas normais com a massa seca da parte aérea e da parte radicular; tamanho de parte aérea e radicular com o tamanho total, também a correlação negativa de 0,64 (substancial) entre a massa seca parte radicular com a relação das massa (aérea pela radicular) (Tabela 15).

A plântula investiu concomitante em massa tanto na parte aérea quanto no sistema radicular, visto correlações positivas ($r=0,63$, correlações substanciais; Tabela 15). Aparentemente, quando a planta optou por investir em massa no sistema radicular, o tamanho das plântulas reduz ($r=0,37$). O mesmo foi observado, quando a planta investe em tamanho de parte aérea ou em tamanho total ($r=0,42$ e $0,34$, respectivamente), no qual a massa no sistema radicular cai. Quando investe em tamanho de raiz, o oposto ocorre ($r=0,70$), aumentando a massa da raiz.

Para as sementes de feijão, o metabolismo acelerado, e, consequentemente protrusão do embrião precocemente (tempo médio e mediano), ocasionou queda da quantidade de plântulas normais ($r=0,25$; $0,24$), fato também observado pelas correlações de $0,30$ e $-0,27$ entre o tempo final e a porcentagem de plântulas normais fortes e fracas, respectivamente; e de $0,28$ e $-0,28$ entre a amplitude temporal e a porcentagem de plântulas normais fortes e fracas, respectivamente. Com a maior frequência diária da germinação (VE), houve queda de mortalidade de sementes quando do fim do experimento ($r=0,22$); ao passo que aumento na heterogeneidade na germinação (CVt) incrementa mortalidade de sementes. Por fim, processo germinativo síncrono e menor entrópico resulta em plântulas com maior comprimento da parte aérea ($r= 0,24$ e 23 para sincronia e incerteza, respectivamente) (Tabela 15).

O tempo e a velocidade média apresentou correlação muito alta ($r=0,98$), por o cálculo da velocidade ser exatamente o inverso do valor do tempo médio, mas isso não refletiu nas mesma correlações para destas medidas com as demais. Ainda neste contexto, todas as medidas de germinação envoltas ao tempo e velocidade metabólica apresentaram correlações entre si. Cabe ressaltar que o tempo final contribui substancialmente para a rapidez ($r= 0,66$ para velocidade e tempo médio), heterogeneidade ($r= 0,81$, adjetivo: muito alta), imprevisibilidade ($r= 59$, adjetivo: substancial) e consequente sincronia do processo germinativo ($r= 47$, adjetivo: moderada) (Tabela 15).

A incerteza apresentou correlação muito alta com a sincronia, embora negativa (-0,95). Assim, a incerteza apresentou também correlações com as mesmas medidas que a sincronia havia se correlacionado, todavia no sentido oposto (Tabela 15).

Plântulas com maior massa seca aérea, radicular e total originaram-se de sementes com menor tolerância ao estresse (Tabela 15), embora essas mesmas sementes resultassem em queda da porcentagem de plântulas anormais danificadas. Sementes que espalhavam a germinação possuem menor tolerância ao estresse térmico e úmido, aumentando a porcentagem de plântulas anormais danificadas. Sementes com germinação precoce e cuja amostra possui amplitude temporal de eventos germinativos mais estreitos repercutiram em menor número de plântulas anormais danificadas quando submetidas ao estresse (Tabela 15).

A tolerância ao estresse térmico e úmido parece ser advindo dos teores internos de enxofre, potássio, cobre e carboidratos (Tabela 15). Correlação negativa entre teor endógeno de enxofre e porcentagem de plântulas anormais danificadas indica que quando o teor de enxofre cai, consequentemente a porcentagem de plântulas anormais danificadas aumentam. Correlações negativas entre teor endógeno de potássio e porcentagem de sementes duras também foram constatados (Tabela 15), bem como entre teor endógeno de cobre e carboidratos com a porcentagem de sementes mortas. Ademais, a medida que o estresse causa a morte das sementes, as porcentagem de plântulas normais, anormais danificadas e deteriorada do teste de envelhecimento acelerado aumentam (Tabela 15).

Um indicativo sobre o efeito do estresse da semente sobre a plântula está na desproporcionalidade de crescimento em comprimento e o aumento de infecções em plântulas. Neste caso, com o aumento das plântulas anormais deterioradas ocorre a redução de plântulas normais ($r= 0,48$) (Tabela 15)

Resultado Geral

Sementes de feijão-comum superprecoce cultivar BRS FC104, produzidas por manejos de fertilização nitrogenada (inoculação com bactérias fixadoras de nitrogênio – *Rhizobium leucaenae*, estirpes SEMIA 4077, SEMIA 4080 e SEMIA 4088 – e/ou fertilização mineral em V_0 , V_2 e V_4), quando em anidrobiose, apresentaram 10% de teor de água e massa de cem sementes de aproximadamente 12g (Figura 4).

A composição química mostrou-se uma característica conservativa, sendo pouco influenciada frente ao incremento de *N*-fertilizante aplicado em diferentes estádios fenológicos (embora aumente a variabilidade entre os indivíduos-sementes) ou pelo processo mutualístico com *Rhizobium leucaenae*. Em geral, as sementes continham 1% de lipídio, 20% de proteínas, 65% de carboidratos e 4% de (cinza) (parte mineral) (Figura 5 e 9)

O teor de lipídeos foi reduzido quando *N*-fertilizante foi aplicado em estádios iniciais do desenvolvimento do feijoeiro (V_0 e V_2 - Figura 5). O mutualismo com bactérias fixadoras de nitrogênio impactou a incorporação das macromoléculas de reserva dos indivíduos-sementes, gerando dispersão em torno do valor médio (vide maiores amplitudes de intervalo de confiança para sementes produzidas por plantas em mutualismo; Figura 5 e 9). Teores de 35; 45 e 12,5 g kg⁻¹ de sementes de nitrogênio, fosforo e potássio, respectivamente, foram observados, independente do manejo (Figura 7a, b e c). O manejo da fertilização nitrogenada na planta-mãe foi mais crítico na variação dos teores de nitrogênio entre indivíduos-semente (Figura 7a). Além disso, as sementes apresentavam 3 g kg⁻¹ de cálcio, 2 g kg⁻¹ de magnésio e 1,4 g kg⁻¹ de enxofre (Figura 10d e 11). As doses de *N*-fertilizante na planta-mãe reduzem os teores de enxofre e cálcio nas sementes (Figura 7d 11b), todavia a FBN faz com que a planta tolere o estresse provocado pelo *N*-fertilizante não reduzindo os teores de enxofre. Os micronutrientes, de modo geral, não foram afetados pelo manejo da adubação nitrogenada mineral (*N*-fertilizante) (Figura 12); embora altas dispersões entre indivíduos-sementes tenham sido registradas (e.g., 49,0<Fe< 200 mg kg⁻¹). O teor nas sementes foram próximos a 10 mg kg⁻¹ para Cobre, 60 mg kg⁻¹ para Zinco e entre 35 e 45 mg kg⁻¹ para Manganês

A combinação doses de *N*-fertilização, estádio fenológico para a aplicação e associação com *Rhizobium leucaenae* foi incapaz de alterar os padrões de incrementos de germinação (para todas as curvas de germinação acumulada, ajustes a regressão logística com quatro parâmetros) e de frequência relativa do processo germinativo, demonstrando ser um aspecto provavelmente espécie-específico (aqui considerando-se a espécie domesticada)

(Figura 10, 14, 15, 16, 17, 18, 19). Em geral, o processo foi unimodal e assimétrico à direita, assemelhando-se à distribuição Normal e indicando que um evento concentrado nos primeiros instantes pós-semeadura e concentrado no tempo (*vide* frequência relativa e germinação acumulada. A proximidade das medidas de posição do tempo ratificam essa distribuição e permitem o uso confiável do CV_t . Isto ainda é ratificado com a equiparação dos tempos da sobrevivência e da curva de germinação acumulada com o tempo médio e mediano estimados por medidas de posição dos momentos da germinação.

A inoculação com bactérias fixadoras de nitrogênio promove sutil modificação da dinâmica da germinação das sementes (observação integrada das curva de sobrevivência, taxa de risco, frequência e germinação acumulada). A probabilidade das sementes não germinarem nos primeiros momentos da germinação *stricto sensu* da amostra foram maiores para sementes provenientes de plantas cultivadas sem FBN. O decréscimo dessa probabilidade após esse período foi acentuado e acompanhado de aumentos das taxas de risco de protrusão embrionária. Concomitantemente, as taxas de germinação aumentaram, tendendo a estabilidade próximo ao período que ocorreu o maior pico da frequência relativa da germinação (coincidindo com os tempo médios e medianos estimados, independente da forma de cálculo). Nesta ocasião, o risco das sementes advindas de FBN germinar foi superior. A baixa probabilidade de sobrevivência no final do processo, advindas da amplitude menor, foi acompanhada de baixos incrementos nas curvas de germinação. Ademais, risco das sementes germinarem quando produzida somente com FBN foi mais constantes (Figura 10, 14, 15, 16, 17, 18, 19).

Sementes produzidas por plantas em mutualismo com bactérias fixadoras de nitrogênio *Rhizobium leucaenae* e fertilizadas em V_0 com 150 kg ha^{-1} apresentaram redução da probabilidade não germinar e maior pico de frequência relativa da germinação em torno do segundo dia, e riscos de protrusão embrionária maior e mais constantes (Figura 10a e 14). Quando a planta-mãe foi fertilizada em V_2 , as sementes apresentaram processo germinativo com menor amplitude. Como esperado, independente da dose, no período correspondente ao pico germinativo (entre 1,76 e 2,1 dias), ocorreu os maiores decréscimos da probabilidade da sementes não germinarem. Foi notório que o *N*-fertilizante culminou em maior probabilidade das sementes não germinarem e que o incremento da dose incrementou estes valores. Os riscos de indivíduos-semente germinarem durante a germinação *stricto sensu* da amostra foi ascendente, formando único pico somente para a dose de 100 kg ha^{-1} de nitrogênio ($0,8 \text{ dias}^{-1}$) (Figura 10a e 15). Para os demais tratamentos, a taxa de risco foi polimodal. Fertilizando as

plantas-mãe em V_4 , os picos germinativos para sementes advindas da fertilização nitrogenada foram maiores que das sementes produzidas por plantas em mutualismo somente, acarretando em probabilidade de não germinar maiores na presença de nitrogênio até 2,43 dias; a partir desta data, as dose de 50 e 150 kg ha⁻¹ apresentam menores probabilidades em relação às sementes produzidas por plantas em mutualismo somente. A maior previsibilidade do processo germinativo ocorreu para a dose de 150 kg ha⁻¹, o que se deu em virtude da menor oscilação ao longo do tempo e maior uniformidade dos valores, acima de 0,2 dia⁻¹ (Figura 10a e 16)

As plantas somente nutridas com *N*-fertilizante em V_0 (Figura 14) produziram sementes com processo germinativo mais longo e com maior probabilidade de sobrevivência durante a germinação *stricto sensu* da amostra que àquelas cultivadas sem suplementação (Figura 13b). A maior proporção germinativa das sementes com 150 kg ha⁻¹ (74%) foi decorrente das chances crescentes das sementes germinarem até o tempo médio, que se mantiveram altas posteriormente (Figura 10b e 17). A fertilização nitrogenada em V_2 ocasionou picos germinativos no segundo dia e menores próximos ao quarto dia, próximo à estabilidade do processo. Esse acréscimo imprevisível de germinação fez com que a taxa de risco fosse desuniforme. Esses picos tardios somente não foram registrados para sementes produzidas por plantas fertilizadas com 100 kg ha⁻¹. Esta dose reduziu o tempo médio dado pela análise de sobrevivência, além possibilitar um processo fisiológico mais previsível. Cabe salientar, que as probabilidades de não germinar dessas sementes foram menores durante toda a germinação *stricto sensu* (Figura 10b e 18). A fertilização em V_4 não alterou o modelo de incremento da germinação das sementes produzidas. Todavia, as sementes produzidas por plantas nutridas 100 kg ha⁻¹ resultaram na presença dois picos germinativos secundários e menores, ao invés de um, entre o quarto e quinto dia. Em consequência, as chances das sementes germinarem foram menor ao longo do tempo (Figura 10b e 19).

