

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
TROPICAL

CRESCIMENTO, NUTRIÇÃO, PRODUÇÃO DE FRUTOS E  
QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE FEIJÃO-DE-  
METRO

ANDRÉ LUIZ BORBOREMA DA CUNHA

MANAUS, AM

2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
TROPICAL

ANDRÉ LUIZ BORBOREMA DA CUNHA

CRESCIMENTO, NUTRIÇÃO, PRODUÇÃO DE FRUTOS E  
QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE FEIJÃO-DE-  
METRO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical da Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Amazonas, como parte do requisito para obtenção do título de Doutor em Agronomia Tropical, área de concentração em Produção Vegetal.

Orientador: Dr. Francisco Célio Maia Chaves

Co-orientadora: Dra. Cristiaini Kano

MANAUS, AM

2019

Cunha, André Luiz Borborema da Cunha  
C972c Crescimento, nutrição, produção de frutos e qualidade fisiológica  
de sementes de feijão-de-metro / André Luiz Borborema da Cunha.  
2019  
116 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Francisco Célio Maia Chaves

Coorientadora: Cristiaini Kano

Tese (Doutorado em Agronomia Tropical) - Universidade Federal  
do Amazonas.

1. *Vigna unguiculata* subsp. *sesquipedalis*. 2. germinação e vigor.  
3. fósforo. 4. marcha de absorção. 5. macronutrientes e  
micronutrientes. I. Chaves, Francisco Célio Maia II. Universidade  
Federal do Amazonas III. Título

ANDRÉ LUIZ BORBOREMA DA CUNHA

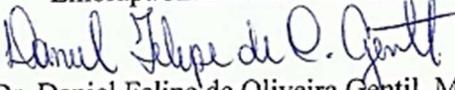
CRESCIMENTO, NUTRIÇÃO, PRODUÇÃO DE FRUTOS E  
QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE FEIJÃO-DE-  
METRO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação  
em Agronomia Tropical da Faculdade de Ciências  
Agrárias da Universidade Federal do Amazonas,  
como parte do requisito para obtenção do título de  
Doutor em Agronomia Tropical, área de  
concentração em Produção Vegetal.

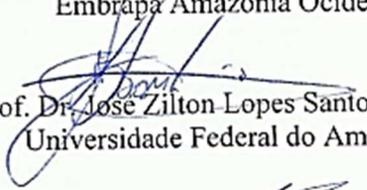
Aprovada em 26 de fevereiro de 2019

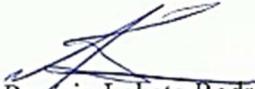
BANCA EXAMINADORA

  
Prof. Dr. Francisco Célio Maia Chaves, Presidente  
Embrapa Amazônia Ocidental

  
Prof. Dr. Daniel Felipe de Oliveira Gentil, Membro  
Universidade Federal do Amazonas

  
Dra. Marina Oliveira Cardoso, Membro  
Embrapa Amazônia Ocidental

  
Prof. Dr. José Zilton Lopes Santos, Membro  
Universidade Federal do Amazonas

  
Prof. Dra. Maria Rosário Lobato Rodrigues, Membro  
Embrapa Amazônia Ocidental

## ***DEDICÁTORIA***

*Em especial a Deus, por toda sua bondade e é Dele todas as minhas vitórias.*

*Aos meus avós, pais de criação, Cleuton e Adelidia que me deram todo o suporte e cuidados nesta vida. Aos meus pais biológicos, Carlos e Miriam, pelo carinho, amor e atenção.*

*“O conhecimento é a maior das motivações”*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, por estar vivo e por toda energia positiva através da minha fé para que pudesse terminar mais uma etapa de minha vida profissional, sobretudo uma conquista pessoal.

À Universidade Federal do Amazonas (UFAM) e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical pela oportunidade de adquirir mais conhecimento e experiência, além da conclusão deste curso de Doutorado.

À Embrapa Amazônia Ocidental pela infraestrutura e corpo técnico disponibilizado para realização deste projeto.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão de bolsa de estudos.

Ao Dr. Francisco Célio Maia Chaves, pela orientação, conselhos e amizade. Agradeço seu empenho, pois mesmo em momentos difíceis, nunca deixou que faltasse nada na elaboração deste trabalho e de outros que formam a equipe. Seu vasto conhecimento, sua troca de experiência, seus ajustes e, principalmente, sua paciência foram essenciais, mesmo em momentos de conflitos de ideias, os quais foram essenciais. Agradeço de forma especial toda sua contribuição neste trabalho.

A Dra. Cristiani Kano, minha co-orientadora, mesmo com a contribuição à distância, sempre se mostrou solícita, paciente, e forneceu informações, ajustes e opiniões essenciais e necessárias à conclusão deste trabalho, além da grande amizade que levarei sempre para a vida.

Aos meus professores, desde o curso de Engenheiro Agrônomo até o curso de Doutorado, meus sinceros agradecimentos. Cada aula foi essencial para o molde desta vida profissional.

Em especial, aos professores Dr. Ari de Freitas Hidalgo, pela supervisão no estágio docência, e ao Dr. José Zilton Lopes, pela contribuição e sugestões nos trabalhos de nutrição.

Aos pesquisadores da Embrapa, em especial, o Msc. Rodrigo Berni, pela troca de informações, sugestões e amizade.

Ao Analista Marcelo Róseo, pelo incentivo, amizade, palavras de conforto, na participação em análises e sugestões.

Ao Laboratório de Piscicultura e à Assistente Irani Moraes pela utilização dos equipamentos e auxílio nas análises.

Ao Laboratório de Análises de Solos e Plantas na realização das análises de solo e no tecido foliar.

Aos assistentes de campo, Raimundo Cesar, Miqueis Souza, Carlos Antônio Barbosa e Carlos da Silva Pereira e ao Técnico Agrícola Mario Kokay, pela participação, contribuição em trabalhos de campo, conversas e pela amizade.

A Luanna Lira, minha namorada, pelo amor, compreensão, apoio, carinho, solidariedade, minha companheira e amiga, por ser minha motivação em momentos de agonia e desespero, alguém que sempre estará ao meu lado, seu apoio foi muito importante para a conclusão desta etapa em minha vida.

Aos meus grandes amigos e irmão de vida, Pedro, Airton, Layon, Ednaldo, Cilionei, pela amizade que perfaz há mais de 15 anos, pelas palavras de conforto, pelos convites recusados, e por outros infinitos quesitos que fazem destes meus irmãos.

Aos meus queridos amigos Ítalo, Adriana, Flávia, Jaisson, Jones e Brunno pelo apoio, momentos de descontração, e auxílio na instalação e avaliação dos experimentos.

Aos professores, pesquisadores, funcionários e amigos da Universidade Federal do Amazonas e Embrapa Amazônia Ocidental, que de alguma forma contribuíram para a conclusão deste trabalho.

## RESUMO GERAL

O rendimento produtivo da cultura do feijão-de-metro está ligado à sementes de alta qualidade fisiológica, que por sua vez, é a expressão do máximo poder germinativo e vigor. A obtenção de sementes com qualidade é condicionada há diversos fatores tais como, o estado nutricional da planta-mãe, a época da colheita da semente e o beneficiamento (secagem). Portanto, este trabalho teve como objetivo I: Avaliar se a colheita das vagens e a secagem das sementes influencia no tempo de armazenamento e na qualidade fisiológicas das sementes de feijão-de-metro. Objetivo II: Avaliar se o P influencia na qualidade fisiológica de sementes de feijão-de-metro. Objetivo III: Avaliar o crescimento e a marcha de absorção de nutrientes durante o ciclo da cultura. Os maiores resultados de germinação (87%) foram obtidos na época de colheita das vagens aos 15 DAA quando as sementes permaneceram secando dentro das vagens. Quando as sementes secaram fora da vagem o mais indicado é colher aos 14 DAA (84%). O armazenamento deve ser realizado até 6 meses quando forem secas fora da vagem. No modo de secagem das sementes que permanecem na vagem, o tempo máximo de armazenamento é até 12 meses. Em relação ao estado nutricional da planta, as diferentes doses de P, influenciaram no crescimento, na absorção, na produção e na qualidade fisiológica das sementes. A dose de 1,5 mmol L<sup>-1</sup> foi indicado através do modelo de ajuste quadrático como a dose de máxima eficiência econômica. O nível crítico de deficiência e de toxidez aos 35 DAE (época da diagnose nutricional) foi de 6,9 e 8,4 g kg<sup>-1</sup>, e aos 60 DAE (final do experimento) foi de 10,7 a 13,3 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Foi identificado também, para as plantas de feijão-de-metro três fases distintas de crescimento vegetativa (0 a 30 DAE), fase reprodutiva (31 a 60 DAE) e senescência (61 a 80 DAE). A equação sigmoideal é o modelo que melhor representou a curva de crescimento das plantas. O manejo nutricional da cultura deve ser realizado até os 45 DAE. A ordem da extração total de macronutrientes pela planta no final do ciclo foi de Ca>K>N>P>S=Mg e de micronutrientes foi Fe>B>Mn>Zn>Cu.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata* subsp. *sesquipedalis*, germinação, vigor, fósforo, marcha de absorção, macronutrientes e micronutrientes.

## ABSTRACT

The productive yield of the bean plant is linked to seeds of high physiological quality, which in turn, is the expression of maximum germinative power and vigor. Obtaining quality seed is conditioned by several factors such as the nutritional status of the parent plant, the time of harvesting the seed and the processing (drying). Therefore, the objective of this work was to evaluate whether pod harvests and seed drying influenced the storage time and physiological quality of the bean seeds. Objective II: To evaluate if P influences the physiological quality of bean seeds. Objective III: To evaluate the growth and progression of nutrient absorption during the crop cycle. The highest germination results (87%) were obtained at the harvest time of the pods at 15 DAA when the seeds remained dry inside the pods. When the seeds dried out from the pod the most indicated is to harvest at 14 DAA (84%). Storage should be carried out up to 6 months when they are dried out of the pod. In the drying mode of the seeds that remain in the pod, the maximum storage time is up to 12 months. In relation to the nutritional status of the plant, the different doses of P, influenced the growth, the absorption, the production and the physiological quality of the seeds. The dose of 1.5 mmol L<sup>-1</sup> was indicated by the quadratic adjustment model as the dose of maximum economic efficiency. The critical level of deficiency and toxicity at 35 DAE (time of nutritional diagnosis) was 6.9 to 8.4 g kg<sup>-1</sup>, and at 60 DAE (end of the experiment) it was 10.7 to 13.3 g kg<sup>-1</sup>, respectively. Three different phases of vegetative growth (0 to 30 DAE), reproductive phase (31 to 60 DAE) and senescence (61 to 80 DAE) were also identified for the bean plants. The sigmoidal equation is the model that best represented the growth curve of the plants. The nutritional management of the crop should be carried out up to 45 DAE. The order of total extraction of macronutrients by the plant at the end of the cycle was Ca > K > N > P > S = Mg and of micronutrients Fe > B > Mn > Zn > Cu.

**Key words:** *Vigna unguiculata* subsp. *sesquipedalis*, germination, vigor, phosphorus, uptake, macronutrient and micronutrient.

## LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I – ÉPOCAS DE COLHEITA DE SEMENTES DE FEIJÃO-DE-METRO SUBMETIDAS A DOIS MODOS DE SECAGEM E AO ARMAZENAMENTO .....	22
Figura 1- Gráfico de superfície de resposta do grau de umidade (%) no modo de secagem das sementes fora da vagem – FV (a) e permanecendo na vagem - PV (b) em relação a época de colheita e o período de armazenamento. ....	31
Figura 2- Gráfico de superfície de resposta da massa de sementes (g) no modo de secagem das sementes fora da vagem – FV (a) e permanecendo na vagem - PV (b) em relação a época de colheita e o período de armazenamento. ....	33
Figura 3- Gráfico de superfície de resposta do percentual de germinação no modo de secagem das sementes fora da vagem – FV (a) e permanecendo na vagem - PV (b) em relação a época de colheita e o período de armazenamento.....	35
Figura 4- Gráfico de superfície de resposta do percentual de emergência no modo de secagem das sementes fora da vagem – FV (a) e permanecendo na vagem - PV (b) em relação a época de colheita e o período de armazenamento.....	38
Figura 5 - Gráfico de superfície de resposta do índice de velocidade de germinação (IVG) no modo de secagem das sementes fora da vagem – FV (a) e permanecendo na vagem - PV (b) em relação a época de colheita e o período de armazenamento. ....	40
Figura 6 - Gráfico de superfície de resposta do índice de velocidade de emergência (IVE) no modo de secagem das sementes fora da vagem – FV (a) e permanecendo na vagem - PV (b) em relação a época de colheita e o período de armazenamento. ....	41
CAPÍTULO II - DOSES DE FÓSFORO EM SOLUÇÃO NUTRITIVA NO CRESCIMENTO, NA PRODUÇÃO E NA QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE FEIJÃO-DE-METRO .....	46
Figura 1 – Acúmulo de matéria seca de plantas de feijão-de-metro em função de doses de P: (a) Matéria seca total, da raiz, caule e folhas no período de diagnose nutricional (35 DAE); (b) Matéria seca total, raiz, caule, folhas, vagens e sementes ao final do experimento (60 DAE).57	
Figura 2 - Teores de fósforo nas folhas (a), no caule (b) e na raiz (c) no feijão-de-metro aos 35 e 60 DAE cultivados em função das doses de P.....	59
Figura 3 - Teores de fósforo na semente (a) e na vagem (b) no feijão-de-metro aos 60 DAE cultivados em função das doses de P.....	61
Figura 4 - Acúmulo de fósforo na folha (a), no caule (b) , raiz (c) e acúmulo total (d) nas plantas de feijão-de-metro aos 35 e 60 DAE cultivados em função das doses de P.....	62
Figura 5 - Acúmulo de fósforo na semente (a) e na vagem (b) do feijão-de-metro aos 60 DAE cultivados em função das doses de P.....	63
Figura 6 - Número de vagens por planta aos 60 DAE cultivados em função das doses de P ..	64
Figura 7 - Produção de sementes (a) e número de sementes (b) por planta aos 60 DAE cultivados em função das doses de P .....	64

Figura 8 - Eficiência de absorção de fósforo (EAP) na planta de feijão-de-metro aos 60 DAE cultivados em função das doses de P em solução nutritiva .....	65
Figura 9 - Relação raiz:parte área de plantas de feijão-de-metro aos 60 DAE cultivados em função das doses de P. ....	66
Figura 10 - Eficiência de utilização de fósforo (EUP) na raiz, parte área (PA) e semente do feijão-de-metro aos 60 DAE cultivados em função das doses de P. ....	67
Figura 11 - Atividade enzimática da fosfatase ácida <i>in vivo</i> na época da diagnose nutricional (35 DAE) e na época de plena produção de vagens (45 DAE). ....	69
Figura 12 - Percentual de germinação (a), emergência (b) e o índice de velocidade de emergência (c) de sementes de feijão-de-metro em função das doses de P. ....	71
Figura 13 - Condutividade elétrica (CE) de sementes de feijão-de-metro em função das doses de P em solução nutritiva. ....	72
Figura 14 - Valores médios e ajuste de equações da atividade enzimática da fosfatase ácida <i>in vivo</i> ( $\mu\text{mol}$ paranitrofenolfosfato $\text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$ ) ao final do teste de germinação em função de doses de P em solução nutritiva. ....	73

### CAPÍTULO III – CRESCIMENTO E MARCHA DE ABSORÇÃO DE NUTRIENTES PELO FEIJÃO-DE-METRO .....

Figura 1 - Fases de crescimento durante o período vegetativo de plantas de feijão-de-metro: (a) emergência das plântulas, (b) plântulas emergidas com folhas primárias totalmente abertas e (c) primeira folha trifoliada totalmente aberta. ....	90
Figura 2 - Fase reprodutiva de plantas de feijão-de-metro: (a) início da floração, (b) flor da planta de feijão-de-metro na antese e (c) planta em plena produção de vagens.....	90
Figura 3 - Início da fase de senescência das plantas de feijão-de-metro. ....	91
Figura 4 - Número de folhas (a), área foliar (b), número de frutos (c), diâmetro do coleto (mm) (d) e número de frutos acumulados (e) de plantas de feijão-de-metro. ....	92
Figura 5 - ● Matéria seca total, ○ raiz, ▼ caule, Δ folhas e ■ reprodutivo das plantas de feijão-de-metro.....	94
Figura 6 - Taxa de crescimento relativo (a), taxa de crescimento da cultura (b), taxa assimilatória líquida (c) e área foliar específica (d) de plantas de feijão-de-metro.....	96
Figura 7 - Índice de área foliar (a), duração de área foliar (b), razão de área foliar (c) e razão de peso foliar (d) de plantas de feijão-de-metro. ....	98
Figura 8 - Acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) e o percentual de acúmulo nas diferentes partes da planta. REP = Reprodutivo (flores, vagens e sementes). ....	100
Figura 9 – Acúmulo de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) e o percentual de acúmulo nas diferentes partes da planta. REP = Reprodutivo (flores, vagens e sementes). ....	102
Figura 10 – Acúmulo de boro (B) e cobre (Cu) e o percentual de acúmulo nas diferentes partes da planta. REP = Reprodutivo (flores, vagens e sementes).....	107
Figura 11 – Acúmulo de ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) e o percentual de acúmulo nas diferentes partes da planta. REP = Reprodutivo (flores, vagens e sementes). ....	109

## LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II - DOSES DE FÓSFORO EM SOLUÇÃO NUTRITIVA NO CRESCIMENTO, NA PRODUÇÃO E NA QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE FEIJÃO-DE-METRO ..... 46

Tabela 1 - Reagentes, concentração e formulação da solução nutritiva Hoagland & Arnon (1950) utilizada no cultivo de feijão-de-metro em função de doses de fósforo. .... 51

CAPÍTULO III – CRESCIMENTO E MARCHA DE ABSORÇÃO DE NUTRIENTES PELO FEIJÃO-DE-METRO ..... 80

Tabela 1 - Reagentes, concentração e formulação da solução nutritiva Hoagland & Arnon (1950) modificada utilizada no cultivo de feijão-de-metro. .... 85

Tabela 2 - Percentual de acúmulo de macronutrientes total e na raiz, caule, folhas e reprodutivo (flores + vagens + semente) extraído pelo feijão-de-metro cultivado em casa de vegetação até 80 dias após a emergência (DAE). .... 105

Tabela 3 - Percentual de acúmulo de micronutrientes total e na raiz, caule, folhas e reprodutivo (flores + vagens + semente) extraído pelo feijão-de-metro cultivado em casa de vegetação até 80 dias após a emergência (DAE). .... 112

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL .....	13
2. OBJETIVOS .....	18
2.1. Objetivo geral.....	18
2.2. Objetivos específicos.....	18
3. REFERÊNCIAS .....	19
CAPÍTULO I – ÉPOCAS DE COLHEITA DE SEMENTES DE FEIJÃO-DE-METRO SUBMETIDAS A DOIS MODOS DE SECAGEM E AO ARMAZENAMENTO.....	22
1. INTRODUÇÃO .....	24
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	26
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	29
3.1. Características das vagens e sementes em relação a época de colheita.....	29
3.2. Qualidade de sementes em relação a época de colheita x armazenamento em função do modo de secagem.....	29
4. CONCLUSÕES.....	42
5. REFERÊNCIAS .....	42
CAPÍTULO II - DOSES DE FÓSFORO NO CRESCIMENTO, NA PRODUÇÃO E NA QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE FEIJÃO-DE-METRO .....	46
1. INTRODUÇÃO .....	48
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	50
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	56
3.1. Crescimento, teor e absorção de fósforo .....	56
3.2. Produção de vagens e sementes .....	63
3.3. Eficiência de absorção (EAP) e eficiência de utilização de P (EUP).....	65
3.4. Atividade da enzima fosfatase ácida “ <i>in vivo</i> ” .....	68
3.5. Qualidade de sementes.....	70
4. CONCLUSÕES.....	74
5. REFERÊNCIAS .....	74
CAPÍTULO III – CRESCIMENTO E MARCHA DE ABSORÇÃO DE NUTRIENTES PELO FEIJÃO-DE-METRO .....	80
1. INTRODUÇÃO .....	82
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	83
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	89
3.1. Descrição das fases de crescimento.....	89
3.2. Variáveis de crescimento e acúmulo de matéria seca .....	92
3.3. Variáveis fisiológicas .....	95
3.4. Acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio .....	99
3.5. Acúmulo de cálcio, magnésio e enxofre .....	102

3.6.	Percentual de acúmulo de macronutrientes .....	104
3.7.	Acúmulo de Boro e Cobre.....	106
3.8.	Acúmulo de ferro, manganês e zinco .....	108
3.9.	Percentual de acúmulo de micronutrientes.....	111
4.	CONCLUSÕES.....	112
5.	REFERÊNCIAS .....	113

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O feijão-de-metro (*Vigna unguiculata* subsp. *sesquipedalis* (L.) Verdecourt) é uma hortaliça não-convencional apreciada e cultivada na região Norte (KINUPP e LORENZI, 2014). Possui papel relevante na produção hortícola e familiar, pois funciona como complementação de renda e diversificação de cultivos, além de ser uma excelente fonte de proteína (24-28%) (ANO e UBOCHI, 2008; SILVA et al., 2012).