Aplicando 50 kg ha⁻¹ em estádio fenológico tardio (V_4), independente da FBN, gerou sementes com pico de germinação relativa mais alto e com uma calda apresentando maiores valores. Além disso, essa combinação aumenta a probabilidade das sementes não germinarem. 100 kg ha⁻¹ de nitrogênio em V_2 , independente da FBN, acarretou em reduções drásticas na probabilidade das sementes não germinarem e maiores taxas de risco das sementes germinarem. Para as sementes cuja planta-mãe foi unicamente nutridas com *N*-fertilizante, as taxas de risco foram mais estáveis; enquanto as produzidas com fixação biológica apresentaram o maior valor da taxa de risco. A fertilização com 150 kg ha⁻¹ de nitrogênio nos

diferentes estádios fenológicos pouco impactou na probabilidade de não germinação de sementes e, ainda que com grandezas distintas para cada estádio, a taxa de risco apresentou comportamento similar. Entretanto, essa fertilização produziu sementes que, no terço final do processo fisiológico, apresentava chances altas e crescentes de germinação, sobretudo para as sementes advindas da fertilização no estádio V_2 . As sementes advindas de plantas em mutualismo apresentaram probabilidade de não germinar inferior, mas mais e maiores picos de frequência germinativa (Figura 10, 14, 15, 16, 17, 18 e 19).

Diante do exposto, o manejo da fertilização nitrogenada teve maior impacto sobre o início do processo germinativo da amostra, em que a variabilidade intraespecífica normalmente é mais expressa. O nitrogênio de origem bacteriana foi suficiente para a manutenção das rotas fisiológicas da planta-mãe quando do processo de desenvolvimento das sementes, uma vez que não afetou as probabilidades de não germinação. As diferenças entre as curvas de sobrevivência foram decorrentes, prioritariamente, da amplitude temporal do processo germinativo (Figura 10, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20 e Tabela 3 e 4).

Ainda que apresentem estas particularidades sobre o processo germinativo, os manejos de fertilização de nitrogênio (0 a 150 kg ha⁻¹ aplicados em V_0 , V_2 ou V_4 com ou sem mutualismo por FBN) resultaram em sementes com medidas de germinação similares (Tabela 5, 6 e 7). A germinabilidade, tempo inicial, final, médio e mediano, bem como a velocidade média e de Maguire, o coeficiente de variação do tempo, a sincronia e a amplitude temporal foram similares entre os manejos adotados para a planta-mãe (Tabela 5, 6 e 7). O processo foi rápido, com velocidade média de 0,5 dia⁻¹, iniciando precocemente e findando quatro dias após a semeadura (Tabela 5). O incremento de nitrogênio fez com que as sementes produzidas apresentaram germinação crescente (Figura 18). As medidas extremas de tempo (inicial e final) mostraram-se com valores estáveis frente à variação de nitrogênio (Figura 19). As medidas de tendência central de tempo de germinação foram mais propensas a refletir o efeito do nitrogênio, quanto maior é a dose de nitrogênio aplicado, menor será o tempo médio do processo germinativo; este comportamento é independente da época de aplicação de nitrogênio e da inoculação das sementes da planta genitora com bactérias fixadora de nitrogênio (Figura 20). O tempo mediano da sobrevivência e das regressões foram similares ao estimados para momentos (da germinação) (Figura 10, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 23 e Tabela 5). Para velocidade, condições de fixação biológica de nitrogênio, o incremento por quilograma de *N*-fertilizante na velocidade foi de 0,0003 dia⁻¹ ($R^2=97,97\%$) e na ausência da fixação, o ponto máximo de inflexão foi com 44,44 kg ha⁻¹ de nitrogênio, em que a velocidade

foi de 0,41 dia⁻¹ (Figura 21a e b). Este comportamento foi similar para a velocidade de Maguire, em que a menor frequência diária de germinação registrada foi de 23,03 protrusões embrionárias dia⁻¹ (Figura 21c e d). Sementes produzidas por plantas apenas fertilizadas com nitrogênio mineral tiveram maior sincronia do processo ($Z=0,23$); apresentando maior entropia do sistema, ou seja, incerteza ($I=2,46$ bits) (Tabela 6, 7 e Figura 22). Deve-se salientar que somente a aplicação isolada de nitrogênio na dose 50 kg ha⁻¹ em V_4 foi capaz de reduzir a incerteza da germinação (Tabela 6, 7 e Figura 22e e f). A aplicação integral da dose de nitrogênio em V_4 aumentou a sincronia ($Z=0,28$) e reduziu a dispersão ao redor do tempo médio ($CV_t=25,97\%$), incerteza ($I=2,09$ bits) e a amplitude temporal ($\lambda t=2,75$ dias) (Figura 22).

O mutualismo bacteriana na planta-mãe associado a altas doses de nitrogênio – 150 kg ha⁻¹ – em estádio de desenvolvimento vegetativo precoce (V_0) impactou substancialmente na habilidade de estabelecimento inicial de plântulas (Tabela 8). Nesta condição, houve 78% de plântulas normais, um incremento de 26,08 e 28,08% em comparação com as sementes advindas de plântulas nutridas somente com nitrogênio bacteriano (52,25%) e advindas de plantas na ausência de quaisquer fontes de nitrogenada – bacteriana ou mineral – (50,25), respectivamente (Tabela 8)

A fertilização mineral, por sua vez, pode ser aplicada em quaisquer estádios de desenvolvimento da planta do feijoeiro, independente da dose e do uso de bactérias nodulantes, sem afetar a capacidade de estabelecimento em campo (Tabela 8, Figura 23). Ao produzir sementes aplicando *N*-fertilizante nas plantas tardiamente, a porcentagem de plântulas normais fortes diminui (Tabela 8, Figura 23a). De modo geral, o nitrogênio mineral causou variabilidade similar quanto a produção de plântulas normais, independente da dose; embora, o estádio de aplicação seja preponderante na magnitude dessa variação (Figura 23). Doses crescentes de *N*-fertilizante não promoveram incrementos de plântulas normais fortes em sementes oriundas de planta-mãe com aporte de nitrogênio bacteriano (Figura 23b). Em geral, a fertilização nitrogenada na produção das sementes não incrementou e/ou potencializou a quantidade de plântulas anormais deterioradas ou sementes mortas. A aplicação precoce e tardia (V_0 e V_4 , respectivamente) de *N*-fertilizante, entretanto, fez com que a planta-mãe produzisse sementes com maior porcentagem de plântulas anormais danificadas (Tabela 8, Figura 24).

Os manejos com fixação biológica de nitrogênio em plantas geraram plântulas com maior comprimento, muito pelo maior investimento em parte aérea (Tabela 9 e 10). A época

de aplicação do *N*-fertilizante não foi o fator preponderante para massa da estrutura radicular, tamanho da parte aérea e tamanho total de plântulas normais (Tabela 9). A aplicação do *N*-fertilizante em V_2 e V_4 promoveu sementes aptas a desenvolver plântulas com maior massa da parte aérea (Tabela 9). Somente foi verificada diferença na época de aplicação de 100 kg ha⁻¹ de fertilizante mineral, sem o uso de bactérias fixadora de nitrogênio. Neste tratamento foi constatado que a aplicação em V_4 reduz a massa total das plântulas (Tabela 9). As sementes produzidas por plantas somente fertilizadas com 100 e 150 Kg ha⁻¹ nos estádios V_0 e V_4 resultam em plântulas com maior crescimento radicular (Figura 25). As plântulas de feijão tiveram, em média, 6,5 vezes mais incrementos na parte aérea que na parte radicular (Tabela 9, 10, 11, 12). A proporcionalidade do comprimento da planta se manteve para as combinações de manejo de fertilização nitrogenada, exceto para suplementação com 100 ou 150 kg ha⁻¹ de *N*-fertilizante aplicados em V_4 associados a fixação biológica de nitrogênio e 150 kg ha⁻¹ de *N*-fertilizante aplicados em V_0 ou V_4 (Tabela 9 e Figura 26). De modo geral, o nitrogênio de origem bacteriano resultou em plântulas com maior variação na massa de indivíduos-plântula, quando comparado com plantas cultivadas sem manejo de fertilização nitrogenada (Figura 25). Outra ratificação foi que, de modo geral, o nitrogênio aplicado em V_0 resulta em menor variabilidade para massa (Figura 25). Mutualismo com *Rhizobium leucaenae* e a suplementação de 100 kg ha⁻¹ *N*-fertilizante em V_0 proporcionou sementes aptas a formar plântulas com menor tamanho de parte radicular (4,64 cm), priorizando o crescimento em parte aérea (Figura 26). Contradicoriatamente, a bactéria noduladora associada a 150 kg ha⁻¹ em V_4 resultou em sementes que geraram plântulas com maior comprimento de parte radicular e melhor proporcionalidade de estruturas de desenvolvimento (parte aérea e radicular) (Figura 25).

A aptidão das sementes de feijão em tolerar estresse foi influenciada pelo manejo de fertilização nitrogenada adotada para a sua produção (Tabela 13 e Figura 27). O único manejo o que aumentou a mortalidade das sementes pós-estresse foi o composto por fixação biológica de nitrogênio e 100 Kg ha⁻¹ de *N*-fertilizante em V_2 (Tabela 13 e Figura 28). A antecipação da fertilização nitrogenada diminui a porcentagem de plântulas normais e mortalidade das sementes pós-estresse advindas de sementes estressadas (Tabela 13 e 14). A época de aplicação do fertilizante nitrogenado e o uso de bactérias nodulíferas não foram promotores da contaminação microbiana, de danos fisiológicos em plântulas ou na indução de dormência nas sementes (Tabela 13 e 14). Quando ocorreu a fertilização com 150 kg ha⁻¹ em V_0 e V_4 , houve redução da porcentagem de plântulas normais após o estresse das sementes (Figura 27). A

presença de sementes duras pós-estresse somente foi registrada em sementes produzidas por plantas em estado de mutualismo com *Rhizobium leucaenae* (Tabela 13 e Figura 28).

Sementes com altos teores de cinza (matéria mineral) apresentam baixa germinabilidade (Tabela 15). O teor de matéria mineral foi inflacionado pelos teores de enxofre. Os teores de carboidratos teve impacto direto e crescente na massa seca da raiz, total, tamanho aéreo das plântulas normais. O mesmo comportamento ocorreu para nitrogênio e proteína em relação a massa das raízes das plântulas normais (aumento do valor nutricional nas sementes de feijão promove maior a massa das raízes das plântulas normais; Tabela 15). O incremento do teor de potássio conferiu plântulas com maior comprimento de raiz e, consequentemente, menor relação parte aérea: raiz. O incremento de magnésio nas sementes, por sua vez, resulta em maior quantidade de plântulas fortes. O aumento do conteúdo interno de cobre na semente, aumenta de igual maneira a proporcionalidade da massa seca da plântula (Tabela 15).

A independência entre as medidas de massa e tamanho de plântulas são ratificadas com as correlações tidas como moderadas (Tabela 15). A plântula investiu concomitante em massa da parte aérea e sistema radicular. Aparentemente, quando a planta optou por investir em massa no sistema radicular, o tamanho das plântulas reduz. O mesmo foi observado quando a planta investe em tamanho de parte aérea ou em tamanho total ($r=0,42$ e $0,34$, respectivamente), no qual a massa do sistema radicular cai (Tabela 15). Para as sementes de feijão, o metabolismo acelerado, e, consequentemente, a rápida protrusão do embrião (tempo médio e mediano), ocasionou queda da quantidade de plântulas normais ($r=0,25$; $0,24$), fato também observado pelas correlações de $0,30$ e $-0,27$ entre o tempo final e a porcentagem de plântulas normais forte e fracas, respectivamente; e, de $0,28$ e $-0,28$ entre o amplitude temporal e a porcentagem de plântulas normais forte e fracas, respectivamente (Tabela 15).

Com a maior frequência diária da germinação (VE), houve queda de mortalidade de sementes quando do fim do experimento ($r=0,22$); ao passo que o aumento da heterogeneidade na germinação (CV_t) incrementa a mortalidade de sementes (Tabela 15). O processo germinativo síncrono e menos entrópico resulta em plântulas com maior comprimento da parte aérea ($r= 0,24$ e 23 para sincronia e incerteza, respectivamente). O tempo e a velocidade média apresentou correlação muito alta (Tabela 15). O tempo final contribui substancialmente para o a rapidez ($r= 0,66$ para velocidade e tempo médio), heterogeneidade ($r= 0,81$, adjetivo: muito alta), imprevisibilidade ($r= 59$, adjetivo: substancial) e, consequentemente, sincronia do processo germinativo ($r= 47$, adjetivo:

moderada) (Tabela 15). A incerteza apresentou correlação muito alta com a sincronia, embora negativa (-0,95). Assim, a incerteza apresentou também correlações com as mesmas medidas que a sincronia havia se correlacionado, todavia no sentido oposto. Plântulas com maior massa seca da parte aérea e radicular, bem como massa seca total originaram-se de sementes com menor tolerância ao estresse (Tabela 15). Sementes que espalhavam a germinação possuem menor tolerância ao estresse térmico e úmico, aumentando a porcentagem de plântulas anormais danificadas pós-estresse. A tolerância ao estresse térmico e úmido parece ser advindo dos teores internos de enxofre, potássio, cobre e carboidratos (Tabela 15).

DISCUSSÃO

Utilizando como modelo biológico a cultivar BRS FC104 de feijoeiro-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) para o estudo da prole frente à suplementação por *N*-fertilizante (doses de 0, 50, 100 e 150 kg ha⁻¹ de *N*-fertilizantes aplicados em V_0 , V_2 e V_4) e mutualismo bacteriana por *Rhizobium leucaenae* em um agroecossistema equilibrado (sistema de cultivo direto), verificou-se que os diferentes manejos afetam na maneira em que a planta-mãe deposita as reservas no indivíduo-semente, de modo a aumentar a variabilidade dos componentes primários da amostra, afetando a dinâmica do processo germinativo e o estabelecimento das plantas-jovens *stricto sensu*. Isso, em muito, se deve a ação direta do manejo sobre a habilidade da semente em tolerar estresse. Ademais, nesse agroambiente sustentável, tanto o *N*-fertilizante, quanto o mutualismo microbiano, acarretaram em estresse, provavelmente por sobrecarregar a planta-mãe quanto à aspectos de *N* disponível no sistema.

O cultivo para obtenção das sementes foi feito sob irrigação e em sistema de semeio direto consolidado, em que havia cultivado milho (safra verão 2014/2015), e posteriormente, cultivou-se milheto e crotalária, em sistema de consórcio. O milho apresenta relação C/N de 46 e decomposição por volta de 136 dias (CALONEGO et al., 2012), o milheto apresenta relação C/N de 22 e decomposição por volta de 110 dias (CARPIM et al., 2008; SORATTO et al., 2012) e a crotalaria apresenta relação C/N de 25 e decomposição por volta de 98 dias (SORATTO et al., 2012). Em sistema de semeadura direta, as taxas de mineralização da matéria orgânica, imobilização de nitrogênio são altas e, ainda assim, as taxas de nitrogênio liberadas são significativas (CALONEGO et al., 2012; CARPIM et al., 2008; SORATTO et al., 2012). Isto garantiu a manutenção das rotas metabólicas da planta-mãe que culminou em sementes com teores de macro e micronutrientes adequados, e, consequentemente, reservas suficientes para os adventos da germinação e pós-germinação imediata (vide medidas de germinação e de crescimento/desenvolvimento de plantas jovens *stricto sensu* ou plântulas). Essa hipótese é ratificada por um estudo feito com a mesma cultivar sob sistema de semeio convencional (BRAZ et al., 20018), o qual a fertilização se fez necessária. Neste, a massa de sementes foi o único componente de produção afetado pelo manejo de nitrogênio (fontes de fertilizantes nitrogenados em estádios fenológicos V_2 , V_3 e V_4). A fertilização convencional não afetou a qualidade da semente, independente da época, mas a aplicação do fertilizante nitrogenado com liberação controlada aplicado tardiamente melhorou a qualidade das sementes.

Em um contexto geral, as sementes aleuroamiláceas de feijão apresentaram 1% de lipídio, 20% de proteínas, 65% de carboidratos e 4% de cinza (parte mineral). 35; 45 e 12,5 g kg⁻¹ de sementes de nitrogênio, fosforo e potássio, respectivamente, independente do manejo. Foram observados 3 g kg⁻¹ de cálcio, 2 g kg⁻¹ de magnésio e 1,4 g kg⁻¹ de enxofre, em média, independente do manheiro. Teor de 124 mg kg⁻¹ para ferro, 10 mg kg⁻¹ para Cobre, 60 mg kg⁻¹ para Zinco e até 40 mg kg⁻¹ para Manganês também foram constatados. Valores estes condizentes com a literatura (MESQUITA et al., 2007; OLIVEIRA et al., 2008; SILVA et al., 2013) De todos compostos, apenas lipídios, nitrogênio, cálcio e enxofre foram afetados pelo manejo. Outros autores haviam verificado que o manejo nitrogenado pouco impacta as reserva das sementes (CALOR et al., 2017; SOUSA et. al. 2012; NASCENTE et al., 2017); isto devido ao fato dessas características não serem influenciadas pelos ambiente de cultivo, sendo fortemente influenciada pelo genótipo (SORATTO et. al., 2013; MINGOTTE et al., 2014). Outro fator relevante é que, apesar do nitrogênio ser o nutriente mais requerido para o feijoeiro, à utilização isolada apresenta reduzida eficácia para o aumento dos teores dos demais nutrientes na sementes (KOLLING; OZELAME, 2017).

Sabe-se que os fertilizantes nitrogenados são salinos e altamente solúveis em água. Portanto, podem ser prejudiciais às plantas, causando estresse osmótico e/ou salínico (AZEVEDO et al., 2018). Os efeitos da salinização no solo provocam a diminuição da fertilidade físico-química, desestruturação, aumento da densidade aparente e da retenção de água do solo, redução da infiltração de água pelo excesso de íons sódicos; fisiologicamente na planta são afetados a síntese de proteína, metabolismo de lipídios e fotossíntese, e até mesmo características morfológicas como a taxa de expansão da superfície foliar (DIAS; BLANCO, 2010; AZEVEDO et al., 2018) O estresse salino aciona a síntese de etileno, que impulsiona a liberação de radicais livres e, então, a produção de brassinoesteróides e jasmonato - hormônios relacionados ao metabolismo de defesa (ZHU et al., 2016; JIROUTOVA et al., 2018; PERES et al., 2019). Juntamente à liberação de compostos como ascorbato, glutatona, tocoferol, caratenoides e compostos fenólicos e as enzimas superóxido dismutase, catalase, peroxidase do ascorbato e peroxidase de fenóis (BARBOSA et al., 2014; MAIA et al., 2015; ALVES et al., 2016; ZHU et al., 2016; PERES et al., 2019). Neste contexto, a planta “entende”⁶ que o ambiente não está propício ao desenvolvimento de seus descendentes,

⁶ As terminologias antropotizadas vão ao encontro da Neurobiologia Vegetal (Plant Neurobiology) (vide BRENNER et al., 2007). Esta ciência, cunhada por um artigo manifesto, tem como objetivo esclarecer, de modo interdisciplinar, como as plantas adquirem e processam informações, bem como as respostas coordenadas afetam

acionando o sistema de indução de variabilidade intraespecífica, dado principalmente pelo deslocamento do balanço entre ácidos abscísico: GA em favor do ABA (JUNG; PARK, 2011; YUAN et al., 2011; LINKIES; LEUBNER-METZGER, 2012; SHU et al., 2017; VISHAL; KUMAR, 2018), possivelmente devido a uma inibição também da fluridona (fato confirmado para soja; SHU et al., 2017). Este *insight* da planta-mãe ao estresse logo no início do desenvolvimento (V_0), possivelmente foi o causador do aumento da probabilidade de não germinação, sobretudo para maiores doses de nitrogênio, e o provocou a redução dos teores de lipídios, pois as membranas estavam desarranjadas; embora não tenha causado diferença no modelo de incremento da germinação (regressão sigmoidal) e na frequência relativa de protrusões diárias. Há genes (RGL2, ABI3 e ABIS) que são induzidos a se manifestar na salinidade (*crosstalk* ABA-GA em sementes), provocando ‘dormência fisiológica’ inicial (visto pelos valores menores de probabilidade de germinação); uma vez que esses genes também desempenham um papel além do estágio inicial de germinação *stricto sensu*, desempenhando um papel importante durante o desenvolvimento da planta jovem *stricto sensu*, em que a presença ou magnitude de expressão desses genes pode conferir maior resistência (YUAN et al., 2011), talvez pelo gerenciamento de osmoreguladores tipo prolina, glicina betaina e colina, visto em plantas/plântulas e sementes de feijão cultivadas em situação extrema de intoxicação a nitrogênio (SÁNCHEZ et al., 2016).

Outro impacto: foi a redução dos teores de enxofre com o incremento da dose de N; todavia, o mutualismo aumentou a tolerância da planta a estresse não reduzindo estes teores. Evidências imperam que o enxofre e a fixação do nitrogênio são sinérgicos. Há transportador SST1 (*symbiotic sulfate transporter 1*) na bactéria, transportador este especialista em enxofre; o GSH (glutationa tripeptídeo: γ Glu-Cys-Gly) é produzido por ambos os organismos envolvidos na fixação do nitrogênio, tendo maior efetividade quando produzido no nódulo. O fato é: a assimilação de enxofre nos tecidos vegetais é reprogramada durante o início da simbiose. Todavia, ainda há lacunas: essas evidências por si só não explicam o motivo da nodulação potencializar a assimilação de enxofre (BECANA et al., 2018). Deve-se lembrar de que o enxofre é um dos compostos da metionina (cujo precursor é a cisteína), principal

todo o corpo vegetal. Afinal, inteligência é crescimento e desenvolvimento adaptativo ao longo do tempo de vida de um indivíduo (TREWAVAS, 2003). De acordo com os autores que cunhou neurobiologia vegetal, o comportamento que as plantas exibem é coordenado através de todo o organismo por alguma forma de sinalização, comunicação e sistema de resposta integrados, caracterizando consciência e inteligência. Esse sistema inclui sinais elétricos de longa distância, transporte de auxinas mediado pela vesícula em tecidos vasculares especializados e produção de substâncias químicas conhecidas por suas características neurais em animais (*Op. cit.*)

aminoaciado presentes no feijão e necessário ao homem (precursor de todas a tradução protéicas). Resumindo, ás sementes de feijão que já possuem baixos teores de aminoácidos sulfurados (SILVA et al., 2013) com doses cavalares de nitrogênio tiveram menos ainda. Logo, este resultado alarda a necessidade da observação correta do manejo, a fim de não causar danos aos grãos gerados e consequentemente ao valor nutricional do produto.