No Estado do Amazonas, sua produção é realizada quase que exclusivamente, por pequenos produtores (CARDOSO e CHAVES, 2008). Na safra 2017/2018, de acordo com o Instituto de Desenvolvimento Agropecuário e Florestal Sustentável do Estado do Amazonas (IDAM) estima-se que 2.134 produtores trabalharam com a cultura, em uma área de 273 ha com produção de 208 mil maços (IDAM, 2018).

Contudo, mesmo apresentando destaque regional, o manejo produtivo da cultura carece de muitas informações, ficando a cargo do produtor a maioria das etapas do processo produtivo. Uma dessas etapas é a obtenção da semente para o plantio, tradicionalmente, estes agricultores obtém a semente do próximo ano agrícola, selecionando vagens e sementes da colheita anterior, o que pode ocasionar a escolha de sementes sem qualidade garantida, já que a forma de beneficiamento fica a critério de cada produtor rural.

Essa prática pode afetar o alto rendimento das culturas, pois a elevada produção somente é atingida quando há o uso de sementes de qualidade em conjunto com as de boas práticas de manejo (ROSSI, 2016).

Uma semente de qualidade é aquela que possui alta pureza genética, qualidade sanitária, física e fisiológica. Esta última, trata-se do potencial germinativo, do vigor e da longevidade, que será determinante no estabelecimento das mudas, no desenvolvimento em campo e na produtividade das culturas (POPINIGS, 1985; BEWLEY e BLACK, 1994).

Para que a semente expresse seu potencial germinativo e de vigor um dos primeiros pontos a ser levado em consideração é a época de colheita (LIN et al. 2016). Para chegar ao ponto ideal de colheita deve-se primeiramente conhecer o processo de maturação de sementes da espécie.

A maturação da semente resulta em alterações morfológicas, fisiológicas e funcionais, como aumento de tamanho, variações no teor de água, vigor e acúmulo de massa seca, que se sucedem desde a fertilização do óvulo até o momento em que as sementes estão maduras (CARVALHO e NAKAGAWA, 2000).

O final deste processo é caracterizado pelo maior acúmulo de matéria seca e redução do teor de água, expressando também, seu máximo potencial de vigor e germinativo (POPINIGS, 1985). É neste momento que a semente se desprende da planta-mãe, inicia o processo de secagem, e geralmente é colhida (BARROS, 1986).

Contudo, a colheita no ponto de maturidade fisiológica pode influenciar negativamente a qualidade da semente devido a sua exposição à condições desfavoráveis do ambiente. Para muitas espécies, a colheita mais próxima do ponto de maturidade pode reduzir os riscos de deterioração no campo, permitindo a obtenção de sementes de qualidade superior (TERASAWA et al. 2009).

Sementes de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) obtiveram o máximo potencial germinativo quando foram colhidas aos 14 dias após a antese no trabalho de Nogueira et al. (2014). Neste mesmo trabalho, as sementes possuíam maior acúmulo de matéria seca na faixa de 16 a 18 dias após a antese, evidenciando que a colheita para as espécies deste gênero pode ser antecipada.

Além da época de colheita, o beneficiamento através da secagem é fundamental na manutenção da qualidade fisiológica (SMANIOTTO et al., 2014). O modo de secagem da semente pode atenuar os processos de deterioração que estão ativos devido à presença de água

contida na semente, esta prática promove a longevidade da semente em condições de armazenamento.

Outro fator que age na qualidade fisiológica das sementes é estado nutricional da planta-mãe, o qual determina o vigor de seus descendentes por várias gerações, além de proporcionar um maior número de sementes viáveis (MIAO et al., 1991; KANO et al., 2006).

No caso do feijão-de-metro, a maioria dos pequenos produtores não possui um manejo de nutrição da planta-mãe, quando o objetivo é a semente, principalmente para elementos que são exportados em grandes quantidades para a formação da mesma, como o fósforo (P) (MAATHUIS, 2009).

O P está presente nas plantas na forma de ortofosfato inorgânico livre (Pi) ou como ésteres de fosfato orgânico (Po) na concentração de 0,5 a 1,5% em matéria seca (VANCE et al., 2003; BROADLEY et al., 2004; VENEKLASS et al., 2012). No aspecto fisiológico, é um dos principais componentes dos ácidos nucleicos, membrana lipídica e fosforilados intermediários do metabolismo energético (SHEN et al., 2011).

Em condições de deficiência, há uma redução gradual nas taxas de divisão e expansão celular, fotossíntese e respiração, e mudanças na concentração de carbono, nitrogênio e enxofre e substâncias reguladoras do crescimento (MARSCHNER 1995; WHITE e HAMMOND, 2008).

Uma grande parte do P absorvido é remobilizado para a formação do sistema reprodutivo (WHITE e HAMMOND, 2008). O P é exigido no período de floração para formação da semente, e conseqüentemente, é armazenado na forma de fitato, funcionando como reserva, permitindo o desenvolvimento do embrião, germinação e crescimento de plântulas (MAATHUIS, 2009; SAWAN et al., 2011; WHITE e VENEKLASS, 2012).

De acordo com Guerra et al. (2006) na cultura da soja, o P proporcionou incremento no potencial de vigor e potencial de germinação determinado pelo teste de tetrazólio e pelo teste de germinação e na emergência a campo.

Também na cultura da soja, a dose de 90 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> proporcionou o maior percentual de germinação e viabilidade, além do maior número de vagens por planta e o maior rendimento de sementes (BISHNOI et al., 2007). No girassol a adubação fosfatada com o incremento de 70 kg ha<sup>-1</sup> do fertilizante superfosfato simples, proporcionou nas sementes porcentagem de germinação 20% superior comparado a omissão de P (SILVA et al., 2011).

Contudo, a depender da espécie, o eficiente manejo nutricional do fósforo para a obtenção de sementes, necessita do estabelecimento de critérios, um destes é a recomendação de uma dose adequada.

Além disso, definir durante o crescimento a exportação de nutrientes pela cultura, é outro fator essencial, não somente para o P, como também para os outros nutrientes para o adequado manejo nutricional nas diferentes fases, que proporcione elevada produção e evite desperdícios (ZOBIOLE et al., 2010).

O uso de trabalhos de marcha de absorção permite conhecer as quantidades de nutrientes absorvidos e os períodos de maior demanda de nutrientes, permitindo estabelecer a quantidade dos nutrientes exigidos em cada estágio fenológico proporcionando o momento mais adequado para a aplicação de fertilizantes (SAMPAIO e BRASIL, 2009).

Para feijão-de-metro alguns trabalhos se restringiram aos macronutrientes N, P e K, como no estudo de Peicong et al. (2000) em três variedades de feijão-de-metro (vagem branca, vagem verde e anã) cultivado na China, a ordem de absorção foi N > P > K. Flyman e Afolayan (2008) observaram que os teores foliares de P e K diminuíram aos 64 dias após a semeadura, mostrando uma remobilização para produção das vagens e sementes. Para os demais elementos as informações ainda são insuficientes.

Por tanto, para a cultura do feijão-de-metro faz-se necessário quando o objetivo for a produção de sementes identificar a época ideal de colheita e condições de beneficiamento, além de investigar a influência do P na produção e qualidade fisiológica de sementes, verificando também as exigências nutricionais da cultura em diferentes fases de crescimento até a produção da semente.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

**Capítulo 1** – Avaliar se colheita das vagens e a secagem das sementes influencia no tempo de armazenamento e na qualidade fisiológicas das sementes de feijão-de-metro;

**Capítulo 2** – Avaliar se o P influencia na qualidade fisiológica de sementes de feijão-de-metro;

**Capítulo 3** – Avaliar o crescimento e a marcha de absorção de nutrientes durante o ciclo da cultura.

### **2.2. Objetivos específicos**

#### **Capítulo 1**

- Determinar a época adequada para colheita das vagens em cada modo de secagem;
- Determinar o tempo máximo de armazenamento em função da época de colheita;

#### **Capítulo 2**

- Analisar o crescimento, a produção de vagens e sementes em função de doses de P;
- Determinar uma dose de P adequada para a produção de sementes;

#### **Capítulo 3**

- Determinar as fases de crescimento da cultura;
- Determinar a época do manejo nutricional da cultura;
- Determinar as curvas de acúmulo de macro e micronutrientes e a ordem de extração

### 3. REFERÊNCIAS

- ANO, A.O.; UBOCHI, C.I. Nutrient composition of climbing and prostrate vegetable cowpea accessions. **African Journal of Biotechnology**, v. 7, n. 20, p. 3795-3798, 2008. <https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/59438>
- BARROS, A.S.R. **Maturação e colheita de sementes**. In: CÍCERO, S.M.; MARCOS FILHO, J.; SILVA, W.R. (Coord). Atualização em produção de sementes. Campinas: Fundação Cargill, 1986. p.34- 107.
- BEWLEY, J. D.; BLACK, M. **Seeds: physiology of development and germination**. New York: Plenum Press, 1994. 445 p.
- BISHNOI, U.R.; KAUR, G.; KHAN, M.H. Calcium, phosphorus, and harvest stages effects soybean seed production and quality. **Journal Plant Nutrition**, v. 30, p. 2119-2127, 2007. <https://doi.org/10.1080/01904160701700608>
- BROADLEY, M.R et al. Phylogenetic variation in the shoot mineral concentration of angiosperms. **Journal Experimental Botany** v. 55, n. 396, p. 321–336, 2004. <https://doi.org/10.1093/jxb/erh002>
- CARDOSO, M. O.; CHAVES, F. C. M. Doses de NPK, produção de massa seca e nutrição em feijão-de-metro. In: Congresso Brasileiro de Olericultura, 48. **Resumos...**Maringá: ABH. p. S130-S135(CD –ROM), 2008.
- CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. Jaboticabal: FUNEP, 2000. p. 98-118.
- FLYMAN, M. V.; AFOLAYAN, A. J. Effect of plant maturity on the mineral content of the leaves of *Momordica balsamina* L. and *Vigna unguiculata* subsp. *sesquipedalis* (L.) Verdc. **Journal of Food Quality**, v. 31, p. 661-671, 2008. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2008.00218.x>
- GUERRA, C. A. et al. Qualidade fisiológica de sementes de soja em função da adubação com fósforo, molibdênio e cobalto. **Acta Science Agronomy**, v. 28, n. 1, p. 91-97, 2006. <http://eduem.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/viewFile/1678/1043>
- IDAM – INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO AGROPECUÁRIO E FLORESTAL SUSTENTÁVEL DO ESTADO DO AMAZONAS. Relatório de Atividades - Produção Vegetal 2017. **Relatório**. Manaus, AM, 2018. <http://www.idam.am.gov.br/wp-content/uploads/2018/05/Produ%C3%A7%C3%A3o-Vegetal-2017.pdf>
- KANO, C. et al. Doses de potássio na produção e qualidade de sementes de alface. **Horticultura Brasileira**, v. 24, p. 356-359, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362006000300017>
- KINUPP, V.F.; LORENZI, H. **Plantas alimentícias não convencionais (PANC) no Brasil: guia de identificação, aspectos nutricionais e receitas ilustradas**. Instituto Plantarum, 2014.768 p.

LIN, J. et al. Optimum harvest maturity for *Leymus chinensis* seed. **Biology Open**, v. 5, p. 720-725, 2016. <http://bio.biologists.org/content/5/6/720.full>

MAATHUIS, F.J.M. Physiological functions of mineral macronutrientes. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 12, n. 3, p. 250-258, 2009. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369526609000284>

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. San Diego: Academic Press, 2. ed. p. 889, 1995.

MIAO, S. L.; BAZZAZ, F. A.; PRIMACK, R. B. Persistence of material nutrient effects in *Plantago major*: the 3rd generation. **Ecology**, v. 72, 1634-1642, 1991.

NOGUEIRA, N. W. et al. Physiological maturation of cowpea seeds. **Journal of Seed Science**, v.36, n.3, p.312-317, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/2317-1545v36n31007>

PEICONG, G.; HOUCHEG, L.; YUDI, C. Studies on characteristic of N P K absorption by asparagus bean [*Vigna unguiculata* W. ssp. *sesquipedalis* (L.) Verd.]. **China Vegetables**, v. 5, p. 003, 2000. <http://cdn.intechweb.org/pdfs/25090.pdf>

POPINIGS, F. **Fisiologia da semente**. 2. ed. Brasília: AGIPLAN, 1985. 289p.

ROSSI, R. F. **Towards understanding the influence of seed maturation on physiological seed quality in legumes**. 2016. 157f. Tese de Doutorado – Universidade Estadual Paulista de Ciências Agrônômicas – UNESP, Botucatu, 2016.

SAMPAIO, L. S.; BRASIL, E. C. Exigência nutricional do feijão-caupi. In: **Anais do II Congresso Nacional de Feijão-Caupi**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2009. 1 CD-ROM. II CONAC. p. 417-421.

SAWAN, Z.M.; FAHMY, A.H.; YOUSEF, S.E. Effect of potassium, zinc and phosphorus on seed yield, seed viability and seedling vigor of cotton (*Gossypium barbadense* L.) **Archives Agronomy and Soil Science**, v. 57, p. 75-90, 2011. <https://doi.org/10.1080/03650340903222328>

SILVA, H. P. et al. Qualidade de sementes de *Helianthus annuus* L. em função da adubação fosfatada e da localização na inflorescência. **Ciência Rural**, v.41, n.7, 2011. <http://www.scielo.br/pdf/cr/v41n7/a4711cr4289.pdf>

SILVA, W.G. et al. Manejo de irrigação para o feijão-de-metro, nas fases vegetativa e produtiva, em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n. 9, p. 978-984, 2012. [www.scielo.br/pdf/rbeaa/v16n9/v16n9a08.pdf](http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v16n9/v16n9a08.pdf)

SHEN, J. et al. Phosphorus dynamics: from soil to plant. **Plant Physiology**, v. 156, p. 997-1005, 2011. <https://doi.org/10.1104/pp.111.175232>

SMANIOTTO, T.A.S. et al. Qualidade fisiológica das sementes de soja armazenadas em diferentes condições. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 4, p. 446-453, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662014000400013>

TERASAWA, J.M. et al. Antecipação da colheita na qualidade fisiológica de sementes de soja. **Bragantia**, v.68, n.3, p. 765-773, 2009 <https://www.redalyc.org/html/908/90811757025/>

VANCE, C.P.; UHDE-STONE, C.; ALLAN, D. Phosphorus acquisition and use: adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. **New Phytologist**, v. 157, n 3, p. 423 – 447, 2003. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2003.00695.x>

VENEKCLASS, E. J. et al. Opportunities for improving phosphorus-use efficiency in crop plants. **New Phytologist**, v. 195, n. 2, 2012. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2012.04190.x>

WHITE, P.J; HAMMOND, J.P. **Phosphorus nutrition of terrestrial plants**. In: The Ecophysiology of Plant-Phosphorus Interactions. Springer, p. 296, 2008.

WHITE, P.J.; VENEKCLASS, E.J. Nature and nurture: the importance of seed phosphorus content. **Plant and Soil**, v. 357, n. 1-2, p. 1-8, 2012. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-012-1128-4>

ZOBIOLE, L.H.S. et al. Marcha de absorção de macronutrientes na cultura do girassol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 425-433, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000200016>

# **CAPÍTULO I – ÉPOCAS DE COLHEITA DE SEMENTES DE FEIJÃO-DE-METRO SUBMETIDAS A DOIS MODOS DE SECAGEM E AO ARMAZENAMENTO**

## **RESUMO**

O desempenho agrônômico de plantas de feijão-de-metro é afetado pela qualidade fisiológica de suas sementes. A colheita das vagens para obtenção de sementes quando realizada na época inadequada, aliado ao uso de um método de secagem não apropriado, pode promover danos irreversíveis a qualidade, afetando a germinação, vigor e sua longevidade. Objetivou-se avaliar a qualidade fisiológica de sementes de feijão-de-metro em relação ao estágio de maturação da vagem, em dois modos de secagem, durante 24 meses de armazenamento. O experimento foi realizado no setor de Plantas Medicinais e Hortaliças, da Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus-AM. O feijão-de-metro foi cultivado no período de setembro a dezembro de 2015. Foram definidos quatro épocas de colheita vagem após a antese (13, 15, 18 e 20 DAA), em dois modos de secagem: fora da vagem e permanecendo na vagem, durante o período de armazenamento de 0, 6, 12, 18 e 24 meses. O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial de quatro épocas de colheita x cinco períodos de armazenamento em parcelas subdivididas em função do modo de secagem. Foram avaliados o grau de umidade e massa fresca de sementes, o teste de germinação emergência e os índices de velocidade de germinação e emergência. Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F, teste de Tukey a 5% e análise de regressão. As sementes que secaram permanecendo na vagem obtiveram maior percentual de germinação de 87% aos 15 DAA. Enquanto no tratamento de secagem fora da vagem o percentual foi maior aos 14 DAA com 84%. As sementes com maior vigor foram observadas, para ambos os modos de secagem, aos 14 DAA. O armazenamento deve ser realizado, para o modo de secagem fora da vagem até 6 meses, e para as sementes seca permanecendo na vagem até 12 meses.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata subsp. Sesquipedalis*, maturidade fisiológica de sementes, produção e beneficiamento de sementes.