A fixação biológica de nitrogênio incrementou a velocidade do processo germinativo e habilidade de estabelecimento inicial de plântulas, embora sementes produzidas por plantas apenas fertilizadas com nitrogênio mineral tivessem maior sincronia do processo e maior entropia do sistema. Este manejo ainda gerou plântulas com maior comprimento, muito pelo maior investimento em parte aérea. De modo geral, o nitrogênio de origem bacteriana resultou em plântulas com maior variação na massa de indivíduos-plântula, quando comparado com plantas cultivadas sem manejo de fertilização nitrogenada. Ademais, o mutualismo por *Rhizobium leucaenae*, promoveu tolerância a estresse térmico e úmido às sementes durante a germinação *stricto sensu*; embora ao associar FBN com 100 Kg ha⁻¹ de N-fertilizante em *V₂* tenha causado tal estresse na planta a ponto de ser o único manejo que aumentou a mortalidade das sementes pós-estresse. Provavelmente, estes resultados ocorreram devido a compostos de defesa produzidos quando do início do mutualismo (SUN et al., 2006; HERNÁNDEZ-LÓPEZ et al., 2018a; 2018b). Sabe-se que resposta nodular é uma complexa sobreposição de efetores e sinalizadores que culminam a formação do órgão vegetal-bacteriano fixador de nitrogênio atmosférico, o nódulo (SUN et al., 2006; RYU et al; 2012; WEI et al., 2016; HERNÁNDEZ-LÓPEZ et al., 2018a; 2018b). Isso, entretanto, não é sinônimo de um sistema totalmente harmônico. Quando do início, a interação é tratada como um processo infeccioso por agente biotrófico pela planta. As células infectadas pela bactéria, que ocupam parte do citoplasma, acionam o mecanismo de morte celular programada para conter a contaminação, o que não é efetivado em função da transdução de sinais dos fatores NOD na célula vegetal e do não acionamento dos genes R devido a um processo de reconhecimento co-evolutivo (SUN et al., 2006; RYU et al; 2012; HERNÁNDEZ-LÓPEZ et al., 2018a; 2018b). O ácido salicílico, entretanto, é sintetizado, induzindo o influxo extracelular de cálcio, que culmina produção de espécies reativas de oxigênio. Em paralelo, o ácido salicílico ativa a expressão do gene BI-1 (Bax inhibitor I), buscando homeostase para a morte programada das células e para o influxo de cálcio no reticulo endoplasmático e para a autofagia o mutualismo (SUN et al., 2006; HERNÁNDEZ-LÓPEZ et al., 2018a; 2018b). Portanto, resquícios desses compostos de defesa são repassados às sementes: efeito

maternal. Assim, produz-se sementes mais aptas a tolerar estresse, o que as fazem promover maior desenvolvimento de plântulas normais para a condição de campo. Outra ratificação dessa hipótese é a presença de sementes duras pós-estresse registrada em sementes produzidas por plantas em estado de mutualismo com *Rhizobium leucaenae*. Poder-se-ia inferir que fosse devido à absorção de cálcio, que comprovadamente aumenta a dureza das sementes ao serem depositadas nas paredes celulares (SAIO 1976). Mas, não foi. Isto, pois, foi provocado somente com o incremento do *N*-fertilizante, como consequência de estresse; claramente uma resposta a um ambiente não favorável: efeito maternal. O desenvolvimento de um revestimento de semente impermeável em *Phaseolus vulgaris* é hereditário da planta-mãe, mas as plantas da próxima geração que crescem em um conjunto diferente de ambientes comparados com a planta-mãe podem resultar em proporções de sementes com camadas impermeáveis (LEBEDEFF, 1947). Geralmente, há sementes mais impermeáveis em ambientes secos, ou com restrições hídricas, como em ambientes salinos (*vide* JAGANATHAN, 2016). Portanto, sendo esta a causa atribuída, uma vez que não era esperada tais variações, uma vez que as sementes para esse experimento foram produzidas em um mesmo campo de produção de sementes uniforme e com irrigação adicional,

Ainda sobre o efeito maternal, as explanações feitas nos dois parágrafos supracitados, mostra que, em sistema agroambientalmente sustentável, o manejo nitrogenado, seja por *N*-fertilizante (com diferentes doses aplicados em diferentes estádios fenológicos), seja por associação com bactéria fixadoras de nitrogênio (como *Rhizobium leucaenae*), pode ser estressante às plantas cultivadas, acionando processos de defesa com impacto sobre a prole. Neste sentido, é possível afirmar que o manejo do azoto leva a planta-mãe a diversificar suas estratégias para a produção de indivíduos-sementes competitivos. Fato confirmado pelo aumento da variabilidade (intervalos de confiança) interna nos teores nutricionais das sementes, ênfase para o teor de nitrogênio e ferro. Destaca-se o rigor das análises, visto, que devido à alta variabilidade, procedeu-se reanálises em outro laboratório e estimou-se medidas estatísticas de reproduzibilidade e repetibilidade, que revelaram altas e baixas variâncias, respectivamente (dados não mostrados). Consequentemente as demais mensurações advindas dos indivíduos-sementes foram impactadas de igual modo. Retomando o raciocínio de estratégia de diversificação pela planta-mãe, as sementes que apresentaram maior desuniformidade do processo germinativo, uma fuga de condições adversas, resultaram em indivíduos-plântulas menos tolerantes ao estresse térmico e úmido durante a germinação stricto sensu, i.e., a planta-mãe estressada desenvolve sementes com propensão à dormência

relativa (sensu Laboriau) quando comparadas ao padrão germinativo da espécie (unimodal); essas sementes, portanto, também podem sofrer queda da qualidade quando do desenvolvimento, o que resultou queda de vigor.

Outra ratificação foi que, de modo geral, o nitrogênio aplicado em V0 resulta em menor variabilidade para massa seca, embora quando aplicado tarde em plantas-mães de feijoeiro fez com que as sementes produzissem plantas jovens *stricto sensu* com maior desenvolvimento. A aplicação de nitrogênio foi capaz de aumentar a sincronia, reduzir a dispersão ao redor do tempo médio, incerteza e a amplitude temporal. As plantas produzem fotoassimilados que são convertidos em reservas, que, no caso da semente de feijão, são prioritariamente empacotados em macromoléculas de carboidrato e proteína (MESQUITA et al., 2007; OLIVEIRA et al., 2008; SILVA et al., 2013). A entender: sabe-se que os carboidratos são das macromoléculas, a mais simples; sendo o produto principal da fotossíntese (ATKIN et al., 2000) e, na germinação, a fonte de energia que demanda menor gasto energético (BEWLEY et al., 2013). Portanto, sendo usado preferencialmente para suprir a transição semente-plântula (BEWLEY et al., 2013). Ademais, o nitrogênio é um indutor de crescimento, uma vez que ele é formador tanto da clorofila e de aminoácidos quanto de hormônios vegetais ligados ao desenvolvimento vegetal (em especial, citocinina) (EVANS; CLARKE, 2018). Portanto, provavelmente o aporte de nitrogênio no final do cultivo fez com que as plantas apresentassem sobrevida, desenvolvendo mais folhas e produzindo mais fotoassimilados, embora não houve tempo suficiente para a conversão em molecular mais complexas, metabolizando somente carboidrato, seguido de lipídios e, por fim, proteína, mesmo porque se trata de uma espécie aleuro-amilácea. Assim, as plantas jovens advindas de sementes que foram produzidas por plantas sob nutrição nitrogenada aplicada em estádio mais avançado de desenvolvimento tiveram mais depósito de macromoléculas, pois as plantas-mãe utilizaram o recurso nitrogenado sintético mais para o enchimento das sementes que sua nutrição propriamente dita;

As correlações entre os teores de carboidratos com a massa seca da raiz, total e comprimento aéreo das plântulas normais demonstra que essa reserva tem impacto direto e crescente na qualidade das plantas. O mesmo comportamento ocorreu para nitrogênio e proteína em relação a massa das raízes das plântulas normais. O incremento do teor de potássio conferiu plântulas com maior comprimento de raiz e, consequentemente, menor relação parte aérea: raiz. O aumento do conteúdo interno de cobre na semente, aumenta de igual maneira a proporcionalidade a massa seca da plântula. O incremento de magnésio nas

sementes, por sua vez, resulta em maior quantidade de plântulas fortes. Este mineral é um dos constituintes da clorofila (BLACK et al., 2006). A germinação tende a ser mais lenta (tempo médio) quando o teor de zinco aumenta. Esses micronutrientes participam de reações enzimáticas e atuam também no metabolismo oxidativo das sementes (SHABAN , 2013; HAN; YANG, 2015). Por fim, hoje se sabe que sementes mais vigorosas de feijão resultam em plantas mais sadias, o que converge para uma produtividade de ate 20% maior (MONDO et al., 2016). É digno de nota a independência entre as medidas de massa e tamanho de plântulas, ratificadas com as correlações tidas como moderadas. O fato é, quanto maior uma, maior será a outra. De fato, isto é verdade, mas não linearmente. Com isso, perdem dados importantes, que poderiam ser discutidos do ponto de vista fisiológico, ao relacionar com hormônios vegetais, ou ecológicos, ao relacionar com características ambientais.

A combinação de manejo de fertilização nitrogenada não alterou os padrões de cinética germinativa, demonstrando também ser um aspecto provavelmente espécie-específico. As medidas de tendência central de tempo de germinação foram mais propensas a refletir o efeito do nitrogênio, quanto maior é a dose de nitrogênio aplicado, menor será o tempo médio do processo germinativo; este comportamento é independente da época de aplicação de nitrogênio e da inoculação das sementes da planta genitora com bactérias fixadora de nitrogênio. O processo germinativo segue uma cadênci, com começo, meio e fim (RANAL et al., 2010; RIBEIRO-OLIVEIRA et al., 2013; RIBEIRO-OLIVEIRA; RANAL, 2016). A cinética do processo em geral é pouco afetada por fatores externo, mas a magnitude da taxa, sim. Por isso, os diferentes manejos de N resultaram em sementes com processo unimodal e assimétrico à direita, assemelhando-se à distribuição Normal e indicando que um evento concentrado nos primeiros instantes pós-semeadura e concentrado no tempo. Deve-se salientar que Gauss, ao propor a distribuição Normal, observou a natureza e esta distribuição gere sobre eventos aleatórios, como a germinação; essa distribuição modela eventos aleatórios, cuja ocorrência individual não segue regras ou padrões e vem sendo atribuído a ela um padrão espécie-específico (SANTANA; RANAL, 2000; SILESHI, 2012; PEREIRA; SANTANA, 2013). Em suma, teoria e resultados experimentais estão em consonância. Isto ainda ratificou o uso do coeficiente de variação do tempo, juntamente com a equipolência do tempo médio e mediano aferidos. Cabe destacar que o CV_t é uma medida germinativa relativamente nova (RANAL; SANTANA, 2006), mas com raciocínio e cálculo consagrados, visto que origina-se da ideia do coeficiente de variação experimental. Este somente é confiável quando não apresenta desvios, ou seja, segue a distribuição Normal

(STEEL; TORRIE, 1980). Sugere-se, assim, que estudos posteriores que pretender usar o CV_t adotem como pré-requisito para uso do CV_t : o uso da distribuição da frequência relativa (utilizado para inferir à Normal pela primeira vez por Carvalho et al. (2005)), e, ao menos, estimem três medidas de tempo da germinação, incluindo médio e mediano, para ratificar a distribuição Normal (podendo ser as medidas dos momentos, de regressões e de curvas de sobrevivência).

Para as sementes de feijão, o metabolismo acelerado, demonstrado pela rápida protrusão do embrião (tempo médio e mediano), ocasionou queda da quantidade de plântulas normais, fato também observado entre o tempo final e a porcentagem de plântulas normais forte e entre o amplitude temporal de protrusões e a porcentagem de plântulas normais forte. Com a maior frequência diária da germinação, houve queda de mortalidade de sementes quando do fim do experimento; ao passo que o aumento da heterogeneidade na germinação incrementa a mortalidade de sementes. O processo germinativo síncrono e menos entrópico resulta em plântulas com maior comprimento da parte aérea. O tempo final contribui substancialmente para a rapidez, heterogeneidade, imprevisibilidade e, consequentemente, sincronia do processo germinativo. De modo geral, as medidas de germinação caracterizam fisiologicamente o processo, mas elas serviram de indícios para determinação de vigor também.

A probabilidade das sementes não germinarem nos primeiros momentos da germinação *stricto sensu* da amostra foram maiores para sementes provenientes de plantas cultivadas sem FBN. Nestas, ainda teve um aumento das taxas de risco de protrusão embrionária, após este período; e mais, na ocasião do pico germinativo (comum a todos os tratamentos) o risco dessas sementes germinar foi superior. Em suma, as sementes produzidas somente com FBN tiveram risco de germinar mais constante. Nisto, vê-se a dualidade de resposta da planta-mãe ao mutualismo, visto que a interação pode ser entendida como estresse (anteriormente discutido), mas também pode ser um *priming* à germinação. É sabido que o *Rhizobium* sp. é um promotor de crescimento vegetal, visto que aporta o hormônio ácido indol acético (AIA) (SUN et al., 2006; RYU et al.; 2012; WEI et al., 2016; HERNÁNDEZ-LÓPEZ et al., 2018a; 2018b). Em experimentos utilizando 266 isolados de *Rhizobium* e *Bradyrhizobium*, Antoun et al. (1998) concluíram que 58% das bactérias empregadas nos testes produziam AIA. Ademais, tem sido demonstrado que a bactéria pode produzir citocinina [isopenteniladenina (iPA) e zeatina (ZT)] e ácidos giberélicos (AGs) (VARGAS et al., 2017; HERNÁNDEZ-LÓPEZ et al., 2018a; 2018b; LIU et al., 2018).