## CHAPTER I - HARVEST TIMES AND STORAGE OF YARD LONG BEAN SEEDS SUBMITTED TO TWO DRYING MODES

### ASBTRACT

The agronomic performance of bean plants is affected by the physiological quality of their seeds. The harvesting of pods to obtain seeds when carried out at an inadequate time, together with the use of an inappropriate drying method, can promote irreversible quality damage, affecting germination, vigor and longevity. The objective of this study was to evaluate the physiological quality of bean seeds in relation to the stage of pod maturation in two drying modes during 24 months of storage. The experiment was carried out in the Medicinal Plants and Vegetables sector of Embrapa Amazônia Occidental, Manaus-AM. Beans were grown in the period from September to December 2015. Four seasons of post-anthesis harvest (13, 15, 18 and 20 DAA) were defined in two drying modes: outside the pod and remaining in the during the storage period of 0, 6, 12, 18 and 24 months. The design was completely randomized in a factorial scheme of four harvest times x five storage periods in subdivided plots as a function of the drying mode. The degree of moisture and fresh seed mass, the germination test and the germination and emergence speed index were evaluated. Data were submitted to analysis of variance by the F test, Tukey test at 5% and regression analysis. The seeds that dried remaining in the pod obtained a higher percentage of germination of 87% at 15 DAA. While in the treatment of drying outside the pod the percentage was higher at 13 DAA with 84%. Seeds with higher vigor were observed for both drying modes at 14 DAA. The storage should be carried out, for the drying mode outside the pod up to 6 months, and for the seeds dry remaining in the pod for up to 12 months.

Key words: *Vigna unguiculata subsp. sesquipedalis*, physiological maturity of seeds, seed production and processing.

## 1. INTRODUÇÃO

A qualidade fisiológica de uma semente é sua capacidade de desempenhar funções vitais, caracterizadas pela sua germinação, vigor e longevidade (POPINIGS, 1997). Sementes de alta qualidade promovem uma alta emergência em campo, de forma rápida e uniforme, garantindo plantas mais vigorosas (GHASSEMI-GOLEZANI e MAZLOOMI-OSKOOYI, 2008; SILVA et al., 2015).

Para atingir esta alta qualidade, a semente necessita estar num ponto de máxima maturação fisiológica, processo pelo qual é caracterizado por alterações morfológicas, fisiológicas e funcionais, como aumento de tamanho, variações no teor de água, vigor e acúmulo de massa seca, que se sucedem desde a fertilização do óvulo até o momento em que as sementes estão maduras (CARVALHO e NAKAGAWA, 2000).

Ao final do processo de maturação as sementes devem ser colhidas, apresentando assim, seu máximo potencial germinativo e de vigor (LOPES et al., 2005). A colheita retardada contribui para diminuição do desempenho fisiológico (SCARIOT, 2017), pois o processo de deterioração natural é iniciado após a maturidade fisiológica (SANTOS et al., 2005).

Para o feijão-de-metro (*Vigna unguiculada* subsp. *sesquipedalis*) informações sobre a época ideal de colheita da semente são escassas, contudo, algumas espécies do gênero *Vigna* apontam a época de colheita vagens para obtenção de sementes entre 14 a 18 dias após a antese (NOGUEIRA et al., 2014).

Após colhidas, algumas operações de beneficiamento podem manter a viabilidade por períodos mais longos, desde que armazenadas em condições favoráveis. A semente possui um teor de água elevado após a colheita (ANDRADE et al. 2006), que quando reduzido para níveis seguros, diminuem a atividade metabólica da semente e o desenvolvimento de patógenos, assegurando o poder germinativo (ALMEIDA et al., 2012).

A redução do teor de água da semente é realizada através do processo de secagem, no qual consiste da remoção da umidade excessiva contida no interior da semente através da evapotranspiração, causada por convecção forçada de ar aquecido (AFONSO JÚNIOR e CORRÊA, 1999).

A secagem das sementes pode ser realizada de forma artificial ou natural, sendo esta última a vantagem de não possuir custos ao pequeno produtor rural. A secagem de forma natural pode ser realizada com as sementes dentro ou fora do fruto. O modo de secagem das sementes fora ou permanecendo no fruto pode promover uma maior preservação ou uma acelerada desidratação da semente (CARVALHO e NAKAGAWA, 2000).

A secagem da semente dentro da vagem pode funcionar como um período de repouso, possibilitando uma continuidade do desenvolvimento quando colhidas fora do ponto de colheita (RICCI et al., 2013). Contudo, sementes expostas e colhidas no momento ideal, podem facilitar os processos de beneficiamento.

No entanto, a secagem realizada em condições de temperatura e umidade relativa do ar elevada ou realizada sob forma de manejo inadequado pode resultar em rápida deterioração e perda da qualidade das sementes (ULLMANN et al., 2015; COSTA et al., 2017). A deterioração, em muitos casos, imperceptível na fase inicial, se manifesta no decorrer do tempo ocasionando reflexos negativos no vigor (GARCIA et al., 2004), durante longos períodos de armazenamento.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade fisiológica de sementes colhidas em diferentes estádios de maturação da vagem após a antese, verificando também, a influência do modo de secagem de sementes (permanecendo ou fora da vagem) durante o período de armazenamento.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no setor de Plantas Mediciniais e Hortaliças, na Embrapa Amazônia Ocidental (03°06'23,04"S e 60°01'35,14"W), Manaus-AM. O clima é do tipo "Af-clima tropical úmido ou clima equatorial", segundo classificação de Köppen-Geiger (ALVARES et al., 2013). O Experimento foi realizado de setembro a dezembro de 2015, com temperatura média de 26,8 °C e precipitação média de 200 mm.

O feijão-de-metro foi cultivado em condições de campo, em um solo classificado como Latossolo Amarelo Distrófico com características químicas da camada de 0-20 cm de: pH em H<sub>2</sub>O: 6,2; C: 17,2 g kg<sup>-1</sup>; M.O.: 29,7 g kg<sup>-1</sup>; N: 1,8 g kg<sup>-1</sup>; P 31,5 mg dm<sup>-3</sup>; K: 100 mg dm<sup>-3</sup>; Na: 28 mg dm<sup>-3</sup>; Ca: 2,9 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg: 0,9 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Al: 0,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; H+Al: 2,7 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; SB: 4,1 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; t: 4,1 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; T: 6,9 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; V: 64% e m: 0%. Não foi necessário a realização da calagem. A área de cultivo já possuía um histórico de plantio com outras hortaliças por um período de um ano.

Para o preparo da área foram realizadas duas arações, na camada de 0 a 20 cm. A adubação básica de plantio para a cultura foi de acordo com a recomendação de Cravo et al. (2007) com 10 t ha<sup>-1</sup> de esterco de aves e 1,0 kg ha<sup>-1</sup> de FTE BR12 como fonte de micronutrientes. N e K<sub>2</sub>O foram aplicados em cobertura, nas doses de 150 e 90 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, e parcelados em três aplicações.

As sementes de feijão-de-metro utilizadas no experimento foram da cultivar Feijão-Caupi Cultivar de Metro da empresa Hortivale<sup>®</sup> Safra 2015. A semeadura foi realizada de forma manual, diretamente na cova de plantio com cinco sementes por cova, adotando o espaçamento de 0,3 entre plantas x 1,0 m entre linhas. A área destinada ao plantio possuía 279 m<sup>2</sup>. Aos 10 dias após o plantio, foram desbastadas três plantas, deixando as duas mais vigorosas na cova.

Aos 20 dias após a emergência (DAE) iniciaram-se a condução vertical das plantas por possuírem hábito trepador, em arame localizado a 2,0 m de altura. A irrigação foi realizada via

gotejamento e as capinas conforma a necessidade durante o cultivo. Durante o período de cultivo houve a necessidade do controle químico através dos produtos Deltametrina e Abamectina para o controle de pulgão (*Aphis gossypii*). O ciclo da cultura durou 100 dias.

Em campo, a colheita das vagens foi definida em quatro épocas após o início da floração (30 DAE): 13, 15, 18 e 20 dias após a antese (DAA). As flores foram marcadas e identificadas com fitas coloridas, e as vagens colhidas na data pré-estabelecida.

Após a colheita das vagens, as sementes foram condicionadas a dois modos de secagem: permanecendo na vagem (PV) e fora da vagem (FV), por um período de sete dias. A extração das sementes da vagem ocorreu de forma manual, imediatamente após serem colhidas.

O ambiente de secagem foi em condições de galpão com laterais abertas para circulação do ar, em bancadas com telas de alumínio forradas com papel “jornal”. A temperatura média foi de 27 °C (mínima de 24 °C e máxima de 32 °C) e a umidade relativa do ar média foi de 88% (mínima de 59% e máxima de 95%).

Após o período de sete dias, as sementes submetidas ao modo PV foram extraídas. Em seguida, todas as sementes de cada tratamento foram acondicionadas em embalagens de papel Kraft, e armazenadas em ambiente refrigerado de “geladeira” (temperatura 8 °C e umidade relativa do ar 60%) por 0, 6, 12, 18 e 24 meses.

O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial de quatro épocas de colheita x cinco períodos de armazenamento em parcelas subdivididas em função do modo de secagem (FV e PV).

Após cada período de armazenamento, foram avaliados os seguintes parâmetros:

*Grau de umidade das sementes –U (%)*: foi realizado pelo método de estufa a 105 °C ±2 °C por um período de 24 horas, utilizando-se quatro repetições de 50 sementes para cada tratamento. O percentual foi calculado conforme as Regras para Análises de Sementes - RAS (BRASIL, 2009).

*Massa fresca de sementes –MS (g)*: foram contabilizadas seis repetições de 100 sementes de cada tratamento. Após este procedimento as repetições foram pesadas com auxílio de balança analítica com quatro casas decimais.

*Teste de germinação –G (%)*: foi realizado conforme as recomendações da RAS (BRASIL, 2009). Foram utilizadas quatro repetições com 50 sementes/cada, em duas folhas de papel para germinação sob forma de rolo e mantidas em câmara de germinação sob temperatura de 30°C. O papel foi umedecido com água destilada em 2,5 vezes o seu peso. Os dados foram expressos em porcentagem média com base nas plântulas normais.

*Índice de velocidade de germinação – IVG (MAGUIRE, 1962)*.: foi conduzido juntamente com o teste de germinação, anotando-se a cada dia no mesmo horário, o número de plântulas germinadas, até a última contagem.

*Teste de emergência – E (%)*: foi realizado em bandeja com quatro repetições de 50 sementes cada, com substrato comercial Vivato<sup>®</sup> e sendo mantidas em casa-de-vegetação com sistema de irrigação via nebulização. As plantas foram consideradas emersas quando apresentaram cotilédones acima do solo, em posição aberta, liberando as folhas primárias. A avaliação diária foi do início da primeira contagem até o fim da emergência, aos 10 dias após o início do teste.

*Índice de velocidade de emergência – IVE (MAGUIRE, 1962)*: O IVE foi conduzido juntamente com o teste de emergência, anotando a cada dia, no mesmo horário o número de plântulas emersas, até a última contagem.

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F para testar a significância dos fatores utilizados, utilizando o programa estatístico SISVAR. Foi realizado o teste de Tukey a 5% de probabilidade para o fator modo de secagem e a análise de regressão entre os fatores época de colheita da vagem e período de armazenamento.

A época de colheita foi determinada através da equação de regressão quando esta de ajustar ao modelo quadrático. A determinação do tempo de armazenamento obedecerá ao critério de percentual mínimo de comercialização (80%) para as variáveis germinação e emergência conforme a Instrução Normativa nº 45, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2013).

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1. Características das vagens e sementes em relação a época de colheita**

O feijão-de-metro iniciou o período de floração aproximadamente aos 30 DAE, tendo em vista que após 10 dias após a antese (DAA), já era possível colher vagens para consumo, contudo, por possuírem condição muito imatura, não participaram dos testes de época de colheita.

Aos 13 DAA, primeira época de colheita, as vagens possuíam a coloração verde clara, totalmente cheias e rígidas, com sementes de tom levemente rosa. Por outro lado, aos 15 DAA, as vagens possuíam uma coloração verde-amarelada, cheias e maleáveis, sendo as sementes, cheias e com coloração rosa.

Aos 18 DAA as vagens foram caracterizadas de coloração totalmente amarela, com início de um processo de secagem natural, e com sementes de cor vermelho-claro. Aos 20 DAA as vagens estavam secas, quebradiças, e com coloração amarelo-palha, sendo as sementes de cor vermelha.

#### **3.2. Qualidade de sementes em relação a época de colheita x armazenamento em função do modo de secagem**

Ocorreu interação significativa entre os fatores ( $p < 0,05$ ) no modo de secagem fora da vagem (FV), para as variáveis germinação, emergência, IVG e IVE. Estudando os fatores de forma isolada, apenas na umidade, o fator época de colheita não foi significativo.

No modo de secagem permanecendo na vagem (PV), não houve interação entre os fatores nas variáveis analisadas, contudo ocorreu comportamento distinto quando os mesmos atuaram de forma isolada. Ao nível de armazenamento, diferenças estatísticas foram observadas nas variáveis germinação, IVG, massa seca de sementes e umidade. No fator época de colheita, apenas a umidade, não obteve resultados significativos ( $p < 0,05$ ).

De acordo com Popinigis (1997) o processo de maturação da semente envolve uma série de transformações morfológicas, fisiológicas e funcionais até o ponto ideal de colheita, que influenciam no poder germinativo e no vigor na semente. As transformações iniciais estão ligadas à sua alteração de grau de umidade e sua massa fresca, e sofrem modificações no processo de secagem.

No grau de umidade, em ambos os modos de secagem, os resultados sofreram influencia apenas do tempo de armazenamento, sendo o modelo linear de melhor ajuste (Figura 1). Contudo, o conteúdo de água de uma semente, é um dos fatores que mais sofre alteração, em conjunto com a massa, no processo de maturação.

No início da formação, as sementes podem possuir mais de 80% de grau de umidade (POPINIGS, 1997), que reduz durante o processo de maturação, devido a um acúmulo de material de reserva. Após este acúmulo, ocorre uma intensa perda de água, denominada dessecação (ANGELOVICI et al., 2010), para a chegada de um período de repouso. No feijão-caupi (*Vigna unguiculata*), por exemplo, o grau de umidade de sementes colhidas dos 10 a 18 DAA variou de 87% a 14% (NOGUEIRA et al., 2014).

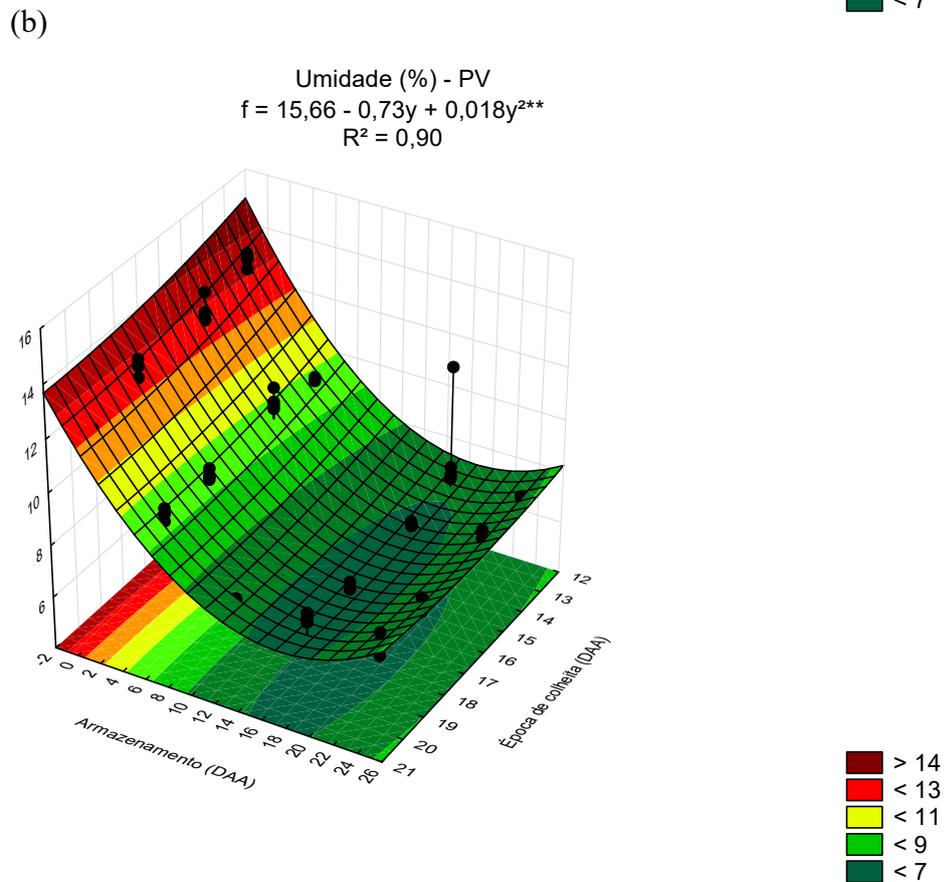
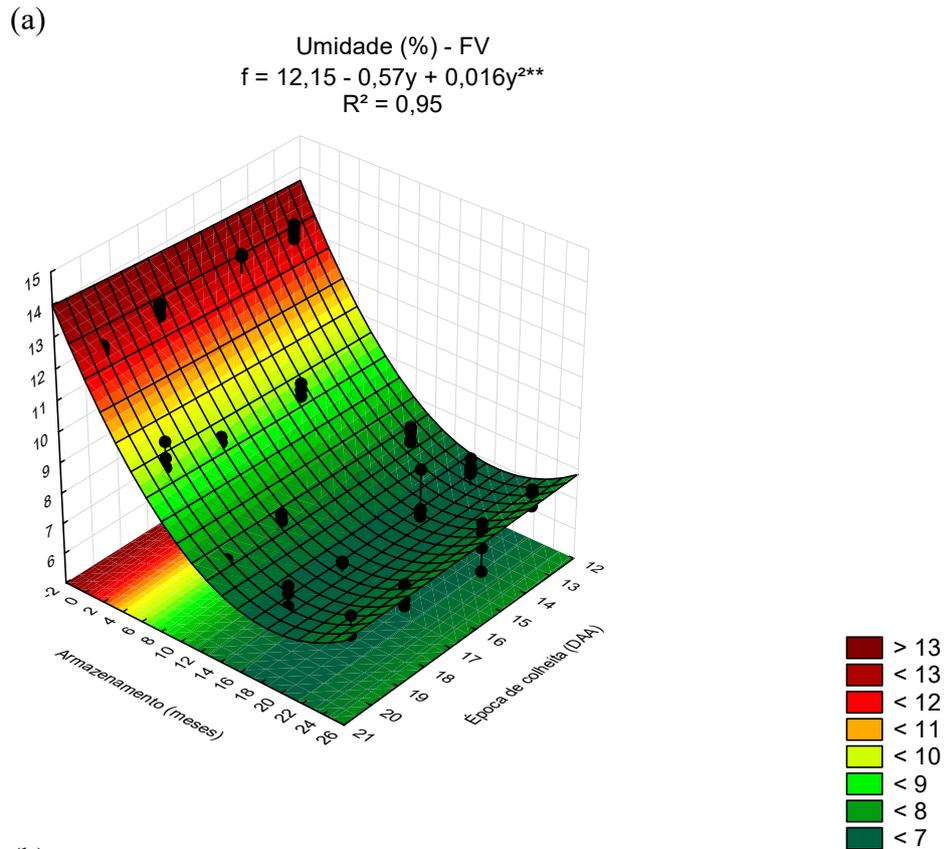


Figura 1 - Gráfico de superfície de resposta do grau de umidade (%) no modo de secagem das sementes fora da vagem – FV (a) e permanecendo na vagem - PV (b) em relação a época de colheita e o período de armazenamento.

Este comportamento não foi observado entre as épocas de colheita neste experimento, pois a determinação do grau de umidade foi feita após o período de 7 dias de secagem (FV e PV), durante este período as sementes entraram no processo natural de dessecação, uniformizando assim, o grau de umidade em função da época de colheita.

Avaliando os modos de secagem, em FV, foi observado um comportamento decrescente até os 24 meses de armazenamento (12,1% a 7,7%) (Figura 1a), enquanto para o modo PV, o grau de umidade inicial foi maior, mas durante o armazenamento houve uma maior redução, variando de 15,7% após colhidas até 8,5% aos 24 meses (Figura 1b).

Essas diferenças entre os valores iniciais acontecem pelo fato de que a vagem atua como uma proteção da semente, impedindo a perda de água para o ambiente. Uma maior e acelerada desidratação pode contribuir para danos físicos e fisiológicos, que influenciarão em um menor potencial germinativo (OLIVEIRA et al., 2011).

Além do mais, as sementes que permaneceram na vagem, podem se beneficiar da translocação de reservas e fotoassimilados presentes na vagem, para que sementes imaturas possam completar seu desenvolvimento (NAKAGAWA et al., 2005).

Porém, essa diferença inicial é essencial no armazenamento, pois as reações metabólicas se mantem ativas em condições de elevado grau de umidade interno, sendo assim, acelerando os processos de deterioração, as sementes perdem vigor e potencial germinativo durante longos períodos de armazenamento (DELOUCHE, 1698).

Na variável massa fresca de sementes, o modelo quadrático foi o melhor ajuste para explicar o comportamento do fator época de colheita e o modelo linear para o tempo de armazenamento nos dois modos de secagem PV e FV (Figura 2).

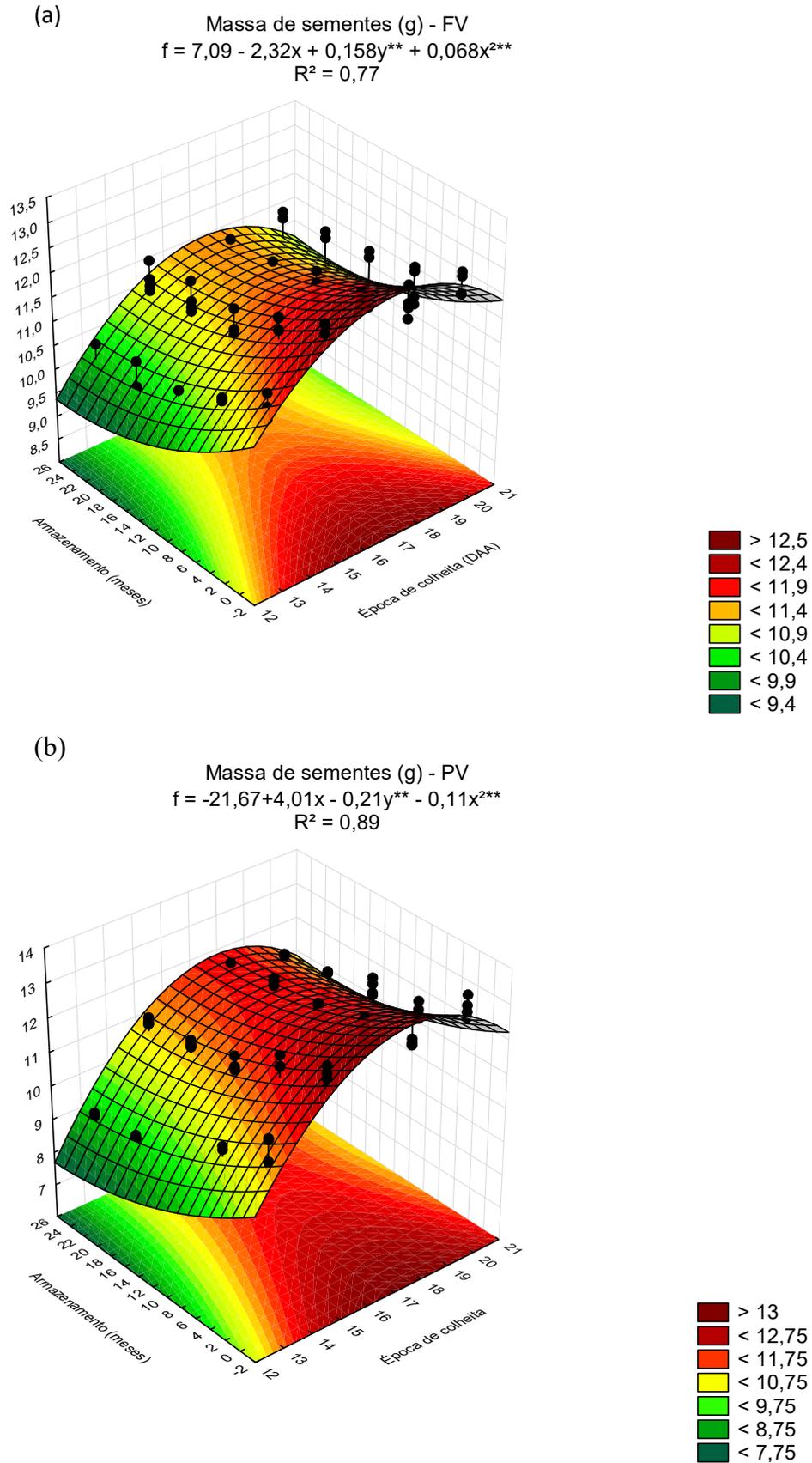


Figura 2 - Gráfico de superfície de resposta da massa de sementes (g) no modo de secagem das sementes fora da vagem – FV (a) e permanecendo na vagem - PV (b) em relação a época de colheita e o período de armazenamento.

Em FV, a época de colheita das vagens aos 17 DAA proporcionou maiores resultados de massa fresca de sementes (Figura 2a). Contudo, houve uma redução de massa quando as sementes foram armazenadas. No período sem armazenamento a massa fresca média foi de 12,7g enquanto ao final dos 24 meses foi de 10,0g (Figura 2a).

Na condição PV, as vagens colhidas aos 18 DAA, promoveram os maiores resultados de massa fresca, a variação no tempo de armazenamento foi de 14,9 a 13,6 g (Figura 2b). Levando em consideração, grau de umidade inicial da massa fresca, as sementes no modo de secagem PV possuíam maior valor médio de matéria seca, o que sugere um maior acúmulo de reservas.

A qualidade fisiológica das sementes está intimamente ligada ao acúmulo de reservas, somente uma semente bem formada pode garantir um sucesso na germinação e crescimento inicial (GALLARDO et al., 2008). As reservas acumuladas em leguminosas são principalmente proteínas, óleo (triacilgliceróis) e carboidratos (amido), que se acumulam durante o enchimento do grão e serão utilizados como fonte de energia durante a germinação e estabelecimento de plântulas (BEWLEY e BLACK, 1994).

O percentual de germinação na condição de secagem FV obteve um comportamento linear para ambos os fatores, ou seja, quanto maior a época de colheita e maior o tempo de armazenamento, menores foram os resultados obtidos (Figura 3a).

A combinação que proporcionou o melhor resultado foi na época de colheita das vagens aos 13 DAA sem armazenamento, com percentual de germinação médio de 84% (Figura 1a), após 6 meses os valores ficam abaixo de 80%, percentual mínimo exigido para uso e comercialização de lotes das espécies do gênero *Vigna* (BRASIL, 2013).

Ao final dos 24 meses a porcentagem de germinação manteve-se em média de 70%, podendo ser utilizada quando a produção de sementes for para destino próprio. Para as sementes ortodoxas ou tolerantes à dessecação o baixo teor de umidade e a baixa temperatura

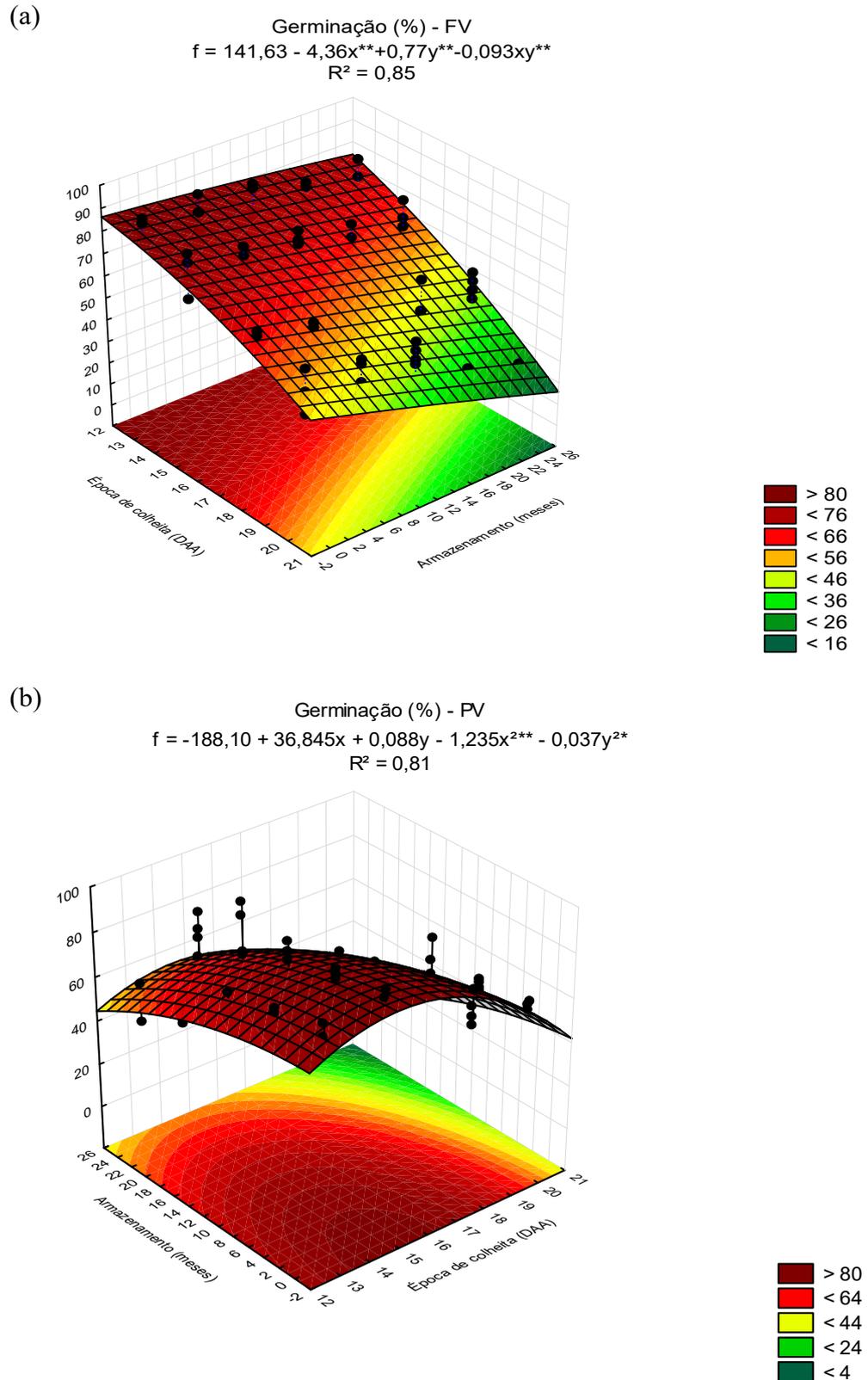


Figura 3 - Gráfico de superfície de resposta do percentual de germinação no modo de secagem das sementes fora da vagem – FV (a) e permanecendo na vagem - PV (b) em relação a época de colheita e o período de armazenamento.

resultam em um aumento da longevidade no período de armazenamento (WALTERS, 2004; WALTERS et al., 2004, RAJJOU et al., 2008).

As sementes condicionadas ao modo de secagem PV, a curva de regressão quadrática foi a que melhor se ajustou ao comportamento da variável, obtendo a época de colheita aos 15 DAA como sendo a responsável pelos melhores percentuais de germinação. Neste modo de secagem, o percentual de germinação foi de 87% (sem armazenamento), mantendo-se acima de 80% até 12 meses de armazenamento (Figura 3b). Ao final dos 24 meses o percentual de germinação médio foi de 68%.

Apesar da massa seca atingir seu máximo nas épocas de 17 e 18 DAA, a expressão do máximo potencial germinativo ficou em torno de 13 a 15 DAA. De acordo com Marcos Filho (2015), o potencial máximo fisiológico é alcançado muito próximo à maturidade da semente.

No trabalho de Nogueira et al. (2014) as sementes de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) colhidas aos 14 DAA, também promoveram os maiores percentuais de germinação atingindo até 96%, neste trabalho não houve avaliação de período de secagem.

O maior percentual em PV foi proporcionado, pelo fato de que, as sementes que foram colhidas mesmo em vagens imaturas, tiveram a possibilidade de complementar seu desenvolvimento, pelo fato do processo de secagem funcionar como um período de repouso, aumentando os percentuais de germinação (AROUCHA et al., 2005; RICCI et al., 2013).

Os menores resultados em FV, demonstram que as condições ambientais adversas de temperatura e umidade relativa encontradas no galpão de secagem, favoreceram uma rápida deterioração, pois as mesmas possuíam estruturas ainda em formação como tegumento da semente, endosperma e embrião.

Quando isso ocorre, as sementes ficam mais sensíveis a todos os eventos que ocorrem antes e durante a germinação e, finalmente, tornam-se incapazes de germinar (WALTERS et al., 2005; RAJJOU e DEBEAUJON, 2008).

Em relação ao armazenamento, o comportamento do percentual germinativo foi semelhante em ambos os casos, ou seja, diminui em relação ao tempo. A qualidade fisiológica de uma semente, e seu potencial germinativo nunca pode ser melhorada após atingir a maturação (SANTOS et al., 2005). Após esta fase, se inicia um processo contínuo e irreversível de deterioração que não pode ser evitado, mas que pode decrescer uniformemente de maneira lenta, quando armazenado adequadamente (CARVALHO e NAKAGAWA, 2000).

Apesar das sementes de 13 e 15 DAA terem obtido os maiores resultados, ainda assim, houve grandes perdas no percentual de germinação ao final de 24 meses. O ambiente de armazenamento, mesmo que controlado, pode atuar nas sementes devido ao tipo de embalagem utilizado.

As sementes possuem natureza higroscópica, ou seja, podem ganhar ou perder água com facilidade, essa condição é favorecida devido ao uso de embalagens do tipo papel, que são mais porosas, favorecendo trocas gasosas entre a semente e o ambiente externo, o qual provocará vários ciclos de hidratação-secagem da semente (SANTOS et al., 2005).

Esses ciclos ativam todo metabolismo celular, como aumento da atividade enzimática e respiratória, o que também acelera o processo de deterioração, pois nestas condições, ocorrem vários danos físicos ao tegumento, que resultam no envelhecimento precoce, diminuição do potencial germinativo e vigor (COPELAND e MCDONALD, 1995; VIEIRA e YOKOYAMA, 2000).

No trabalho de Almeida et al. (2009), trabalhando com sementes de feijão-massacar (*Vigna unguiculata*) variedade Emepa, após um período de armazenamento de 360 dias, as sementes embaladas em silo metálico obtiveram até 95,3% de germinação, enquanto as embaladas em papel resultaram em 62,7%.