O mutualismo é induzida por fenóis e oligossacarídeos exsudados pelo sistema radicular da planta, em condições de restrição de nitrogênio ao sistema. Quando não há a necessidade de nitrogênio bacteriano, a planta não libera tais fenóis e oligossacarídeos que serve de sinal para a bactéria que, por sua vez, induzirá a planta multiplicar células radiculares e verter carbono a esse novo sistema (SUN et al., 2006; RYU et al; 2012; WEI et al., 2016; VARGAS et al., 2017; HERNÁNDEZ-LÓPEZ et al., 2018a; 2018b; LIU et al,2018). Portanto, não ocorrendo a nodulação e o aporte extra de hormônios vegetais. Apesar desse processo ocorrer durante a formação de novas raízes, a maior colonização ocorre nos estádios iniciais da planta (HERNÁNDEZ-LÓPEZ et al., 2018a; 2018b).

Como esperado, independente da dose, no período correspondente ao pico germinativo (entre 1,76 e 2,1 dias), ocorreu os maiores decréscimos da probabilidade da semente não germinar. Foi notório que o *N*-fertilizante culminou em maior probabilidade das sementes não germinarem e que o incremento da dose incrementou estes valores. Os riscos de indivíduos-semente germinarem durante a germinação *stricto sensu* da amostra foi ascendente, formando único pico somente para a dose de 100 kg ha⁻¹ de nitrogênio (0,8 dia⁻¹). Para os demais tratamentos, a taxa de risco foi polimodal. Focando na taxa de risco, e utilizando como modelo as plantas cultivas em mutualismo e fertilização em *V*₄, maior previsibilidade maior do processo germinativo ocorreu para a dose de 150 kg ha⁻¹, o que se deu em virtude da menor oscilação ao longo do tempo e maior uniformidade dos valores, acima de 0,2 dia⁻¹. Neste sentido, ainda, a fertilização nitrogenada em *V*₂ ocasionou picos germinativos no segundo dia e menores próximos ao quarto dia, próximo à estabilidade do processo. Esse acréscimo imprevisível de germinação fez com que a taxa de risco fosse desuniforme. Esses picos tardios somente não foram registrados para sementes produzidas por plantas fertilizadas com 100 kg ha⁻¹. Esta dose reduziu o tempo médio dado pela análise de sobrevivência, além possibilitar um processo fisiológico mais previsível. Cabe salientar, que as probabilidades de não germinar dessas sementes foram menores durante toda a germinação *stricto sensu*. Para as sementes cuja planta-mãe foi unicamente nutridas com *N*-fertilizante, as taxas de risco foram mais estáveis; enquanto as produzidas com fixação biológica apresentaram o maior valor da taxa de risco. A fertilização com 150 kg ha⁻¹ de nitrogênio nos diferentes estádios fenológicos pouco impactou na probabilidade de não germinação de sementes e, ainda que com grandezas distintas para cada estádio, a taxa de risco apresentou comportamento similar. Entretanto, essa fertilização produziu sementes que, no terço final do processo fisiológico, apresentava chances altas e crescentes de germinação, sobretudo para as

sementes advindas da fertilização no estádio V_2 . As sementes advindas de plantas em mutualismo apresentaram probabilidade de não germinar inferior, mas mais e maiores picos de frequência germinativa. As diferenças entre as curvas de sobrevivência foram decorrentes, prioritariamente, da amplitude temporal do processo germinativo. Um adendo: a amplitude amostral do tempo não é uma medida nova (e.g. RIBEIRO-OLIVEIRA et al., 2013), porém seu uso nunca foi associado a um delineamento e analisado estatisticamente, tampouco houve uma formalização do seu cálculo. Sendo esta uma contribuição inédita.

Esse conjunto de resultados permite ratificar que apesar de se tratar do mesmo fenômeno a taxa de risco, a curva de sobrevivência, a frequência relativa e a germinação acumulada confere uma melhor visão da dinâmica da cinética do processo germinativo. São medidas complementares que ao simplificar o processo mensurando unicamente a taxa final, mascara a fisiologia das sementes, pois cada é um indivíduo único que impacta de modo substancial o sistema. Essa abordagem é inédita, visto que até então não houve o estudo conjunto destas. O mais próximo disto que houve foi um estudo da dormência relativa de sementes de *Lithraea molleoides* (Vell.) Eng. no qual utilizou a frequência relativa e as curvas de sobrevivência (BERGER et al., 2014). Neste estudo, no entanto, não houve a contraposição entre os gráficos gerados; utilizando a frequência relativa apenas para caracterizar a distribuição desuniforme da espécie e a sobrevivência para inferir que mesmo após 150 dias após o semeio as sementes ainda tinham probabilidades de germinar. Com uma abordagem mais estatística teve o trabalho de Onofri et al (2010) que fez a contraposição da germinação acumulada e a curva de sobrevivência apontando os prós e contras de cada.

Das curvas utilizadas, a mais frequentemente utilizada, todavia com maior variação, é a da germinação acumulada (*vide* RANAL; SANTANA, 2004). A frequência relativa, cunhada por Laboriau (1983), vem sendo utilizada, sobretudo no Brasil, por fisiólogos e ecólogos para estudar como o processo germinativo procede ao longo do tempo. Ganhou essa notoriedade devido aos trabalhos do Professor Laboriau, que deixou alguns seguidores, e posteriormente pela explicação detalhada dada por Ranal; Santana (2004). De interesse mais global, a análise de sobrevivência, vem sendo adaptada da área médica para a agrícola por permitir variações de tamanho amostral ao longo da análise, além de ser possível calcular a probabilidade futura do evento de interesse. Esta análise ganhou notoriedade com sementes dormentes de planta daninha (ONOFRI et al., 2010; ONOFRI et al., 2011) A taxa de risco, uma medida complementar à sobrevivência é utilizada, sobretudo, para calcular regressões de risco proporcionais de Cox (que permite comparar quantitativamente os riscos em cada

momento de duas ou mais curvas – no presente trabalho não calculada devido às curvas de sobrevivência não serem proporcionais), pondo ainda covariáveis explicativas, embora ela por si só traga uma contribuição relevante na dinâmica do processo, ao demonstrar a chance futura das sementes germinarem. Essa abordagem foi descartada no presente trabalho pelos riscos não serem proporcionais (dados não mostrados).

N-fertilizante quando aplicado tardiamente, reduziu a quantidade de plantas fortes. A aplicação precoce e tardia (V_0 e V_4 , respectivamente) de *N*-fertilizante, entretanto, fez com que a planta-mãe produzisse sementes com maior porcentagem de plântulas anormais danificadas. A época de aplicação do *N*-fertilizante não foi o fator preponderante para massa da estrutura radicular, tamanho da parte aérea e tamanho total de plântulas normais. Em geral, incrementos e tamanho e massa para partes de planta e melhor relação entre esses foi obtidos quando o *N*-fertilizante foi V_0 e V_4 . A antecipação da fertilização nitrogenada diminui a porcentagem de plântulas normais e mortalidade das sementes pós-estresse. Quando ocorreu a fertilização com 150 kg ha⁻¹ em V_0 e V_4 , houve redução da porcentagem de plântulas normais após o estresse das sementes. Deve-se salientar que, em um sistema biodinâmico, como o sistema de semeadura direta, o solo apresenta-se com inúmeros microrganismos benéficos à planta, mas que competem com ela e entre si por recursos (MEENA et al., 2007). Assim, doses mais altas de nutrientes provavelmente melhoraram as condições nutricionais desse solo, diminuindo a competição, permitindo que microrganismos, como os promotores de crescimento, nativos do solo se desenvolvesse e, assim, interagissem com o feijoeiro (DORDAS, 2015; HIRSCH; MAUCHLINE, 2015; HORWATH, 2017) - visto que a espécie é tida como promiscua e essa é uma das causas atribuída ao baixo retorno da inoculação na literatura (FLORENTINO et al., 2018). Isto ocasiona melhoria fisiológica sutil à planta-mãe, que pode ser repassada aos seus descendentes; todavia, essa melhoria foi tão sutil que somente foi vista em indivíduos-plântulas advindos de sementes estressadas. Outros fatores podem ter contribuído para as diferenças apontadas, como o estádio fisiológico da fertilização, que coincidiu com época de maior demanda por nutriente pela planta de feijoeiro, entre a floração e enchimento do grão (NASCENTE et al., 2016; NASCENTE et al., 2017; PIAS et al., 20017). Para Fabaceae, outro fator deve ser levado em conta, a nodulação. O nitrogênio não deve ser disponível na ocasião do mutualismo, pois pode inibí-la.

Plântulas com maior massa seca da parte aérea e radicular, bem como massa seca total, originaram-se de sementes com menor tolerância ao estresse. Sementes que espalhavam a germinação possuem menor tolerância ao estresse térmico e úmico, aumentando a

porcentagem de plântulas anormais danificadas pós-estresse. Com isso, inferem-se duas estratégias diferentes, sendo 1º- a planta-mãe estressada pelo sistema não conferiu toda a reserva necessária às sementes e, com isso, as sementes detectaram a necessidade de germinar imediatamente; e, 2º - a planta-mãe gerou indivíduos-sementes com habilidade de detecção do ambiente diferenciadas devido ao estresse do ambiente. Em ambos os caso, ao serem novamente exposta a um estresse, o sistema de manutenção oxidativa entrou em colapso, reduzindo a viabilidade. A tolerância ao estresse térmico e úmido parece ser advindo dos teores internos de enxofre potássio, cobre e carboidratos. Carboidratos são dentre os tipos de reservas os que menos oxidam, que gera menos radicais livres, o cobre é cofator de enzimas redox e o potássio é ligado ao balanço osmótico das sementes, bem como um dos reesposáveis pela produção de energia (BEWLEY et al., 2013; SHABAN , 2013; HAN; YANG, 2015). Em suma, esse trinômio resulta em indivíduos-sementes, gerados por plantas-mães estressadas, mais aptos a tolerar o estresse do ambiente.

CONCLUSÃO

A suplementação nitrogenada precoce aumenta a uniformidade dos indivíduos-plântulas e a tolerância dos indivíduos-sementes ao estresse, todavia reduz os teores de lipídios;

A suplementação nitrogenada tardia tem impacto no número de indivíduos-plântulas que se apresentam menores;

A suplementação nitrogenada isolada resulta em sementes com maior probabilidade de não germinar na menor dose e menor probabilidade na maior dose; e, quando associada a fixação biológica de nitrogênio, aumenta a probabilidade das sementes não germinarem inicialmente;

A suplementação nitrogenada com dose de 50 kg ha⁻¹ promove germinação com cinética mais uniforme e previsível;

O aumento da dose de N-fertilizante acarreta em redução dos teores de enxofre e reduz a tolerância da semente à estresse;

O mutualismo com *Rhizobium leucaenae* não afeta de modo substancial a deposição de reservas das sementes, todavia aumenta a probabilidade de germinação ao logo do tempo; e, quando associada com 100 kg ha⁻¹ de nitrogênio aplicado precocemente, melhora o estabelecimento de plântulas.

Aumentos dos teores de carboidratos, o cobre e o potássio são apontados como indutores à tolerância ao estresse em sementes de feijão.

REFERÊNCIAS

ABRANTES, F. L. ; SÁ, M. E.; SILVA, M. P. ; SOUZA, L. C. D.; ARRUDA, N. Qualidade fisiológica de sementes de feijão em função de sistemas de manejo de solo e adubação foliar com boro. **Cultura Agronômica**: Revista de Ciências Agronômicas, Fortaleza, v. 24, n. 2, p. 67-180, 2015.

ABRANTES, F. L.; SÁ, M. E.; SILVA, M. P. ; SOUZA, L. C. D.; ARRUDA, N. Qualidade fisiológica de sementes de feijão em função de sistemas de manejo de solo e adubação foliar com boro. **Cultura Agronômica**: Revista de Ciências Agronômicas, Fortaleza, v. 24, n. 2, p. 67-180, 2015.