Para as variáveis de vigor, a emergência das plântulas (Figuras 4), IVG (Figuras 5), e IVE (Figuras 6), em ambos os modos de secagem (PV e FV), o modelo quadrático obteve o

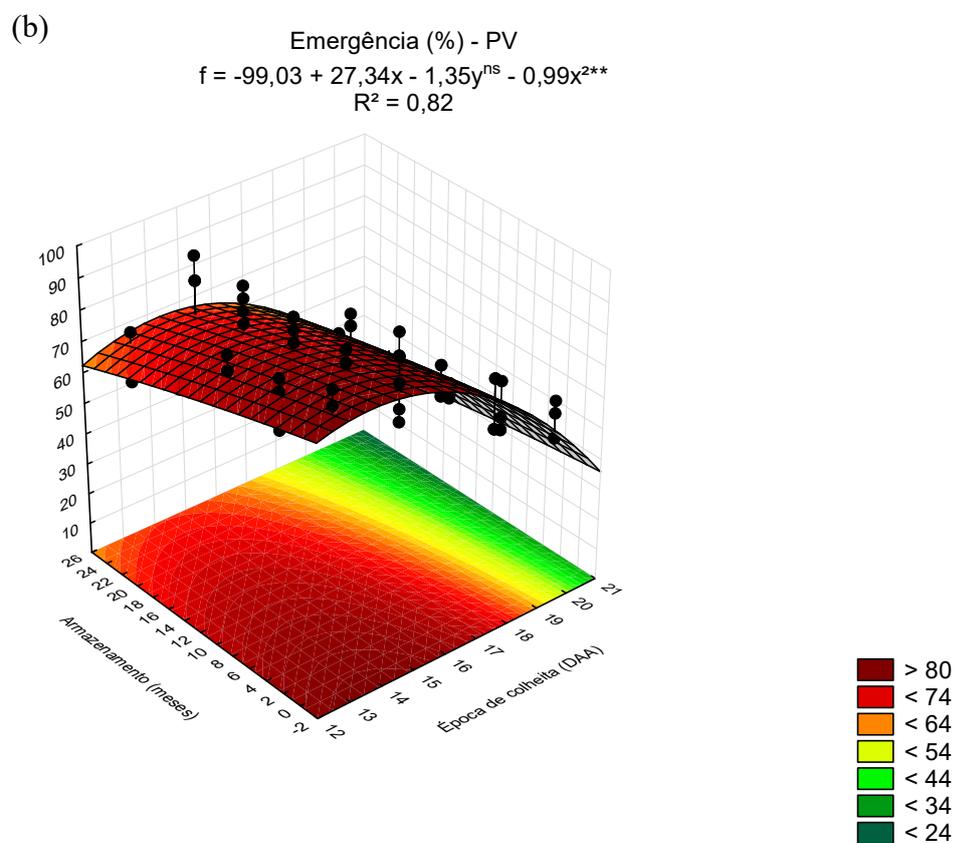
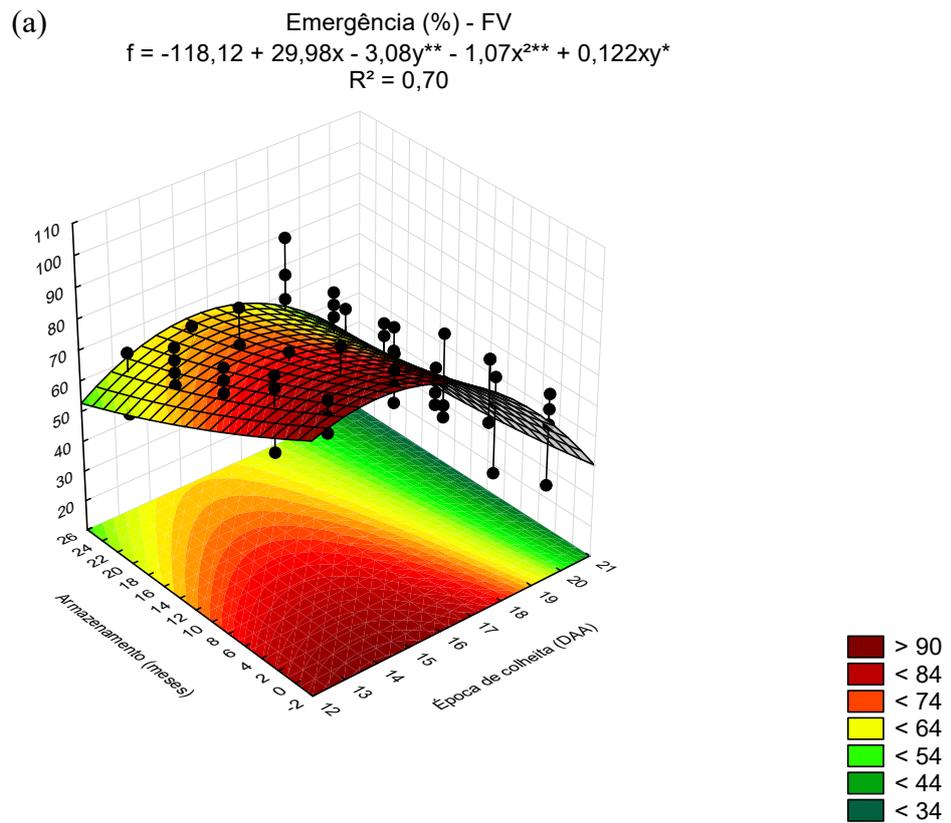


Figura 4 - Gráfico de superfície de resposta do percentual de emergência no modo de secagem das sementes fora da vagem – FV (a) e permanecendo na vagem - PV (b) em relação a época de colheita e o período de armazenamento.

melhor ajuste para explicar o comportamento na época de colheita. Em todos os casos, a época de colheita adequada foi aos 14 DAA.

O vigor de uma semente é uma propriedade complexa que determina a capacidade da semente demonstrar seu potencial de emergência e uniformidade, mesmo em condições desfavoráveis (RAJJOU et al., 2012). Durante o processo de maturação, a semente possuirá um ponto ideal que apresente seu máximo poder germinativo e de vigor.

Aos 14 DAA, independentemente do modo de secagem, foi onde a semente, no processo de maturação, manteve baixa atividade metabólica que acaba preservando a viabilidade das sementes. É nesta fase também, que ocorre a diminuição dos inibidores de germinação, alteração de membranas e degradação proteica que melhora o vigor germinativo (MANZ et al. 2005; FINCH-SAVAGE e LEUBNER-METZGER, 2006).

No tempo de armazenamento, a emergência das plântulas no modo de secagem FV, iniciou com 92%, mantendo-se acima de 80% até os seis meses de avaliação (Figuras 4a). No modo PV, o percentual inicial de emergência das plântulas foi de 89%, também se mantendo acima de 80% até os 6 meses. Em ambos os casos, aos 24 meses de avaliação o percentual atingiu 58%.

Para o IVG e IVE, no modo de secagem FV, em relação ao tempo de armazenamento, o vigor dessas sementes foi diminuindo com o avanço dos meses de armazenamento, variando de 8,1 a 1,6 para o IVG (Figura 5a) e de 5,1 a 2,1 para IVE (Figura 6a). Em PV, o comportamento também foi semelhante, onde o IVG variou de 8,6 a 6,7 (Figura 5b), enquanto para o IVE a variação foi de 5,0 até 3,3; ao final dos 24 meses (Figura 6b).

A máxima qualidade de sementes é geralmente determinada quando há uma combinação de atributos como os percentuais de germinação e os parâmetros de vigor (VIDIGAL et al., 2011), neste trabalho a manutenção da germinação e os índices de vigor (emergência, IVG, IVE) coincidiram na mesma época de colheita (13 - 15 DAA).

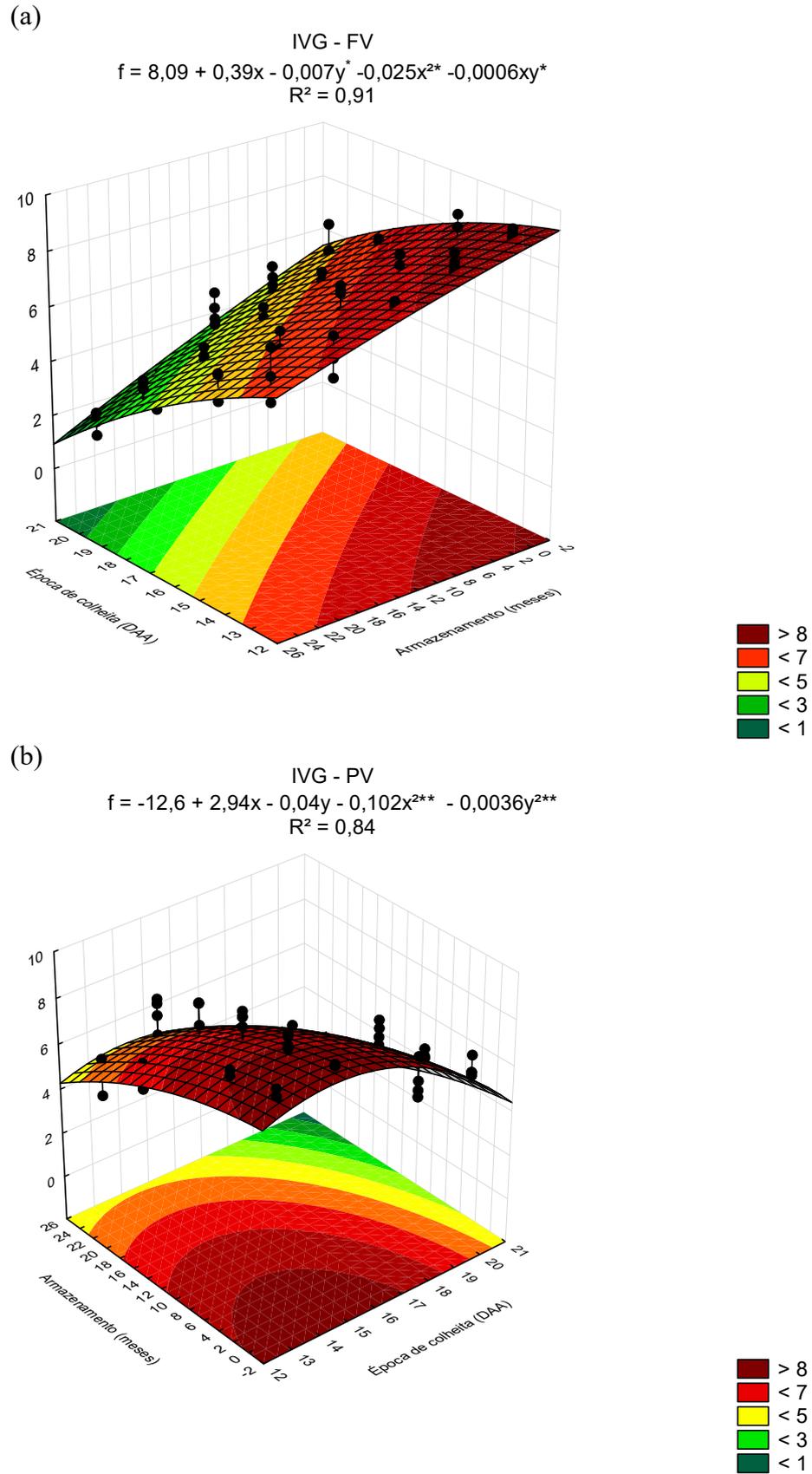


Figura 5 - Gráfico de superfície de resposta do índice de velocidade de germinação (IVG) no modo de secagem das sementes fora da vagem – FV (a) e permanecendo na vagem - PV (b) em relação a época de colheita e o período de armazenamento.

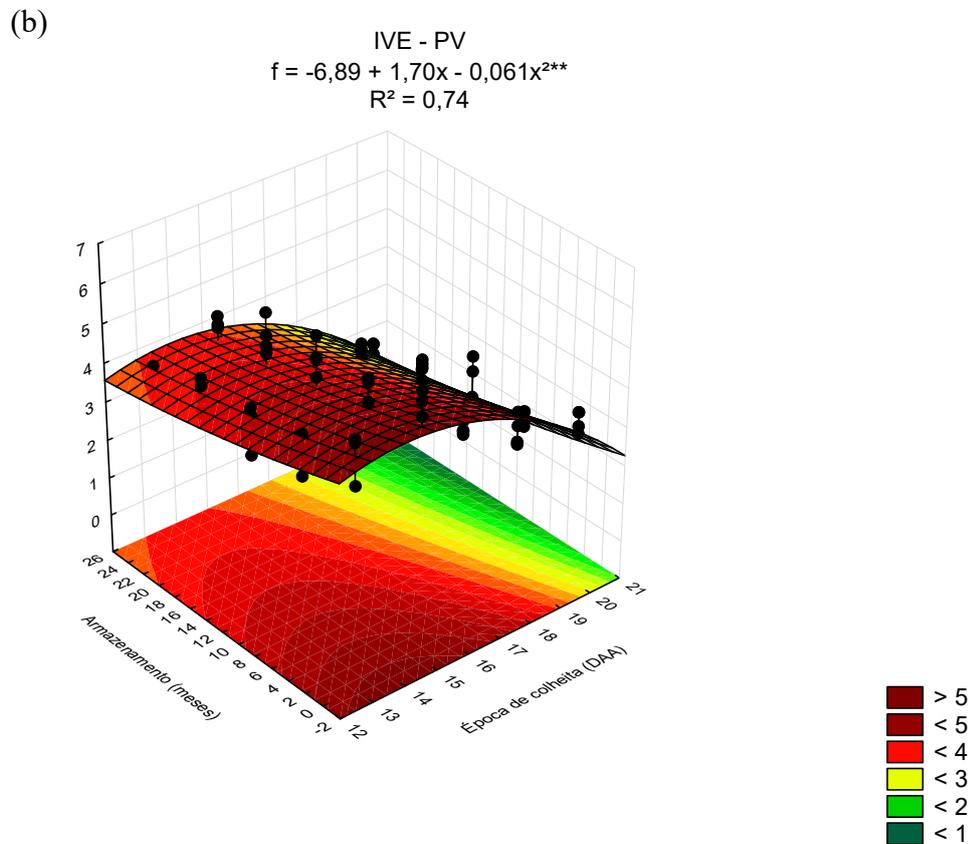
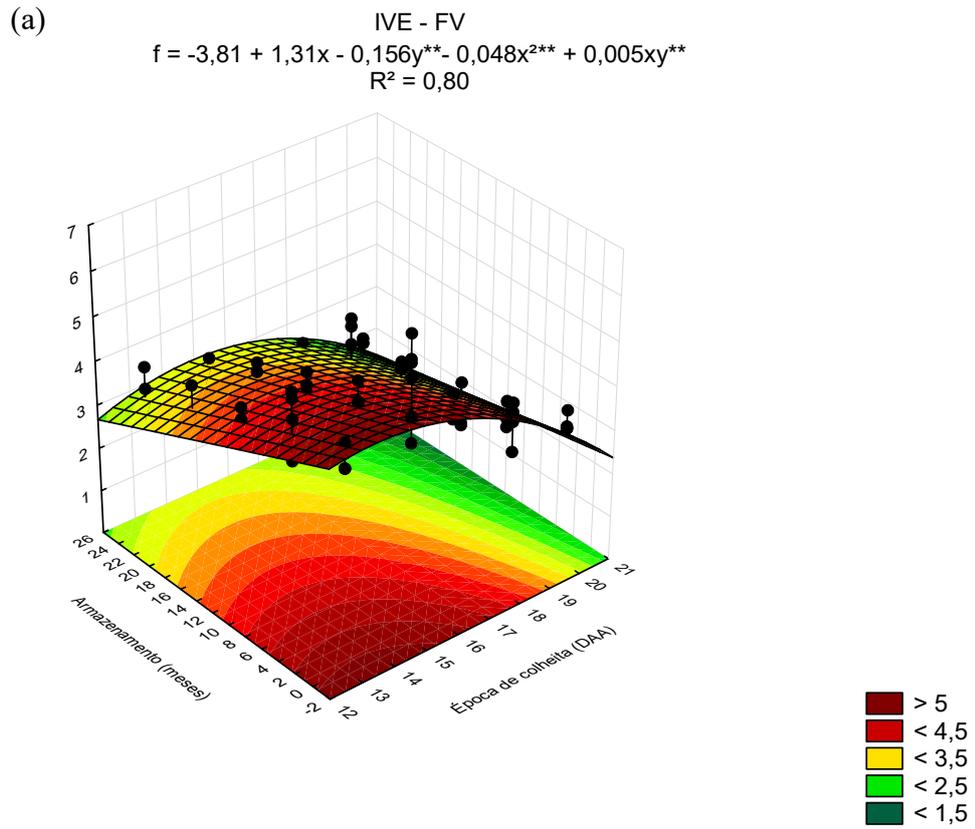


Figura 6 - Gráfico de superfície de resposta do índice de velocidade de emergência (IVE) no modo de secagem das sementes fora da vagem – FV (a) e permanecendo na vagem - PV (b) em relação a época de colheita e o período de armazenamento.

## 4. CONCLUSÕES

A época de colheita das vagens com secagem das sementes fora da vagem deve ser realizada aos 14 DAA. Quando o método de secagem for as sementes permanecendo na vagem, a colheita deve ser realizada aos 15 DAA.

O armazenamento deve ser realizado até 6 meses quando forem secas fora da vagem. No modo de secagem das sementes que permanecem na vagem, o tempo máximo de armazenamento é até 12 meses.

## 5. REFERÊNCIAS

AFONSO JÚNIOR, P.C.; CORRÊA, P.C. Comparação de modelos matemáticos para descrição da cinética de secagem em camada fina de sementes de feijão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.3, n.3, p.349-353, 1999.

ALMEIDA, F.A.C. et al. Viabilidade de sementes de feijão macassar tratadas com extrato vegetal e acondicionadas em dois tipos de embalagens. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 31, n. 2, p. 345-351, 2009. DOI: 10.4025/actasciagr.v31i2.323

ALMEIDA, D.P et al. Influência da secagem na qualidade fisiológica do feijão adzuki. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 2, p. 311-315, 2012. DOI:10.5039/agraria.v8i2a2164

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES J.L.M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische**, v. 22, n. 6, 711 – 728, 2013. [www.lerf.eco.br/img/publicacoes/Alvares\\_etal\\_2014.pdf](http://www.lerf.eco.br/img/publicacoes/Alvares_etal_2014.pdf)

ANDRADE, E. T. et al. Cinética de secagem e qualidade de sementes de feijão. **Engevista**, v.8, n.2, p.83-95, 2006.

ANGELOVICI, R. et al. Seed desiccation: a bridge between maturation and germination. **Trends in Plant Science**, v. 15, n. 4, p. 211-218, 2010. DOI: 10.1016 / j.tplants.2010.01.003

AROCHA, E.M.M. et al. Época de colheita e período de repouso dos frutos de mamão (*Carica papaya* L.) cv Golden na qualidade fisiológica das sementes. **Ciência Rural**, v.35, n.3, p.537-543, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782005000300008>.

BEWLEY, J.D.; BLACK, M. **Seeds: physiology of development and germination**. Plenum Press, New York, p. 35-110, 1994.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: DNDV/CLAV, 2009. 365p.

BRASIL. (2013). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa**, nº 45, 17 de setembro de 2013. Estabelecer os padrões de identidade e qualidade para a produção e a comercialização de sementes.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4. ed. Jaboticabal: Funep/Unesp, 2000.

CRAVO, M.S.; VIÉGAS, I.J.M.; BRASIL, E.C. **Recomendação de adubação e calagem para o Estado do Pará**. Belém: Embrapa Amazônia Ocidental, 2007. 262p.

COPELAND, L.O.; McDONALD, M.B. **Seed science and technology**. New York: CHAPMAN & HALL, p. 400, 1995.

COSTA, L.M. et al. Qualidade fisiológica das sementes de crambe submetidas a diferentes condições de secagem. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 60, n. 3, p. 235-240, 2017. <http://dx.doi.org/10.4322/rca.2446>

DELOUCHE, J. C. **Physiology of seed storage**. In: Proceedings: Corn and Sorghum Research Conference American Trade Association, 23., Mississipi. p.83-90, 1968.

FINCH-SAVAGE, W.E.; LEUBNER-METZGER, G. Seed dormancy and the control of germination. **New Phytologist**, v. 171, p. 501-523, 2006. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16866955>

GALLARDO, K.; THOMPSON, R.; BURSTIN, J. Reserve accumulation in legume seeds accumulation des réserves chez les graines de légumineuses. **Comptes Rendus Biologies**, v. 331, n. 10, p. 755-762, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.crv.2008.07.017>

GARCIA, D. C. et al. 2004. Secagem de sementes. **Ciência Rural**, v.34, p.603-608, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782004000200045>

GHASSEMI-GOLEZANI, K.; MAZLOOMI-OSKOOYI, R. Effect of water supply on seed quality development in common bean (*Phaseolus vulgaris*). **International Journal of Plant Production**, v. 2, p. 117-124, 2008. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.923.9398&rep=rep1&type=pdf>

LOPES, J.C.; DIAS, P.C.; PEREIRA, M.D. Maturação fisiológica de sementes de quaresmeira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.8, p.811-816, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2005000800012>

MAGUIRE, J.D. Seed of germination and in selection and evaluation for seedling emergence and vigour. **Crop Science**, v.2, n.1, p.176-77, 1962. <https://dl.sciencesocieties.org/publications/cs/abstracts/2/2/CS0020020176>

MANZ, B. et al. Water uptake and distribution in germinating tobacco seeds investigated in vivo by nuclear magnetic resonance imaging. **Plant Physiology**, v. 138, p. 1538-1551, 2005. [www.plantphysiol.org/content/138/3/1538](http://www.plantphysiol.org/content/138/3/1538)

MARCOS FILHO, J. Seed vigor testing: an overview of the past, present and future perspective. **Scientia Agricola**, v. 72, n. 4, p. 363 -374, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-9016-2015-0007>

NAKAGAWA, J.; CAVARIANI, C.; ZUCARELI, C. Maturação, formas de secagem e qualidade fisiológica de sementes de mucuna-preta. **Revista Brasileira de Sementes**, v.27, n.1, p.45-53, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-31222005000100006>

NOGUEIRA, N. W. et al. Physiological maturation of cowpea seeds. **Journal of Seed Science**, v.36, n.3, p.312-317, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/2317-1545v36n31007>

OLIVEIRA, L. M. et al. Períodos e ambientes de secagem na qualidade de sementes de *Genipa americana* L. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, n. 2, p. 495-502, 2011. [www.redalyc.org/articulo.oa?id=445744101010](http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445744101010)

POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente**. Brasília, DF: AGIPLAN, p. 287, 1985.