AGUILAR, A.; MORA, Y.; DÁVALOS, A.; GIRARD, L.; MORA, J.; PERALTA, H. Analysis of genome sequence and symbiotic ability of rhizobial strains isolated from seeds of common bean (*Phaseolus vulgaris*). **BMC Genomics**, [s.l.] v. 19, n. 645, p1-12, 2018. <https://doi.org/10.1186/s12864-018-5023-0>

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; MORAES, G.; LEONARDO, J.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>

ALVES, C. X.; BEVILAQUA, G. A. P. ; SCHUCH, L. O. B.; ANTUNES, I. F.; EBERHARDT, P. E. R. , Teor de macro e micronutrientes e potencial fisiológico de sementes em genótipos crioulo e melhorado de feijão. **Colloquium Agrariae**, Presidente Prudente, v. 14, n. 1, p. 79-91, 2018. [DOI:10.5747/ca.2018.v14.n1.a192](https://doi.org/10.5747/ca.2018.v14.n1.a192)

ALVES, G.; RODRIGUES, M.; PEREIRA, J. W. D. L.; LUZ, L. N. D. , LIMA, L.; SANTOS, R. C. D. Genotypic variability of peanut lines in response to water stress, based on biochemical descriptors. **Revista Caatinga**, Mossoró v. 29, n. 3, p. 528-536, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252016v29n302rc>

ANTOUN H.; BEAUCHAMP C. J.; GOUSSARD N. ; CHABOT R.; LALANDE R. Potential of *Rhizobium* and *Bradyrhizobium* species as plant growth promoting rhizobacteria on non-legumes: effect on radishes (*Raphanus sativus* L.). In: **Molecular microbial ecology of the soil**. Springer, Dordrecht, 1998. p. 57-67. https://doi.org/10.1007/978-94-017-2321-3_5

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMICALS). **Official methods of analysis of Association of Official Analytical Chemists**. Arlington: Association of Official Analytical Chemists, 12th ed, Washington DC, 832, p.-1995.

ATKIN, O. K.; MILLAR, A. H.; GARDESTRÖM, P. ; DAY, D. A. Photosynthesis, carbohydrate metabolism and respiration in leaves of higher plants. In: **Photosynthesis**. Springer, Dordrecht, 2000. p. 153-175. https://doi.org/10.1007/0-306-48137-5_7

AZEVEDO, L. C.; MARTINS, I. C. S.; SILVA, V. L.; RIBEIRO, C. S. salinidade do solo em ambiente protegido. **Revista Campo Digit@l**, Campo Mourão v. 13, n. 1, p. 52-69, 2018.

BARBOSA FILHO, M. P. ; COBUCCI, T.; FAGERIA, N. K.; MENDES, P. N. Determinação

da necessidade de adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro irrigado com auxílio do clorofilômetro portátil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 7, p. 1843-1849, 2008. DOI:10.1590/S0103-84782008000700007

BARBOSA, F. R.; SILVA, C. C.; GONZAGA, A. C. O.; SILVEIRA, P. M.; QUINTELA, E. D.; LOBO JUNIOR, M.; COBUCCI, T.; DEL PELOSO, M. J.; JUNQUEIRA, R. B. M. **Sistema de produção integrada do feijoeiro comum na região central brasileira**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2009. 28 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Circular técnica, 86).

BARBOSA, M. R.; MEDEIROS, A. S. M.; WILLADINO, L.; ULISSSES, C.; RANGEL CAMARA, T. Geração e desintoxicação enzimática de espécies reativas de oxigênio em plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 3, 2014.

BARBOSA, N. ; PORTILLA, E.; BUENDIA, H. F.; RAATZ, B.; BEEBE, S.; RAO, I. Genotypic differences in symbiotic nitrogen fixation ability and seed yield of climbing bean. **Plant and Soil**, [s.l.], v. 428, p. 223-239, 2018. <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3665-y>

BASKIN, J. M.; BASKIN, C. C. How much influence does the paternal parent have on seed germination?. **Seed Science Research**, Cambridge, p. 1-11, 2019. <https://doi.org/10.1017/S096>

BECANA, M.; WIENKOOP, S.; MATAMOROS, M. A. Sulfur Transport and Metabolism in Legume Root Nodules. **Frontiers in plant science**, Melbourne, v. 9, 1434, 2018. Doi: 10.3389/fpls. 2018. 01434

BERGER, A. P. A.; RANAL, M. A.; SANTANA, D. G. . Variabilidade na dormência relativa dos diásporos de *Lithraea molleoides* (Vell.) Eng. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 2, p. 325-337, 2014. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509814570>

BEWLEY, J. D.; BRADFORD, K. J.; KENT, J.; HILHORST, H. W.; NONOGAKI, H. **Seeds: Physiology of development, germination and dormancy**, 3rd edition. Springer New York. 2013. 392p. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4693-4>

BISCHOFF, A.; MÜLLER-SCHÄRER, H. Testing population differentiation in plant species—how important are environmental maternal effects. **Oikos**, Rio de Janeiro, v. 119, n. 3, p. 445-454. 2010. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2009.17776.x>

BLACK, J. R.; YIN, QING-ZHU; CASEY, WILLIAM H. An experimental study of magnesium-isotope fractionation in chlorophyll-a photosynthesis. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, [s.l.]v. 70, n. 16, p. 4072-4079, 2006. DOI: 10.1016/j.gca.2006.06.010

BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Sindicato Nacional da Indústria de Alimentação Animal. **Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal**. São Paulo: Sindirações, 2009a.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Regras para Análise de Sementes**. Brasilia, DF: MAPA/ACS, 2009b. 395p

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa N° 13**, de 24 de março de 2011. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 25 mar. 2011. Seção 1.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa N° 13, de 24 de março de 2011. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 58, 25 mar. 2011. Seção 1. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-sda-13-de-24-03-2011-inoculantes.pdf>. Acesso em: 14 maio 2019.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Registro Nacional de Cultivares (RNC)**. **BRS FC104 - *Phaseolus vulgaris* L.** RNC: 36426. 10/01/2019 às 12h29min. Disponível em: http://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/cultivares_registradas.php. acesso em 30 de Jan de 2019 às 13h53.

BRAZ, A. J. B. P. ; FERREIRA, C. J. B.; SILVEIRA, P. M.; SIMON, G. A.; ASSIS, R. L.; BRAZ, G. B. P. ; MEDEIROS, R. V. Nitrogen fertilization in super-early cycle common bean using new sources of urea. **Científica**, São Paulo, v. 46, n. 2, p. 180-186, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.15361/1984-5529.2018v46n2p180-186>

BRENNER, E. D.; STAHLBERG, R.; MANCUSO, S.; VIVANCO, J.; BALUŠKA, F.; VAN VOLKENBURGH, E. Plant neurobiology: an integrated view of plant signaling. **Trends in Plant Science**, [s.l.], v. 11, n. 8, p. 413–419, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2006.06.009>

BUETOW, R.; MEHRING, G. H.; KANDEL, H.; JOHNSON, B.; OSORNO, J. M. Nitrogen Fertilization and Inoculation Effects on Dry Bean. **Agricultural Sciences**, [s.l.] v. 8, p. 1065-1081, 2017. <https://doi.org/10.4236/as.2017.810077>

CARVALHO, M. P. ; SANTANA, D. G.; RANAL, M. A. Emergência de plântulas de *Anacardium humile* A. St. -Hil. (Anacardiaceae) avaliada por meio de amostras pequenas. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 28, n. 3, p. 627-633, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-84042005000300018>

CARVALHO, N. M; NAKAGAWA, J. **Sementes** : ciência, tecnologia e produção. Jaboticabal: Funep, 2012.

CELMELI, T.; SARI, H.; CANCI, H.; SARI, D.; ADAK, A.; EKER, T.; TOKER, C. The Nutritional Content of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Landraces in Comparison to Modern Varieties. **Agronomy**, Madison, v. 8, n. 9, p. 166, 2018. <https://doi.org/10.3390/agronomy8090166>

CIAT (CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL). **Una escala de desarollo para el frijol propone el CIAT**. Cali, Colômbia. 1983. (Hoja informativa del Programa de Frijol del CIAT, 5, n. 2)

CORREA, A. M.; PEREIRA, M. I. S.; ABREU, H. K. A.; SHARON, T.; MELO, C. L. P. ; ITO, M. A.; TEODORO, P. E.; BHERING, L. L. Selection of common bean genotypes for the Cerrado/Pantanal ecotone via mixed models and multivariate analysis. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v. 15, n. 4, p1-9, 2016. doi: 10.4238/gmr15048888.

- DAVIS, J. A. **Elementary survey analysis**. Prentice-Hall, Englewood. 1971.
- DIAS, N. S.; BLANCO, F. F. Efeitos dos sais no solo e na planta. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. da S.; LACERDA, C. F. de (Ed.). **Manejo de salinidade na Agricultura: estudos básicos e aplicados**. Fortaleza-CE: INCT Sal, 2010. Cap. 9. p. 133-144,
- DORDAS, C. Nutrient management perspectives in conservation agriculture. In: **Conservation Agriculture**. Springer, Cham, 2015. p. 79-107. https://doi.org/10.1007/978-3-319-11620-4_4
- EVANS, J. R.; CLARKE, V. C. O custo de nitrogênio da fotossíntese. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 70, n. 1, p. 7-15, 2018. <https://doi.org/10.1093/jxb/ery366>
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. 2016. **Production: Crops**. Acessado em 29 de janeiro de 2016. disponível em: <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>
- FARINELLI, R.; LEMOS, L. B. Produtividade, eficiência agronômica, características nutricionais e tecnológicas do feijão adubado com nitrogênio em plantio direto e convencional. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 1, p. 165-172, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052010000100021>
- FLORENTINO, L. A.; JUNIOR, F.; KLESO, S.; OLIVEIRA, T. É. D.; SOUZA, F. R.; SILVA, A. B. Inoculação e aplicação de diferentes doses de nitrogênio na cultura do feijoeiro. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 41, n. 4, p. 91-100, dez. 2018. <http://dx.doi.org/10.19084/RCA17001>
- FLORENTINO, L. A.; KLESO JUNIOR, F. S.; OLIVEIRA, T. É. D.; SOUZA, F. R.; SILVA, A. B. Inoculação e aplicação de diferentes doses de nitrogênio na cultura do feijoeiro. **Revista de Ciências Agrárias**, Recife, v. 41, n. 4, p. 91-100, 2018. <http://dx.doi.org/10.19084/RCA17001>
- FOYER, C. H.; RUBAN, A. V.; NOCTOR, G. viewing oxidative stress through the lens of oxidative signalling rather than damage. **Biochemical Journal**, Rockville, v. 6, 474, 2017. DOI:10.1042/BCJ20160814
- GENT, L.; FORDE, B. G. How do plants sense their nitrogen status?. **Journal of experimental botany**, Oxford, v. 68, n. 10, p. 2531-2539, 2017. <https://doi.org/10.1093/jxb/erx013>
- GOMES JUNIOR, F. G.; SÁ, M. E.; MURAISHI, C. T. Adubação nitrogenada no feijoeiro em sistema de semeadura direta e preparo convencional do solo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 5, 2008. DOI: 10.4025/actasciagron. v30i5. 5967
- HAN, C.; YANG, P. Studies on the molecular mechanisms of seed germination. **Proteômica**, [s.l.], v. 15, n. 10, p. 1671-1679, 2015. <https://doi.org/10.1002/pmic.201400375>
- HERNÁNDEZ, F.; LINDSTRÖM, L. I.; PARODI, E.; POVERENE, M.; PRESOTTO, A. The role of domestication and maternal effects on seed traits of crop-wild sunflower hybrids (*Helianthus annuus*). **Annals of Applied Biology**, [s.l.]v. 171, n. 2, p. 237-251. 2017. <https://doi.org/10.1111/aab.12368>

HERNÁNDEZ-LÓPEZ, A.; DÍAZ, M.; RODRÍGUEZ-LÓPEZ, J.; GUILLÉN, G.; SÁNCHEZ, F.; DÍAZ-CAMINO, C. Uncovering Bax inhibitor-1 dual role in the legume-rhizobia symbiosis in common bean roots. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 70, n. 3, p. 1049-1061, 2018a. <https://doi.org/10.1093/jxb/ery417>

HERNÁNDEZ-LÓPEZ, A.; DÍAZ, M.; RODRÍGUEZ-LÓPEZ, J.; GUILLÉN, G.; SÁNCHEZ, F.; DÍAZ-CAMINO, C. The overexpression of Bax inhibitor-1 in common bean roots highlights its dual role in the legume-rhizobia symbiosis. **Journal of experimental botany**, Oxford, ery417, 2018b. <https://doi.org/10.1093/jxb/ery417>

HIRSCH, Penny R.; MAUCHLINE, Tim H. The importance of the microbial N cycle in soil for crop plant nutrition. In: **Advances in applied microbiology**, [s.l.] Academic Press, 2015. p. 45-71. <https://doi.org/10.1016/bs.aambs.2015.09.001>

HORWATH, W. R. The role of the soil microbial biomass in cycling nutrients. In: **Microbial Biomass: a paradigm shift in terrestrial biogeochemistry**. 2017. p. 41-66. https://doi.org/10.1142/9781786341310_0002

JAGANATHAN, G. K. Influence of maternal environment in developing different levels of physical dormancy and its ecological significance. **Plant ecology**, [s.l.] v. 217, n. 1, p. 71-79, 2016. <https://doi.org/10.1007/s11258-015-0560-y>

JIROUTOVA, P. ; OKLESTKOVA, J.; STRNAD, M. . Crosstalk between Brassinosteroids and Ethylene during Plant Growth and under Abiotic Stress Conditions. **International journal of molecular sciences**, Basel, v. 19, n. 10, p. 3283, 2018. <https://doi.org/10.3390/ijms19103283>

JUNG, J-H.; PARK, C-M. Auxin modulation of salt stress signaling in *Arabidopsis* seed germination. **Plant signaling & behavior**, London , v. 6, n. 8, p. 1198-1200, 2011. <https://doi.org/10.4161/psb.6.8.15792>

KAPLAN, E. L.; MEIER, P. Nonparametric estimation from incomplete observations. **Journal of the American Statistical Association**, London, v. 53, p. 457–481. 1958.