RAJJOU, L.; DEBEAUJON, I. Seed longevity: survival and maintenance of high germination ability of dry seeds. **Comptes Rendus Biologies**, v. 331, n. 10, p. 796-805, 2008. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1631069108002011?via%3Dihub>

RAJJOU, L. et al. Proteome-wide characterization of seed aging in Arabidopsis: a comparison between artificial and natural aging protocols. **Plant Physiology**, v. 148, p. 620–641, 2008. <http://www.plantphysiol.org/content/148/1/620>

RAJJOU, L. et. Seed germination and vigor. **Annual Review of Plant Biology**, v.63, p. 507-533, 2012. <https://www.annualreviews.org/doi/full/10.1146/annurev-arplant-042811-105550>

RICCI, N. et al. Qualidade de sementes de pimenta jalapenho em função da maturação e tempo de permanência nos frutos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.43, n.2, p.123-129, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S1983-40632013000200008>

SANTOS, C.M.R.; MENEZES, N.L.; VILLELA, F.A. Modificações fisiológicas e bioquímicas em sementes de feijão no armazenamento. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 27, p. 104-114, 2005 <http://www.scielo.br/pdf/0D/rbs/v27n1/25187.pdf>

SCARIOT, M.A. et al. Physiological performance of wheat seeds as a function of moisture content at harvest and storage system. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 47, n. 4, p. 456-464, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-40632017v4749550>

SILVA, H.W.; SOARES, R.S.; VALE, L.S.R. Qualidade das sementes de pimenta dedo-de-moça em função do princípio pós-colheita dos frutos. **Revista de Ciências Agrárias**, v.58, p.427-433, 2015.

ULLMANN, R. et al. Qualidade fisiológica das sementes de sorgo sacarino submetidas à secagem em diferentes condições de ar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 1, p. 64-69, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n1p64-69>

VIDIGAL, D.S. et al. Changes in seed quality during fruit maturation of sweet pepper. **Scientia Agrícola**, v. 68, n. 5, p. 535-539, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162011000500004>

VIEIRA, E.H.N.; YOKOYAMA, M. Colheita, processamento e armazenamento. In: VIEIRA, E.H.N.; RAVA, C.A. **Sementes de feijão - produção e tecnologia**. Santo Antonio de Goiás: EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO, p. 233-248, 2000.

WALTERS, C. Temperature dependency of molecular mobility in preserved seeds. **Biophys Journal**, v. 86, p. 1253–1258, 2004. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1303917/>

WALTERS, C.; WHEELER, L.M., STANWOOD, P.C. Longevity of cryogenically stored seeds. **Cryobiology**, v. 48, p. 229–244, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.cryobiol.2004.01.007>

WALTERS, C.; WHEELER, L.M.; GROTENHUIS, J.M. Longevity of seeds stored in a genebank: species characteristics. **Seed Science Research**, v. 15, p. 1-20, 2005. <https://www.cambridge.org/core/journals/seed-science-research/article/longevity-of-seeds-stored-in-a-genebank-species-characteristics/5BADB40E9CE6B4E5AABBF606E5D59491>

## CAPÍTULO II - DOSES DE FÓSFORO NO CRESCIMENTO, NA PRODUÇÃO E NA QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE FEIJÃO-DE-METRO

### RESUMO

O fósforo (P) é fator limitante na produtividade das culturas, além disso é um dos elementos exportados em grandes quantidades para as sementes e podendo assim, influenciar na qualidade fisiológica destas. O objetivo deste trabalho foi avaliar se o P influencia na produtividade e nos índices germinativos e de vigor nas sementes de feijão-de-metro. O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus-AM, no período de abril a junho de 2018. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com sete doses de fósforo em solução nutritiva (0; 0,25; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 e 3,0 mmol L<sup>-1</sup>) e quatro repetições. As plantas foram coletadas aos 35 e 60 dias após a emergência para as avaliações de crescimento, produção de vagens e sementes e qualidade de sementes. Foram também avaliados o teor e o acúmulo de P nas partes vegetativas e reprodutivas, eficiência de absorção e utilização de fósforo e atividade da fosfatase ácida. As diferentes doses de P, influenciaram no crescimento, na absorção, na produção e na qualidade fisiológica das sementes. A dose de 1,5 mmol L<sup>-1</sup> foi indicada através do modelo de ajuste quadrático como a máxima eficiência econômica (MEE). O acúmulo de matéria seca nesta na MEE aos 35 e 60 DAE foi de 28,8 g planta<sup>-1</sup> e 150,0 g planta<sup>-1</sup>, respectivamente. O nível crítico de deficiência e de toxidez aos 35 DAE (época da diagnose nutricional) foi de 6,9 e 8,4 g kg<sup>-1</sup>, e aos 60 DAE (final do experimento) foi de 10,7 a 13,3 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. A dose de máxima eficiência econômica para a qualidade de sementes ficou em torno de 1,3 mmol L<sup>-1</sup> com percentual de 87%, para os demais parâmetros de qualidade a MEE foi de 1,5 mmol L<sup>-1</sup>. A atividade da enzima fosfatase ácida aumentou com a diminuição da dose de P. A dose recomendada para cultura em solução nutritiva na produção de sementes é de 1,5 mmol L<sup>-1</sup>.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata subsp. sesquipedalis*, acúmulo de fósforo, vigor e germinação.

## CHAPTER II - PHOSPHORUS DOSES IN GROWTH, PRODUCTION AND PHYSIOLOGICAL QUALITY OF YARDLONG BEAN SEEDS

### ASBTRACT

Phosphorus (P) is a limiting factor in crop productivity. In addition, it is one of the elements exported in large quantities to the seeds and can thus influence the physiological quality. The objective of this work was to evaluate whether P influences productivity and germinative and vigor indexes in bean seeds. The experiment was conducted in a greenhouse at Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus-AM, between April and June 2018. The experimental design was completely randomized, with seven doses of phosphorus in nutrient solution (0, 0.25; 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 and 3.0 mmol L<sup>-1</sup>) and four replicates. The plants were collected at 35 and 60 days after emergence for growth, pod and seed production and seed quality. The content and accumulation of P in vegetative and reproductive parts, phosphorus absorption and utilization efficiency and acid phosphatase activity were also evaluated. The different doses of P, influenced the growth, the absorption, the production and the physiological quality of the seeds. The dose of 1.5 mmol L<sup>-1</sup> was indicated by the quadratic adjustment model as the maximum economic efficiency (MEE). The accumulation of dry matter in the ESM at 35 and 60 DAE was 28.8 g plant<sup>-1</sup> and 150.0 g plant<sup>-1</sup>, respectively. The critical level of deficiency and toxicity at 35 DAE (time of nutritional diagnosis) was 6.9 and 8.4 g kg<sup>-1</sup>, and at 60 DAE (end of the experiment) it was 10.7 to 13.3 g kg<sup>-1</sup>, respectively. The dose of maximum economic efficiency for seed quality was around 1.3 mmol L<sup>-1</sup> with 87%, for the other parameters of quality the MEE was of 1.5 mmol L<sup>-1</sup>. The activity of the enzyme acid phosphatase increased with the decrease of the dose of P. The recommended dose for culture in nutrient solution in the production of seeds is of 1,5 mmol L<sup>-1</sup>.

Key words: *Vigna unguiculata* subsp. *sesquipedalis*, phosphorus accumulation, vigor and seed germination.

## 1. INTRODUÇÃO

O feijão-de-metro (*Vigna unguiculata* subsp. *sesquipedalis*) é uma espécie que se propaga exclusivamente por semente, necessitando assim, de um material propagativo com qualidade para o estabelecimento de cultivos. Esta qualidade está condicionada à capacidade da semente em desempenhar funções vitais, caracterizadas pela germinação, vigor e longevidade, que afetam diretamente o estabelecimento das culturas e a produção final (POPINIGIS, 1985; KRUEGER et al., 2013; SEYYEDI et al., 2015).

Diversos são os fatores que atuam sobre essa qualidade, um desafio atual é saber o quanto a nutrição da planta-mãe pode influenciar na germinação e vigor das sementes. De acordo com Carvalho e Nakagawa (2000) e Sawan et al. (2011), o estado nutricional da planta genitora influencia tanto na produtividade, como também nos índices de qualidade fisiológica das sementes.

Um desses fatores que interfere no estado nutricional da planta é o fósforo (P), pois além de ser um fator limitante na produtividade das culturas em condições tropicais, é um elemento essencial no crescimento e no estágio reprodutivo das plantas (PASTORINI et al. 2000; ZUCARELLI, et al. 2011).

O P possui funções como componente integral de moléculas genéticas, metabólicas, estruturais e reguladoras, em que não pode ser substituído. Na matéria seca vegetal sua concentração pode chegar até 1,5% do total, estando presente como ácidos nucleicos e nucleotídeos, intermediários fosforilados do metabolismo energético e fosfolipídeos da membrana celular (BROADLEY et al., 2004; WHITE E HAMMOND, 2008).

Mesmo exigido em menor quantidade quando comparado com o N e K, é na semente que o P é encontrado em grandes quantidades, em sua maior parte na forma de ácido fítico (mio-inositol-1,2,3,4,5,6-hexa-fosfato) (RABOY, 2009). Essa fonte de P é importante, pois durante o processo de formação da semente, as plantas acumulam P muito mais do que o necessário,

este excesso pode ser utilizado como reserva no processo germinativo, além do que o ácido fítico é um quelante de outros elementos como magnésio (Mg), cálcio (Ca), ferro (Fe) e zinco (Zn), que também podem auxiliar na melhoria da qualidade fisiológica da semente (LOEWUS e MURTHY, 2000; HEGEMAN e GRABAU, 2001; RABOY, 2009; AZEKEET al., 2011).

Testando a utilização do P, em algumas espécies do gênero *Vigna*, houve o aumento no número de sementes produzidas pelas plantas, nos trabalhos já relatados para feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) (SILVA et al. 2010; OLIVEIRA et al., 2011; COUTINHO et al. 2014), e outras leguminosas como feijão-comum (*Phaseolus lunatus* L.) (VALDERRAMA et al., 2009; ZUCARELLI et al., 2011; NASCENTE et al., 2014) e soja (*Glycine max*) (ALCÂNTARA NETO et al., 2010).

Em todos estes trabalhos, as plantas mostraram-se responsivas à aplicação de P, podendo assim, estabelecer uma dose adequada para cultivo, o que promoverá a eficiência na utilização dos adubos fosfatados, além da redução de custos; tais características ainda precisam ser estabelecidas para melhoria do manejo de cultivo da cultura do feijão-de-metro.

Para a qualidade de sementes, os resultados ainda são conflitantes, porém houve aumento na qualidade de sementes em relação à adubação fosfatada nas culturas guandu (*Cajanus cajan*) (BERTOLIN et al., 2008) e feijão (*Phaseolus lunatus* L.) (KIKUTI et al., 2006; ZUCARRELI et al., 2006). É muito provável que questões genéticas oriundas de cada espécie, como canais específicos de transporte e eficiência da utilização do ácido fítico possam estar envolvidas para melhoria da qualidade fisiológica das sementes em relação à utilização do P.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento, acúmulo de fósforo, produção e a qualidade fisiológica de sementes de feijão-de-metro em função de doses de fósforo, estabelecendo uma dose e um teor foliar ótimo de cultivo.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação e no laboratório do setor de Plantas Medicinais e Hortaliças, na Embrapa Amazônia Ocidental (03°06'23,04"S e 60°01'35,14"W), Manaus-AM, no período de fevereiro a abril de 2018. A casa de vegetação possuía as dimensões de 7 x 33 m, coberta com plástico agrícola de 150 micra, pé direito de 2,30 m. A temperatura média dentro da casa de vegetação foi de 33°C.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com sete doses de P em solução nutritiva (0; 0,25; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 e 3,0 mmol L<sup>-1</sup>) e quatro repetições, sendo cada repetição composta de quatro plantas, com uma planta por vaso, sendo uma planta destinada à coleta de dados na época da diagnose nutricional (35 dias após a emergência - DAE), onde 50% das plantas estavam em estágio reprodutivo.

A condução das plantas deu-se em vasos plásticos de polietileno com volume de 3 L com dimensões de diâmetro superior de 17,5 cm, altura de 15,0 cm e diâmetro da base com 15,0 cm, na coloração preta, fechados na parte inferior, possuindo uma torneira na lateral a 1 cm da base do vaso, para lavagem do substrato. Na parte interna da torneira foi colocado uma esponja tipo "D28" com tamanho de 10 x 10 cm a fim de reter o substrato.

O substrato utilizado foi areia quartzo branca, que passou por peneiras de malha de 4 mm e 1 mm, nesta ordem. Após este processo, a areia foi lavada em água corrente até que a água drenada estivesse limpa. Em seguida, a areia foi purificada em solução de HCl a 0,5 M durante seis horas, lavada novamente três vezes com água de torneira e, finalmente com água deionizada por mais duas vezes. A areia foi colocada para secagem em secador solar e 3 kg de areia seca foram adicionados em cada vaso.

Foram utilizadas sementes de feijão-de-metro da cultivar Feijão-Caupi Cultivar de Metro da empresa Hortivale<sup>®</sup>, Safra 2016. O espaçamento utilizado foi de 0,8 m entre vasos e

1,0 m entre linhas. Foram semeadas cinco sementes por vaso, onde aos 10 DAE foram desbastadas quatro plântulas deixando a mais vigorosa.

A solução nutritiva base utilizada formulação de cada tratamento foi a de Hoagland & Arnon (1950) (Tabela 1). O manejo da solução nutritiva foi de acordo com o desenvolvimento das plantas, sendo inicialmente aplicada a solução nutritiva completa para todos os vasos.

Após 5 DAE, as plantas foram conduzidas em solução a 25% da força iônica, onde apenas no 5° e 8° DAE foi aplicado a solução. No 10° DAE a força iônica foi alterada para 50% ficando até o 15° DAE, a partir deste período iniciaram os tratamentos com doses de P a 80% da força iônica.

Tabela 1 - Reagentes, concentração e formulação da solução nutritiva Hoagland & Arnon (1950) utilizada no cultivo de feijão-de-metro em função de doses de fósforo.

Concentrações das fontes na solução estoque (g L <sup>-1</sup> )	Doses de P (mmol L <sup>-1</sup> )							
	0	0,25	0,5	1	1,5	2	3	
	mL da solução estoque para completar 1 litro H <sub>2</sub> O							
(NH <sub>4</sub> )H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	115,00	-	0,25	0,5	1	1,5	2	3
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O	236,16	5	5	5	5	5	5	5
MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	247,47	-	-	-	-	-	1	1
KCl	74,56	4	4	4	4	4	5	5
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	87,1	2	2	2	2	2	1	1
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	80,04	0,5	0,5	0,5	-	-	0,5	-
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	256,43	2	2	2	2	2	1	1
Micro <sup>1</sup>	-	1	1	1	1	1	1	1
Fe-EDTA <sup>2</sup>	-	1	1	1	1	1	1	1

<sup>1</sup>Micronutrientes: foram utilizadas as seguintes concentrações (mg L<sup>-1</sup>): 2,86 H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>; 1,81 MnCl<sub>2</sub>.4H<sub>2</sub>O; 0,22 ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O; 0,03 CuCl<sub>2</sub>; 0,018 (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub>.4H<sub>2</sub>O, esses foram diluídos em um litro de água deionizada.

<sup>2</sup>Fe-EDTA: 33,2 g L<sup>-1</sup> de Na<sub>2</sub>-EDTA; 100 mL de NaOH (1 M); 4 mL de HCl (1M) 24,9 g L<sup>-1</sup> FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O.

Aplicação de solução nutritiva foi realizada a cada dois dias, nos intervalos entre essas aplicações foram adicionados água deionizada. O pH e a condutividade elétrica das soluções foi monitorado a cada dois dias mantendo-se na faixa de 5,8 a 6,0 e 1,8 a 2,0 mS cm<sup>-1</sup>,

respectivamente, e a troca de soluções ocorreu semanalmente. Com o intuito de evitar toxidez foi realizada a lavagem do substrato com água deionizada a cada 10 dias.

Aos 15 DAE as plantas foram tutoradas na vertical até atingir uma altura de dois metros do solo devido ao seu hábito de crescimento trepador. Durante o período de cultivo houve a necessidade do controle químico através dos produtos Deltametrina e Abamectina para o controle de pulgão (*Aphis gossypii*) e larva minadora (*Liriomyza huidobrensis*), respectivamente. A colheita das vagens foi manual, no ponto de colheita de 15 dias após a antese.

Foram avaliadas como características de crescimento aos 35 DAE (diagnose nutricional) e aos 60 DAE (final do experimento):

*Matéria seca total e suas divisões (g)*: uma planta em cada período foi colhida de forma destrutiva e separada em:

- *Raiz*: retirada a partir da base do coleto para baixo.
- *Caule*: do coleto até a extremidade superior com todos os ramos.
- *Folhas*: limbo foliar e pecíolos.
- *Vagens*: somente aos 60 DAE.
- *Sementes*: somente aos 60 DAE.

As diferentes partes foram acondicionadas em sacos de papel e levadas para a secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C até atingirem massa constante (MALAVOLTA et al., 1997). Com utilização de uma balança analítica foi determinada a massa de material seco da amostra de cada parte da planta.

Como características de produção foram avaliados:

*Número de vagens por planta*: somatório de todas as vagens colhidas durante o estágio reprodutivo.

*Número de sementes por planta:* contagem de todas as sementes produzidas pelas plantas.

*Produção de sementes por planta (g):* após cada colheita e beneficiamento (secagem das vagens à sombra e retirada das sementes das vagens), todas as sementes produzidas por cada planta foram pesadas, e ao final do experimento foi determinado a produção de sementes produzidas por planta pelo somatório das colheitas.

Foi determinado também o teor e o acúmulo de nutrientes aos 35 e 60 DAE, onde duas plantas por repetição foram coletadas, e separadas nas partes vegetativas (raiz, caule, folhas) e reprodutivas (vagens e sementes).

As amostras foram lavadas com água deionizada, após a remoção do excesso de água, foram acondicionadas em sacos de papel e levadas para a secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C até atingirem massa constante, conforme recomendação de Malavolta et al. (1997). Com utilização de uma balança analítica foi determinado a matéria seca da amostra de cada planta e posteriormente as amostras foram passadas em moinho tipo Wiley. Após moídas, as amostras foram submetidas às análises químicas, realizadas de acordo com a metodologia de Silva (2009).

A partir destas análises químicas foram determinados os teores totais de N, P, K, Ca, Mg e S em  $\text{g kg}^{-1}$  e de B, Cu, Fe, Mn e Zn em  $\text{mg kg}^{-1}$ . Logo, a quantidade de nutrientes acumulados em cada amostra foi obtida através da multiplicação do teor de cada nutriente pela matéria seca de cada divisão e o acúmulo total determinado pelo somatório das diferentes partes ( $\text{g planta}^{-1}$ ).

A eficiência de absorção do fósforo (EAP) foi calculada conforme metodologia de Baligar et al. (2001), onde a  $EAP = [(P \text{ absorvido} - P \text{ absorvido na dose com omissão de P}) / \text{dose de P aplicada}] \times 100$ . Foi determinado também a eficiência de utilização de fósforo na raiz,

folhas e sementes pela seguinte equação:  $EUP = (\text{Matéria seca da parte planta})^2/P$  acumulado na parte em questão =  $g^2 \text{ mg}^{-1}$  (SIDDIQI e GLASS, 1981).

Avaliou-se também a atividade *in vivo* da fosfatase ácida na planta com a finalidade de relacionar a atividade enzimática da fosfatase com a qualidade de sementes em função das doses. Para isso, foram coletadas amostras da primeira folha madura a partir do fim do ramo na fase de florescimento (35 DAE) e em total fase de produção (45 DAE). Foram retirados discos de 0,2 cm (0,1 g) das folhas fisiologicamente maduras, evitando-se as nervuras. O material foi imediatamente transferido para tubos de ensaio depositados em recipiente com gelo e mantidos no escuro até o início do procedimento (FERNANDES et al., 2000).

De acordo com a metodologia para determinação *in vivo* da atividade enzimática da fosfatase ácida descrita por Silva e Basso (1993), amostras do material vegetal foram incubadas a 30°C, por 20 min, com 8 mL de p-nitrofenilfosfato à 250  $\mu\text{mol L}^{-1}$ , em tampão-acetato de sódio 0,1  $\text{mol L}^{-1}$  com pH ajustado para 4,0. Ao fim da incubação a solução foi filtrada e alcalinizada com 2,0 mL de NaOH 2 N.

Imediatamente, foi mensurado a quantidade p-nitrofenol em espectrofotômetro a 410 nm, com a realização de uma curva padrão com as seguintes concentrações de p-nitrofenol: 0, 50, 100, 150, 200 e 250  $\mu\text{mol L}^{-1}$ . Os resultados foram expressos em mg de  $\mu\text{molparanitrofenolfosfato g}^{-1} \text{ h}^{-1}$  (TRISTÃO et al., 2006).

A qualidade das sementes foi avaliada por meio dos seguintes parâmetros:

*Massa fresca de sementes* – MS (g): foram contabilizadas seis repetições de 100 sementes de cada tratamento. Após este procedimento as repetições foram pesadas com auxílio de balança analítica com quatro casas decimais.

*Teste de germinação* – G (%): foi realizado conforme as recomendações da RAS (BRASIL, 2009). Foram utilizadas quatro repetições com 50 sementes/cada, em duas folhas de papel para germinação sob forma de rolo e mantidas em câmara de germinação sob temperatura

de 30°C. O papel foi umedecido com água destilada em 2,5 vezes o seu peso. Os dados foram expressos em porcentagem média com base nas plântulas normais.

*Índice de velocidade de germinação – IVG (MAGUIRE, 1962):* foi conduzido juntamente com o teste de germinação, anotando-se a cada dia no mesmo horário, o número de plântulas germinadas, até a última contagem.

*Teste de emergência – E (%):* foi realizado em bandeja com quatro repetições de 50 sementes cada, com substrato comercial Vivato® e sendo mantidas em casa-de-vegetação com sistema de irrigação via nebulização. As plantas foram consideradas emersas quando apresentaram cotilédones acima do solo, em posição aberta, liberando as folhas primárias. A avaliação diária foi do início da primeira contagem até o fim da emergência, aos 10 dias após o início do teste.

*Índice de velocidade de emergência – IVE (MAGUIRE, 1962):* o IVE foi conduzido juntamente com o teste de emergência, anotando a cada dia, no mesmo horário o número de plântulas emersas, até a última contagem.

*Atividade da fosfatase ácida:* ao final do teste de germinação (10º dia) atividade da fosfatase ácida ( $\mu\text{mol}$  paranitrofenolfosfato  $\text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$ ) *in vivo* foi medida nas plântulas nas seguintes divisões: sistema radicular (raiz primária e secundárias), no hipocótilo reto e nas folhas primárias. Dez plântulas oriundas de casa tratamento foram segmentas em suas divisões, e maceradas com auxílio de almofariz de porcelana, onde após este processo 0,1 g do material macerado foi analisado conforme metodologia de Silva e Basso (1993), já descrita anteriormente.

Os dados das características de crescimento, de produção e qualidade de sementes, teor e acúmulo de P nas diferentes partes da planta (raiz, caule, folhas, vagens e sementes) e da fosfatase ácida foram submetidos a uma análise de variância e quando o valor do teste F foi significativo os dados foram ajustados ao modelo de regressão para verificar o efeito das doses.

A máxima eficiência física (MEF) foi obtida através da primeira derivada de cada equação, quando o modelo se ajustou ao comportamento quadrático e a máxima eficiência econômica (MEE) foi obtida a 90% da MEF. Na MEE, obtém-se o nível crítico de deficiência e o nível crítico de toxidez foi determinado quando há perda de 10% na variável avaliada (FAQUIN, 2002).

Para eficiência de utilização e absorção de P, os dados foram submetidos a análise de variância e ao teste de Tukey. Todas as variáveis avaliadas foram submetidas ao programa estatístico SISVAR 5.6 (FERREIRA, 2011).

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1. Crescimento, teor e absorção de fósforo**

A adubação fosfatada proporcionou diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) para todas as variáveis de crescimento, teor e acúmulo de P nas diferentes partes da planta tanto aos 35 dias após a emergência (DAE) (época da diagnose nutricional) como no final do experimento (60 DAE).

O modelo quadrático foi o melhor ajuste para todas as variáveis de crescimento, ou seja, as plantas foram responsivas até uma certa dose que proporcionou a máxima eficiência econômica, a partir deste ponto, o incremento de fósforo na solução não foi satisfatório para resultar em ganhos de crescimento, inclusive, o excesso nas maiores doses provocou prejuízo no desenvolvimento, em todos os parâmetros avaliados.

A matéria seca total (Figura 1a), aos 35 DAE obteve o valor de  $28,8 \text{ g planta}^{-1}$  na dose de  $1,5 \text{ mmol L}^{-1}$ , considerada a dose de máxima eficiência econômica (MEE). Aos 60 DAE

(Figura 1b), a MEE foi obtida aos 1,6 mmol L<sup>-1</sup>, com 150,0 g planta<sup>-1</sup>. Para as suas divisões, em ambas as épocas de avaliação, o valor médio da MEE foi obtido na dose de 1,5 mmol L<sup>-1</sup>.

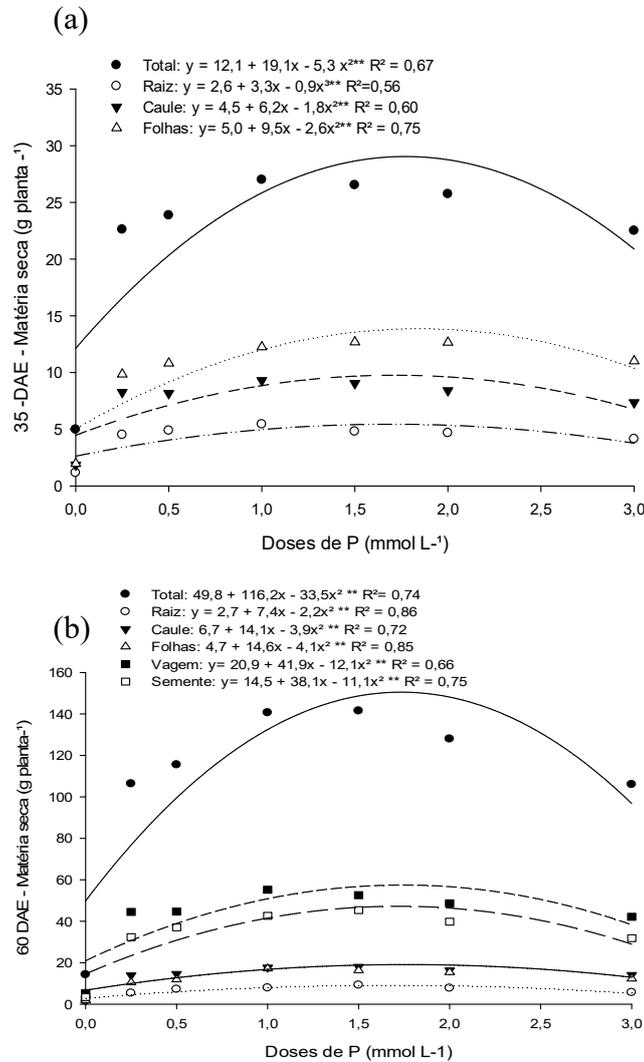


Figura 1 – Acúmulo de matéria seca de plantas de feijão-de-metro em função de doses de P: (a) Matéria seca total, da raiz, caule e folhas no período de diagnose nutricional (35 DAE); (b) Matéria seca total, raiz, caule, folhas, vagens e sementes ao final do experimento (60 DAE).

Em condições de privação de P, a primeira resposta da planta é retardar o seu crescimento, o que foi observado nas menores doses, pois o fosfato utilizado pela planta está diretamente relacionado ao metabolismo energético das células (MARSCHNER, 2012).

Maathuis (2009) relata que as plantas absorvem P durante todas suas fases de crescimento, e a sua deficiência provocará uma rápida diminuição nas taxas fotossintéticas, pois

o mesmo participa de muitas etapas durante a fixação de carbono, portanto a produção de fotoassimilados, e conseqüentemente, acúmulo de matéria seca na planta é prejudicada.

Porém, a disponibilidade em excesso também contribuiu para uma redução do crescimento. De fato, a toxicidade de P em plantas é rara, porque as plantas regulam negativamente a absorção líquida de P (DONG et al., 1999). Contudo, a redução da matéria seca total nas doses mais elevadas dá-se pela competição que o P em excesso pode causar na absorção de Zn e Ca, por exemplo, proporcionando deficiência e redução do crescimento pela falta destes elementos (BARKER e PILBEAN, 2006).

Aos 35 DAE, a folha foi o órgão que mais contribuiu com o acúmulo de matéria seca total, obtendo no ponto de MEE 13,5 g planta<sup>-1</sup>. Após esta fase, dá-se início ao período reprodutivo, onde vagens e sementes, foram os órgãos que mais contribuíram ao final do experimento (60 DAE) com valores de 56,5 e 46,7 g planta<sup>-1</sup>, respectivamente na dose MEE.

Em relação aos valores de nível crítico de deficiência, de acordo com o teor foliar apresentado na Figura 2a aos 35 DAE, o valor obtido foi de 6,9 g kg<sup>-1</sup>, enquanto para o nível crítico de toxidez, o valor obtido foi de 8,4 g kg<sup>-1</sup>. Ao final do experimento (60 DAE), a faixa de suficiência (nível crítico de deficiência e o nível crítico de toxidez) variou de 10,7 - 13,7 g kg<sup>-1</sup>.

A determinação da faixa de suficiência é importante para o feijão-de-metro, pois somente assim, pode-se implementar padrões comparativos, para análise e interpretação da diagnose nutricional, estas informações são essenciais para promover o adequado suprimento da planta (MALAVOLTA et al. 1997).

De acordo com Turuko e Mohammed (2014), o feijoeiro-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) também teve um aumento no acúmulo de matéria seca em todas as divisões, com o adequado suprimento de P, este rendimento de matéria seca é devido a oferta adequada do nutriente, onde o mesmo proporciona um maior crescimento vegetativo e área foliar.

Em relação ao teor de P no tecido, o aumento da concentração de P na solução nutritiva proporcionou um incremento linear de P nos tecidos vegetais (Figuras 2 e 3). A exceção ocorreu na semente onde o comportamento foi quadrático (Figura 3a).

A folha foi responsável pelo maior teor encontrado, pois no final do ciclo (60 DAE) na dose de 3 mmol L<sup>-1</sup> o valor observado foi de 21,8 g kg<sup>-1</sup> (Figura 2a), quase duas vezes a quantidade encontrada aos 35 DAE com 12,4 g kg<sup>-1</sup>, enquanto na dose que teve a maior produção de sementes por planta o teor de P foi de 9,6 g kg<sup>-1</sup> aos 60 DAE.

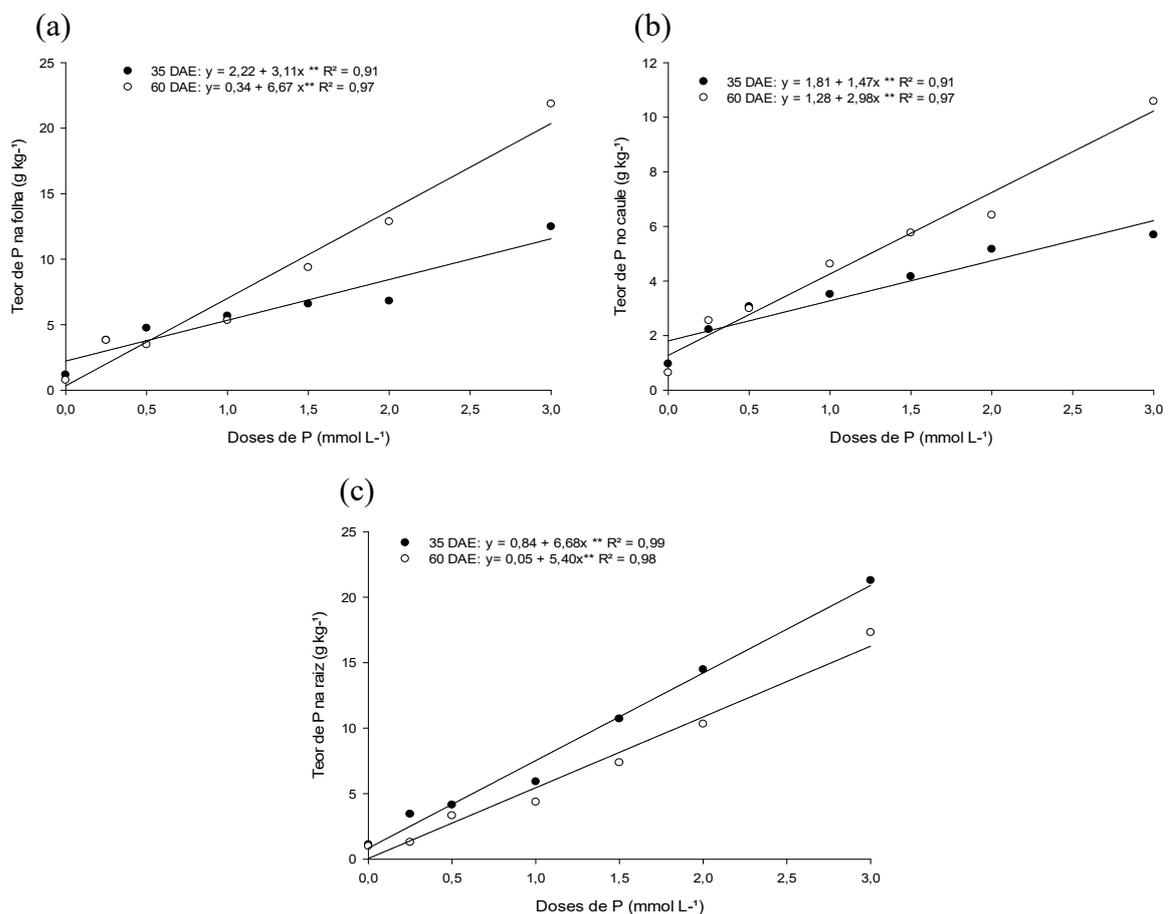


Figura 2 - Teores de fósforo nas folhas (a), no caule (b) e na raiz (c) no feijão-de-metro aos 35 e 60 DAE cultivados em função de doses de P.

Em relação a época de diagnose nutricional (foliar) todos os tratamentos com exceção da omissão de P, ficaram acima da faixa crítica para espécies do gênero *Vigna* (1,2 a 1,5 g kg

<sup>1</sup>) (FAQUIN, 2002). De fato, a alta disponibilidade de P na solução nutritiva, mesmo que a planta possa regular a absorção de P, promove aumento da concentração no tecido.

Em condições de florescimento até a fase final da maturação, no feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) o teor foliar adequado variou de 1,2 a 3,4 g kg<sup>-1</sup> (PARRY et al., 2008; SAMPAIO e BRASIL, 2009). Para o feijão-de-metro, todos os tratamentos que receberam doses de P até os 60 DAE estavam com valores foliares acima desta faixa, sem apresentar sintomas visuais de toxicidade.

No caule, órgão considerado de pouca ação quanto ao armazenamento, os valores variaram de 0,64 g kg<sup>-1</sup> até 10,5 g kg<sup>-1</sup>. A raiz foi a única parte da planta em que na época de coleta aos 35 DAE, os teores foram acima dos obtidos aos 60 DAE (Figura 2c).

O teor de P na semente variou de 3,2 a 9,8 g kg<sup>-1</sup>, a dose de 1,5 mmol L<sup>-1</sup> que possuiu a maior produção de sementes, obteve o valor de 9,6 g kg<sup>-1</sup> (Figura 3a). A variação na vagem foi de 1,3 a 7,2 g kg<sup>-1</sup> (Figura 3b). No trabalho de Fonseca et al. (2010) o teor de fósforo nas sementes do feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) na maior dose aplicada de 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, atingiu cerca de 4,2 g kg<sup>-1</sup>, quase a metade do valor obtido neste experimento, no tratamento de 1,5 mmol L<sup>-1</sup>, que apresentou a maior produção de sementes.

Nas doses acima de 1,5 mmol L<sup>-1</sup>, foi observado um alto teor de P na semente, pois a planta tem como característica absorver e armazenar uma quantidade de fósforo maior do que ela necessita, e muito deste fósforo é direcionado para a semente (RABOY, 2009). Essa característica pode ser essencial no processo germinativo pois o fósforo poderá ser utilizado durante este processo, aumentando também o seu vigor no campo.