KOLLING, D. F.; OZELAME, O. . Utilização de nitrogênio e enxofre em cobertura no feijão preto safrinha. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 18, n. 4, p. 204-211, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rsa.v18i4.51205>

KOTOWSKI, F. Temperature relations to germination of vegetable seed. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**. Geneva, v. 23, p. 176-184. 1926.

LABOURIAU, L. G. . On the physiology of seed germination in *Vicia graminea* Sm. I. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 42, p. 235-262. 1970

LABOURIAU, L. G. **A germinação das sementes**. Organização dos Estados Americanos. Programa Regional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. 1983.

LABOURIAU, L. G.; VALADARES, M. E. B. On the germination of seeds of *Calotropis procera* (Ait.) Ait. F. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 48, p.

263-284. 1976.

LANGE, A.; CAVALLI, E.; CARLETO, E. A.; BUCHELT, A. C.; CAVALLI, C.; PEREIRA, C. S. Métodos de fornecimento de nitrogênio para melhorar a produtividade na cultura do feijoeiro irrigado no Cerrado Mato-grossense. **Nativa**, Sinop, v. 6, n. 3, p. 252-260, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v6i3.5057>

LEBEDEFF, GA Estudos sobre a herança de sementes duras em feijões. **Journal of Agricultural Research**, [s.l.], v. 74, n. 7, p. 205, 1947.

LINKIES, A.; LEUBNER-METZGER, G. . Beyond gibberellins and abscisic acid: how ethylene and jasmonates control seed germination. **Plant cell reports**, London, v. 31, n. 2, p. 253-270, 2012. <https://doi.org/10.1007/s00299-011-1180-1>

LIU, Huan et al. Hormone modulation of legume-rhizobial symbiosis. **Journal of integrative plant biology**, [s.l.], 2018. <https://doi.org/10.1111/jipb.12653>

MAGUIRE, J. D. Speed of germination - aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**. New York, v. 2, p. 176-177. 1962.

MAIA, J. M.; MACÊDO, C. E. C.; SILVEIRA, J. A. G.; SILVA, A. F.; LIRA, E. H. A.; MELO, A. S.; MENESES, C. H. S. G. seca e salinidade na resposta antioxidativa de raízes de feijão caupi. **Journal of Biology & Pharmacy and Agricultural Management**, Campina Grande, v. 11, n. 1, 2015.

MARCOS FILHO, J. Fisiologia Para Plantas Cultivadas.. Piracicaba: Fealq, 2005, 495 p. v. 12

MARTÍNEZ-ROMERO, E.; SEGOVIA, L.; MERCANTE, F. M.; FRANCO, A. A.; GRAHAM, P. ; PARDO, M. A. *Rhizobium tropici*, a novel species nodulating *Phaseolus vulgaris* L. beans and *Leucaena* sp. trees. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, Reading, v. 41, n. 3, p. 417-426, 1991. doi: 10.1099/00207713-41-3-417

MCNAIR, J. N. ; SUNKARA, A.; FROBISH, D. How to analyse seed germination data using statistical time-to-event analysis: non-parametric and semi-parametric methods. **Seed Science Research**, Cambridge, v. 22, n. 2, p. 77-95, 2012. doi:10.1017/S0960258511000547

MEENA, V. S.; MEENA, S. K.; VERNA, J. P. ; KUMAR, A.; AERON, A.; MISHRA, P. K.; BISHT, J. K.; PATTANAYAK, A.; NAVEED, M.; DOTANIYA, M. L. Plant beneficial rhizospheric microorganism (PBRM) strategies to improve nutrients use efficiency: A review. **Ecological engineering**, Amsterdam, v. 107, p. 8-32, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.06.058>

MEIRA, F. D. A.; BUZZETTI, S.; ARF, O. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio no feijoeiro irrigado cultivado em plantio direto. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 40, n. 4, p. 383-388, abr. 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2005000400010>

MELO. L. C. PEREIRA; H. S.; SOUZA, T. L. P. O.; FARIA, L. C.; AGUIAR, M. S. , WENDLAND, A.; CARVALHO, H. W. L.; ALMEIDA, V. M.; MELO, C. L. P. COSTA, A.

F.; ITO, M. A.; PEREIRA FILHO, I. A.; POSSE, S. C. P. , MAGALDI, M. C. S.; DÍAZ, J. L. C. , COSTA, J. G. C.; ABREU, A. F. B. , MAURÍCIO MARTINS10, GUIMARÃES, C. M.; TRINDADE, N. L. S. R. , MELO, P. G. S.; BRAZ, A. J. B. P. , SOUZA, N. P. , FARIA, J. C. BRS FC104: **Cultivar de Feijão-Comum Carioca Superprecoce**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2017. 4p. (Embrapa Arroz e Feijão. Comunicado técnico, 239).

MENDES-RODRIGUES, C.; ARAÚJO, F. P. D.; BARBOSA-SOUZA, C.; BARBOSA-SOUZA, V. ; RANAL, M. A.; SANTANA, G. D.; OLIVEIRA, P. E. Dormência múltipla e efeito maternal na germinação de sementes de *Miconia ferruginata* (Melastomataceae), Serra de Caldas Novas, Goiás, Brasil. **Brazilian Journal of Botany**, São Paulo, v. 33, n. 1, p. 92-105, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-84042010000100009>.

MERCANTE, F. M.; OTSUBO, A. A.; BRITO, O. R. . New native rhizobia strains for inoculation of common bean in the Brazilian savanna. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 41, e0150120, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/18069657rbcs20150120>

MESQUITA, F. R.; CORRÊA, A. D.; ABREU, C. M. P. ; LIMA, R. A. Z.; ABREU, A. Linhagens de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.): composição química e digestibilidade protéica. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, p. 1114-1121, 2007.

MONDO, V. ; Nascente, A. S. Spatial arrangements for super-early genotypes for common bean production. **Colloquium Agrariae**, Presidente Prudente, v. 13, n. 1, 2017, p. 93-101. DOI: 10.5747/ca. 2017. v13. n1. a154

MONDO, V. H. V. ; NASCENTE, A. D.; CARDOSO NETO, M. O. Vigor de sementes de feijão comum afetando o rendimento de grãos da cultura. **Journal Seed Science**, Curitiba, v. 38, n. 4, p. 365-370. 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/2317-1545v38n4166814>.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Applied statistics and probability for engineers**. USA: John Wiley & Sons, Inc. , 792p. 2011

MORA, Y.; DÍAZ, R.; VARGAS-LAGUNAS, C.; PERALTA, H; GUERRERO, G.; AGUILAR, A.; ENCARNACIÓN, S.; GIRARD, L.; MORA, J. Nitrogen-fixing rhizobial strains isolated from common bean seeds: phylogeny, physiology, and genome analysis. **Applied and environmental microbiology**, [s.l.]v. 80, n. 18, p. 5644-5654, 2014. DOI: 10.1128 / AEM. 01491-14

MURRAY, J. D.; LIU, C. W.; CHEN, Y.; MILLER, A. J. Nitrogen sensing in legumes. **Journal of experimental botany**, Oxford, v. 68, n. 8, p. 1919-1926, 2017. 1926, <https://doi.org/10.1093/jxb/erw405>

NAEEM, M.; ANSARI, A. A. ; GILL, S. G. (Ed.). **Essential plant nutrients: uptake, use efficiency, and management**. Springer, 2017. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-58841-4>

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados na avaliação de plântulas. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA-NETO, J. B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, p. 2:1- 2:21. 1999.

NAMUGWANYA, M.; TENYWA, J. S.; OTABBONG, E.; MUBIRU, D.; MASAMBA, T. Development of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) production under low soil phosphorus

and drought in Sub-Saharan Africa: a review. **Journal of Sustainable Development**, Toronto, v. 7, p. 128–139, 2014 DOI: [10.1093/jxb/ery417](https://doi.org/10.1093/jxb/ery417)

NASCENTE, A. S., CARVALHO, M. D. Yield, biomass production and nutrients accumulation of super early genotype of common bean. **Colloquium Agrariae**, Presidente Prudente, v. 14, n. 1, 2018, p. 101-114. DOI: 10.5747/ca.2018.v14.n1.a194

NASCENTE, A. S.; CARVALHO, M. C. S.; ROSA, P. H. Growth, nutrient accumulation in leaves and grain yield of super early genotypes of common bean. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 46, n. 3, p. 292-300, 2016b. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-40632016v4641144>

NASCENTE, A. S.; CARVALHO, M. D. C. S.; MELO, L. C.; ROSA, P. H. Nitrogen management effects on soil mineral nitrogen, plant nutrition and yield of super early cycle common bean genotypes. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 39, n. 3, p. 369-378, 2017. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v39i3.32781>.

NASCENTE, A. S.; CARVALHO, M. D. C. S.; MELO, L. C.; ROSA, P. H. Nitrogen management effects on soil mineral nitrogen, plant nutrition and yield of super early cycle common bean genotypes. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 39, n. 3, p. 369-378, 2017. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v39i3.32781>

NASCENTE, A. S.; MELO, L. C.; ROSA, P. H. Growth analysis of early genotypes of common beans. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, [s.l.], v. 51, p. 249-250, 2016a.

OLIVEIRA, V. R.; RIBEIRO, N. D.; JOST, E.; LONDERO, P. M. G. Qualidade nutricional e microbiológica de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) cozido com ou sem água de maceração. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, p. 1912-1918, 2008. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542008000600034>

ONOFRI, A.; GRESTA, F.; TEI, F. A new method for the analysis of germination and emergence data of weed species. **Weed Research**, Oxford, v. 50, n. 3, p. 187-198, 2010. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2010.00776.x>

ONOFRI, A.; MESGARAN, M. B.; TEI, F.; COUSENS, R. D. The cure model: an improved way to describe seed germination?. **Weed Research**, Oxford, v. 51, n. 5, p. 516-524, 2011.

PEREIRA, V. J.; SANTANA, D. G. Coefficient of variation of normal seedlings obtained from the validation of methods for the seed germination testing of 20 species belonging to the family Fabaceae. **Journal Seed Science**, Curitiba, v. 35, n. 2, p. 61-170, 2013 <http://dx.doi.org/10.1590/S2317-15372013000200004>.

PEREIRA, W. A.; SÁVIO, F. L.; BORÉM, A.; DIAS, D. C. F. S. influência da disposição, número e tamanho das sementes no teste de comprimento de plântulas de soja. **Revista brasileira de sementes**, Curitiba, v. 31, n. 1, p. 113-121, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-31222009000100013>.

PERES, A. L. G.; SOARES, J. S.; TAVARES, R. G.; RIGHETTO, G.; ZULLO, M. A.; MANDAVA, N. B.; MENOSSI, M. Brassinosteroids, the Sixth Class of Phytohormones: A

Molecular View from the Discovery to Hormonal Interactions in Plant Development and Stress Adaptation. **International journal of molecular sciences**, Basel, v. 20, n. 2, p. 331, 2019. <https://doi.org/10.3390/ijms20020331>

PERES, A. R.; PORTUGAL, J. R.; RODRIGUES, R. A. F; SÁ, M. E; ARF, O.; FRANCO, A. A.; GARÉ, L. M. Efeito do cultivo de feijão com co-inoculação (*Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasiliense*) e lâminas de irrigação sobre a qualidade fisiológica das sementes produzidas. **Investigación Agraria**, San Lorenzo, v. 20, n. 1, p. 11-21, 2018. <http://dx.doi.org/10.18004/investig.agrар.2018.junio.11-21>

PIAS, O. H. C.; MENEGOL, D. R.; DAMIAN, J. M.; EITELWEIN, M. T; ROS, C. O.; SANTI, A. L. Nitrogênio no solo e no tecido foliar do feijoeiro em função da adubação nitrogenada. **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 6, n. 4, p. 13-27.

PISKUREWICZ, U.; IWASAKI, M.; SUSAKI, D.; MEGIES, C.; KINOSHITA, T.; LOPEZ-MOLINA, L. Dormancy-specific imprinting underlies maternal inheritance of seed dormancy in *Arabidopsis thaliana*. **Elife**, Cambridge, 5, e19573. 2016. DOI: 10.7554/eLife.19573
POSTMA, F. M.; ÅGREN, J. Maternal environment affects the genetic basis of seed dormancy in *A. thaliana*. **Molecular ecology**, Oxford, v. 24, n. 4, p. 785-797, 2015. <https://doi.org/10.1111/mec.13061>

PRIMACK, R. B. Variation in the phenology of natural populations of montane shrubs in New Zealand. **Journal of Ecology**. London, v. 68, p. 849-862, 1980.

QUINTEL A, E. D. et al. Manejo fitossanitário do feijoeiro. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005. 16 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Circular técnica, 73).

RANAL, M. A.; SANTANA, D. G. How and why to measure the germination process? **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 29, n. 1, p. 1-11, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-84042006000100002>

RANAL, M. A.; SANTANA, D. G.; I. SCHIAVINI. Are there germination patterns for cerrado species?. In: DEL CLARO, K.; OLIVEIRA, P. S.; RICO-GRAY, V. ; BARBOSA, A. A. A.; (Org.). **Encyclopedia of Life Support Systems, Tropical Biology and Natural Resources**. 1ed. Oxford: Encyclopedia of Life Support Systems (Eolss) Publishers, 2010, v. 10, p. 106-159.

REWAVAS, A. Aspects of plant intelligence. **Annals of Botany**, Oxford, v. 92, n. 1, 2003, p. 1-20. <http://dx.doi.org/10.1093/aob/mcg101>.

RIBEIRO, J. E. S.; LEITE, A. P. ; COSTA, J. E.; ALBUQUERQUE, M. B.; MIELEZRSKI, F. Development, Physiology and Productivity of the Common Bean Under Different Nitrogen Doses. **Journal of Agricultural Science**, [s.l.], v. 10, n. (6). p. 171-183. 2018. <https://doi.org/10.5539/jas.v10n6p171>

RIBEIRO, R. A.; ROGEL, M. A.; LOPEZ-LOPEZ, A.; ORMENO-ORRILLO, E.; BARCELLOS, F. G.; MARTINEZ, J.; MARTÍNEZ, L.; THOMPSON, F. L.; MARTÍNEZ-ROMERO, E.; HUNGRIA, M. Reclassification of *Rhizobium tropici* type A strains as *Rhizobium leucaenae* sp. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, Reading, v. 62, p. 1179–1184, 2012. DOI 10.1099/ijsm.0.032912-0

RIBEIRO-OLIVEIRA, J. P. ; RANAL, M. A.; SANTANA, D. G. A amplitude amostral interfere nas medidas de germinação de *Bowdichia virgilioides* Kunth?. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 4, p. 623-634, 2013.

RIBEIRO-OLIVEIRA, J. P. ; SANTANA, D. G. D.; PEREIRA, V. J.; SANTOS, C. M. D. Data transformation: an underestimated tool by inappropriate use. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Santa Maria, v. 40, e35300, 2018 . Doi: 10.4025/actasciagron. v40i1. 35300

RIBEIRO-OLIVEIRA, J. P; RANAL, MARLI A. Sample size in studies on the germination process. **Botany**, Ottawa, v. 94, n. 2, p. 103-115, 2016. <https://doi.org/10.1139/cjb-2015-0161>

ROACH, D. A. , WULFF, R. D. Maternal effects in plants. **Annual review of ecology and systematics**, [s.l.], v. 18, P. 209–235, 1987.

RYU, H.; CHO, H.; CHOI, D.; HWANG, I. Plant Hormonal Regulation of Nitrogen-Fixing Nodule Organogenesis. **Moleculares and Cells**, [s.l.], v. 34, n. 2, p. 117-126, 2012. DOI/10.1007/s10059-012-0131-1

SAIO, K. Soybeans resistant to water absorption. **Cereal Foods World**, [s.l.], v. 21, p. 168-173, 1976.

SÁNCHEZ, E.; RUIZ, J. M.; ROMERO, L. Compuestos nitrogenados indicadores de estrés en respuesta a las dosis tóxicas y deficientes de Nitrógeno en frijol ejotero. **Nova scientia**, León , v. 8, n. 16, p. 228-244, 2016.

SANTANA, D. G. ; RANAL, M. A . **Análise da germinação**: um enfoque estatístico. 1. ed. Brasília-DF: Editora Universidade de Brasília, 2004. 164p .

SANTANA, DG; RANAL, MA Análise estatística na germinação. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, São Paulo, v. 12 (Edição Especial), p. 205-237, 2000. <http://www.cnpdia.embrapa.br/rbfv/pdfs/v12Especialp206.pdf>

SANTANA, M. V. ; SILVA, B. F.; SANTOS, T. T. M.; SILVA, J. O.; TAVARES, C. J.; DORNELLES, M. S. Redução da adubação nitrogenada em cobertura de feijoeiro com *Rhizobium tropici*. **Global Science And Technology**, [s.l.], v. 11, n. 2, p. 88-100, 2018.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5 ed. EMBRAPA, Brasília. 2013. 353p.

SHABAN, Morad. Review on physiological aspects of seed deterioration. **International Journal of Agriculture and Crop Sciences**, [s.l.], v. 6, n. 11, p. 627, 2013.

SHU, T.; QI, Y; CHEN, F.; MENG, Y.; LUO, X. , SHUAI, H.; ZHOU, W.; DING, J.; DU, J.; LIU, J.; YANG, F.; WANG, Q.; LIU, W. YONG, T.; XIAOCHUN, W.; FENG, Y.; YANG, W. Salt stress represses soybean seed germination by negatively regulating GA biosynthesis while positively mediating ABA biosynthesis. **Frontiers in plant science**, Melbourne, v. 8, p.

1372, 2017. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01372>

SILESHI, G. W. A critique of current trends in the statistical analysis of seed germination and viability data. **Seed Science Research**, Cambridge, p. 1-15, 2012. <https://doi.org/10.1017/S0960258512000025>

SILVA, F. C. . **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. EMBRAPA - Embrapa informações tecnológicas. 2 ed. rev. e ampl. Brasilia, DF, 2009. 627p.

SILVA, M. O.; BRIGIDE, P. ; CANNIATTI-BRAZACA, S. G. Caracterização da composição centesimal e mineral de diferentes cultivares de feijão comum crus e cozidos. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 24, n. 3, p. 336, 2013.

SILVEIRA, P. M.; GONZAGA, A. . C. O. Portable chlorophyll meter can estimate the nitrogen sufficiency index and levels of topdressing nitrogen in common bean. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. Goiânia, v. 47, n. 1, p. 1-6, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-40632016v4742128>

STEEL, R. GD.; TORRIE, J. H. **Principles and procedures of statistics**: a biometrical approach. 2. ed. Nova Iorque: McGraw-Hill, 633p. 1980

SUN, J.; CARDOZA, V. ; MITCHELL, D. M.; BRIGHT, L.; OLDROYD, G.; HARRIS, J. M. Crosstalk between jasmonic acid, ethylene and Nod factor signaling allows integration of diverse inputs for regulation of nodulation. **The Plant Journal**, [s.l.], v. 46, n. 6, p. 961-970, 2006. DOI: 10.1111/j.1365-313X.2006.02751.x

TAMAGNO, S.; SADRAS, V. O.; HAEGELE, J. W.; ARMSTRONG, P. R.; CIAMPITTI, I. A. Interplay between nitrogen fertilizer and biological nitrogen fixation in soybean: implications on seed yield and biomass allocation. **Scientific reports**, London, v. 8, n. 1, p. 17502, 2018. DOI:10.1038/s41598-018-35672-1

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF : Embrapa, 2017. 573p.

TIBAU, A. O. **Técnicas modernas de irrigação**: aspersão, derramamento, gotejamento. São Paulo: Nobel, 1976.

UNIT STAT OF AMERICA. Code of Federal Regulations. Title 21, Volume 21, Part 101, Section 101. 9- Nutrition labeling of food, 2007. Disponível em: <http://www.gpoaccess.gov/cfr/index.html>. Acesso em: 18 de novembro de 2017.

VALENCIA-DÍAZ, S. , MONTAÑA, C. . Temporal variability in the maternal environment and its effect on seed size and seed quality in *Flourensia cernua* DC. (Asteraceae). **J Arid Environ** 63: 686–695. 2005 <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2005.03.024>

VALENCIA-DÍAZ, S.; MONTAÑA, C. Temporal variability in the maternal environment and its effect on seed size and seed quality in *Flourensia cernua* DC. (Asteraceae). **Journal of arid environments**, London ,v. 63, n. 4, p. 686–695. 2005. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2005.03.024>

VARGAS, L. K.; VOLPIANO, C. G.; LISBOA, B. B.; GIONGO, A.; BENEDUZI, A.; PASSAGLIA, L. M. P. Potential of rhizobia as plant growth-promoting rhizobacteria. In: **Microbes for legume improvement**. Springer, Cham, 2017. p. 153-174. https://doi.org/10.1007/978-3-319-59174-2_7

VISHAL, B.; KUMAR, P. P. Regulation of seed germination and abiotic stresses by gibberellins and abscisic acid. **Frontiers in plant science**, Melbourne, v. 9, 2018. Doi: 10.3389/fpls. 2018. 00838

WEI, Z.; LI, J. . Brassinosteroids regulate root growth, development, and symbiosis. **Molecular plant**, Oxford, v. 9, n. 1, p. 86-100, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2015.12.003>

WULFF, R. D. Environmental maternal effects on seed quality and germination. In: Kigel, J. , Galilei, G. , **Seed development and germination**. New York, Marcel Dekker, 1995. pp. 491-505.

YUAN, K.; RASHOTTE, A. M.; WYSOCKA-DILLER, J. W. ABA and GA signaling pathways interact and regulate seed germination and seedling development under salt stress **Acta Physiol Plant**, [s.l.], v. 33, n. 261, p. 261–27, 2011. <https://doi.org/10.1007/s11738-010-0542-6>

ZHU, T.; DENG, X.; ZHOU, X.; ZHU, L.; ZOU, L.; LI, P. ; ZHANG, D.; LIN, H. Ethylene and hydrogen peroxide are involved in brassinosteroid-induced salt tolerance in tomato. **Scientific reports**, London, v. 6, 35392. 2016. <https://doi.org/10.1038/srep35392>

ZUFFO, A. M.; STEINER, F.; BUSCH, A.; ZUFFO JÚNIOR, J. M.; MENDES, A. E. S.; OLIVEIRA, N. T. D.; ZAMBIAZZI, E. V. Quality of soybean seeds in response to nitrogen fertilization and inoculation with *Bradyrhizobium japonicum*. **Pesquisa Agropecuaria Tropical**, Goiânia, v. 48, n. 3, p. 261-270, 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-40632018v48s1638>