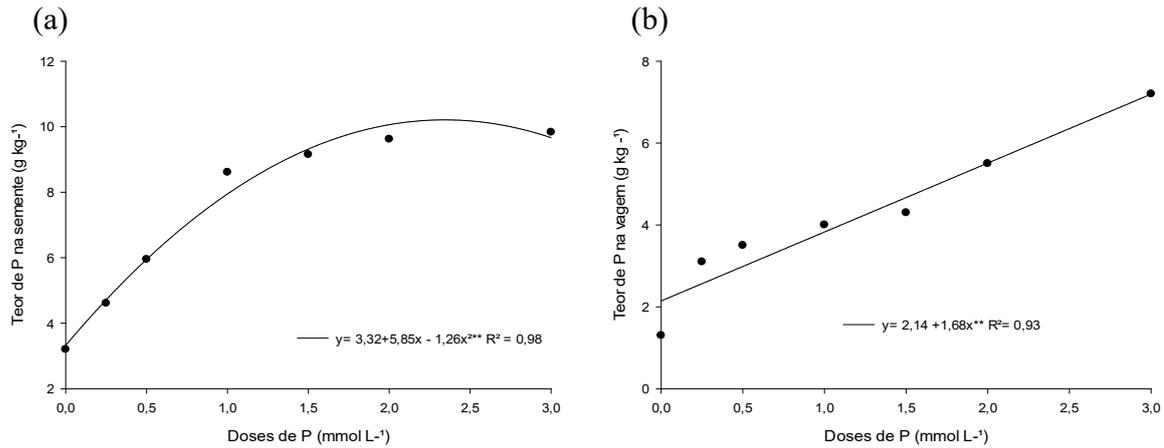


Figura 3 - Teores de fósforo na semente (a) e na vagem (b) no feijão-de-metro aos 60 DAE cultivados em função de doses de P.

O comportamento do acúmulo de P na planta ocorreu de forma semelhante em relação ao teor, onde apenas na semente o ajuste do modelo matemático foi quadrático (Figura 5a). Uma característica importante observada nos valores de acúmulo de P na folha (Figura 4a) e na semente (Figura 5a) foi que a maior diferença de alocação de P ocorreu na dose de 1,5 mmol L<sup>-1</sup> com 0,42 g planta<sup>-1</sup> nas sementes e 0,15 g planta<sup>-1</sup> nas folhas, enquanto isso nas doses de 2 e 3 mmol L<sup>-1</sup>, houve um incremento na folha e uma redução nas sementes.

Observando as Figuras 4 e 5, há a comprovação de que, nas plantas produtoras de grãos, ocorre uma intensa remobilização e exportação do P absorvido na fase reprodutiva, para a formação da semente e enchimentos dos grãos, principalmente em detrimento do desenvolvimento de caules e folhas (DORDAS, 2009; MAATHUIS, 2009).

Na raiz os valores de P acumulados foram muito próximos em ambas as fases de coleta. E assim como para as demais partes das plantas, o acúmulo total evidenciou que quanto maior a disponibilidade de P na solução nutritiva maior foi a incorporação do P no tecido vegetal.

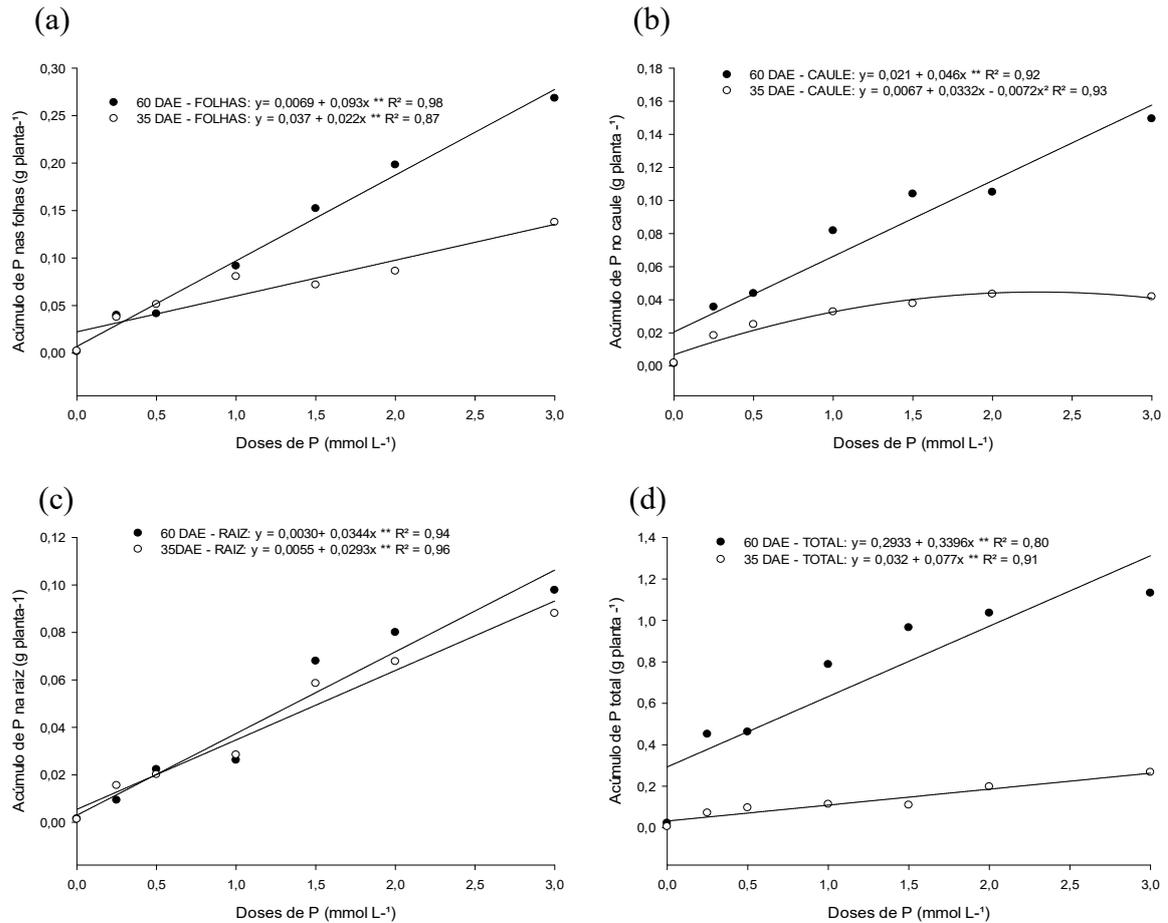


Figura 4 - Acúmulo de fósforo na folha (a), no caule (b), raiz (c) e acúmulo total (d) nas plantas de feijão-de-metro aos 35 e 60 DAE cultivados em função de doses de P.

Na semente (Figura 5a) a dose de 1,5 mmol L<sup>-1</sup> proporcionou o maior acúmulo de P, com 0,42 g planta<sup>-1</sup>. A maior disponibilidade de P nas doses posteriores acarretou diminuição no acúmulo P nas sementes, em consequência da menor produção, observado na Figura 4.

Em relação ao acúmulo de P na vagem houve aumento linear em função das doses de P (Figura 5b). Observa-se também, que nas duas últimas doses, a remobilização de P, em partes, ficou na vagem, possibilitando uma redução do acúmulo na semente.

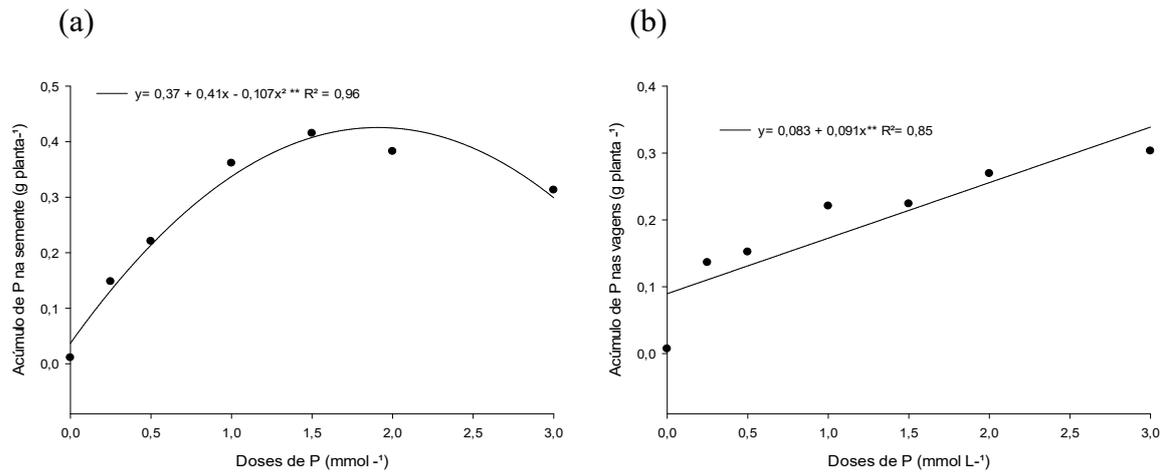


Figura 5 - Acúmulo de fósforo na semente (a) e na vagem (b) do feijão-de-metro aos 60 DAE cultivados em função de doses de P.

### 3.2. Produção de sementes e vagens

Para todas as variáveis de produção, o ajuste do comportamento adequou-se ao modelo quadrático, ou seja, há para essas variáveis um ponto de máxima eficiência econômica, além da faixa de suficiência.

O número de vagens, a produção de sementes e número de sementes por planta, demonstrada nas Figura 6, 7a e 7b, obtiveram a dose de MEE aos 1,5 mmol L<sup>-1</sup>, com 66 vagens por planta, 50,4 g e 902 sementes por planta, respectivamente.

O P é o elemento exigido em pequena quantidade, quando comparado com o N, por exemplo, chega a ser 10 vezes menor, contudo sua exigência além do componente estrutural e no metabolismo energético, está ligada a formação da semente e do fruto (ZUCARELLI et al. 2011; RABOY 2009).

A resposta à disponibilidade de P para produção de vagens e sementes também foi observada em trabalhos de outras espécies do gênero *Vigna* como o feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) (SILVA et al. 2010; COUTINHO et al. 2014), em outras hortaliças-vagem como

o feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L) (OLIVEIRA et al. 2004) e também em outras leguminosas como o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L) (ZUCARELLI et al. 2006; ZUCARELLI et al. 2011).

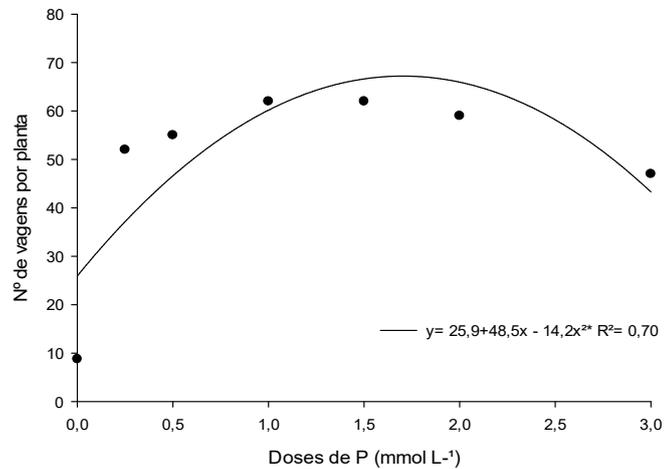


Figura 6 - Número de vagens por planta aos 60 DAE cultivados em função de doses de P.

O tratamento com omissão de P promoveu os menores valores ao final do experimento, com produção média de 8 vagens por planta, 3g de semente por planta e 288 sementes, condicionado pelo suprimento de P na época pré-inicial de desenvolvimento de 1 a 15 DAE. O nível crítico de deficiência na semente, de acordo com a Figura 3a, foi de 9,3 g kg<sup>-1</sup>.

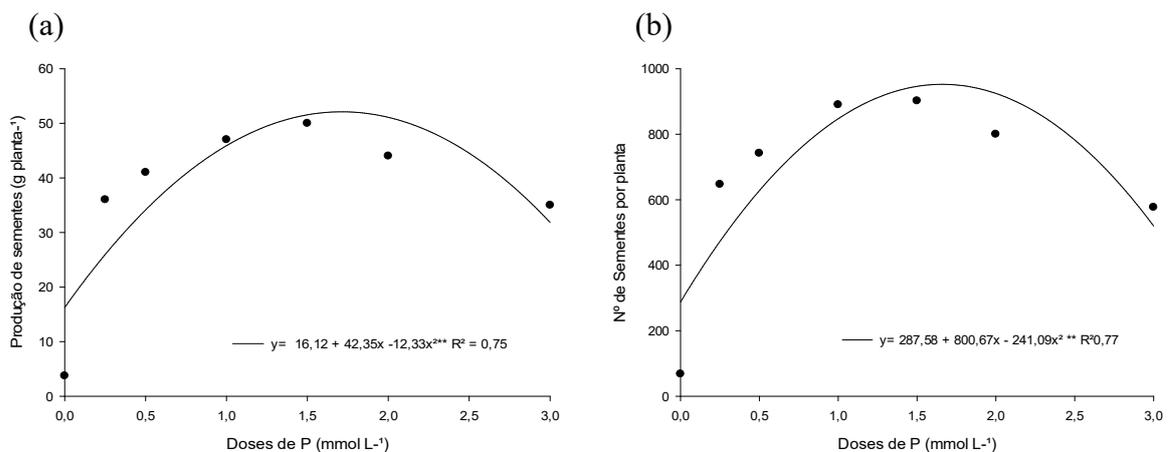


Figura 7 - Produção de sementes (a) e número de sementes (b) por planta aos 60 DAE cultivados em função de doses de P.

De acordo com os dados de crescimento e produção de sementes, o excesso de P na solução nutritiva possibilitou prejuízos nos resultados, pois os valores obtidos na maior dose sofreram uma redução para 35 g de semente por planta e 577 sementes. O nível crítico de toxidez na semente ficou em torno de 9,9 g kg<sup>-1</sup>.

### 3.3. Eficiência de absorção (EAP) e Eficiência de utilização de P (EUP)

Para o feijão-de-metro foi observado diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre as doses de P e a eficiência de absorção e utilização na raiz, na parte aérea e na semente. Na EAP, a dose de 0,5 mmol L<sup>-1</sup> foi mais eficiente na absorção com 34% da dose aplicada, sendo que na dose 3 mmol L<sup>-1</sup> obteve a menor EAP (17%) (Figura 8).

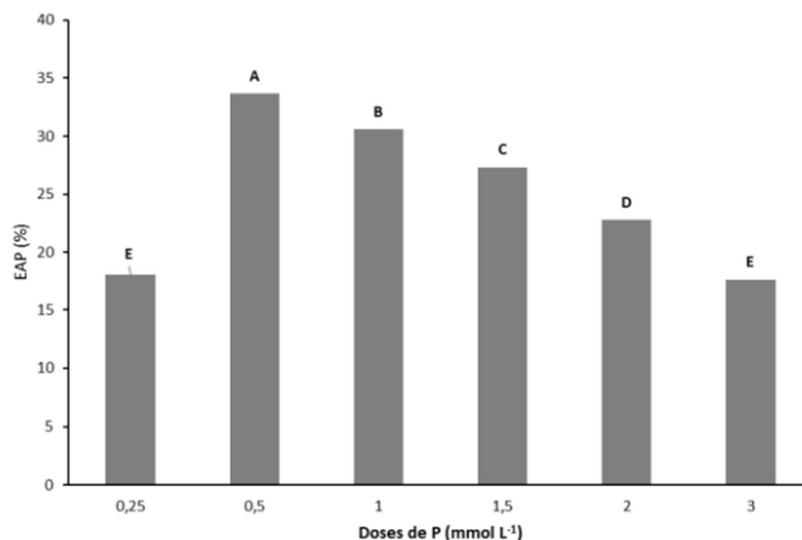


Figura 8 - Eficiência de absorção de fósforo (EAP) na planta de feijão-de-metro aos 60 DAE cultivados em função de doses de P em solução nutritiva.

A EAP é a capacidade de aquisição do P disponível para ser convertido em matéria seca de forma mais eficiente (SHENOY e KALAGUDI, 2005). Na maioria dos casos, as plantas

diferem na EAP, onde a maior biodisponibilidade de P pode acontecer para plantas com maior EAP, mesmo em condições de baixa concentração de P na solução (HINSINGER, 2001). Plantas que são eficientes na absorção de nutrientes aumentam consideravelmente a eficiência dos fertilizantes aplicados.

Portanto, as plantas de feijão-de-metro, quando expostas a um certo grau de deficiência P, são consideradas plantas eficientemente responsivas na EAP, pois possuem a tendência de ativar uma série de mecanismos que resultam no aumento desta variável (MIYASAKA E HABTE, 2001; RAMAEKERS et al., 2010).

Um destes mecanismos é modificar as características da morfologia e arquitetura radicular (HERMANS et al., 2006). Uma resposta da planta observada neste experimento foi que quanto maior a dose de fósforo menor será a relação raiz/parte aérea (Figura 9).

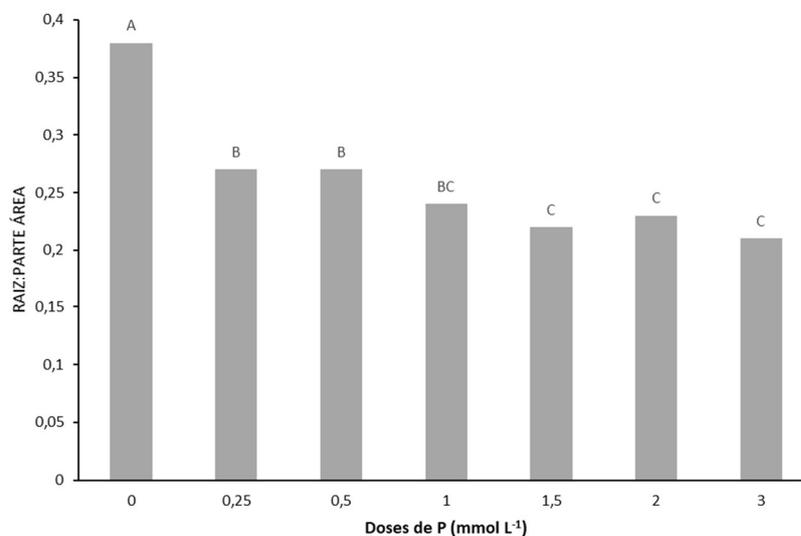


Figura 9 - Relação raiz/parte aérea de plantas de feijão-de-metro aos 60 DAE cultivados em função de doses de P.

Plantas de elevada EAP em condições de deficiência de P, podem aumentar a exploração em área, investindo em um maior tamanho e número de pelos radiculares. Nestas condições, a partição de carboidratos em direção a raiz é fortemente aumentada promovendo a concentração

de sacarose como substrato para o crescimento radicular, aumento também a taxa de alongamento das células radiculares (ANURADHA e NARAYANA, 1991; MARSCHNER, 2012).

O comportamento da EUP nas diferentes partes foi semelhante, onde as doses de 0,25 e 0,5 mmol L<sup>-1</sup>, foram superiores em relação às demais, a partir deste ponto a eficiência decresceu sucessivamente (Figura 10).

A maior EUP nas doses de 0,25 e 0,5 mmol L<sup>-1</sup>, mostrou uma maior capacidade das plantas deste tratamento em converter eficientemente o nutriente disponível para a produção de biomassa, uma maior EUP é atribuída principalmente à eficiente translocação e reutilização do P armazenado nas plantas (WANG et al., 2010).

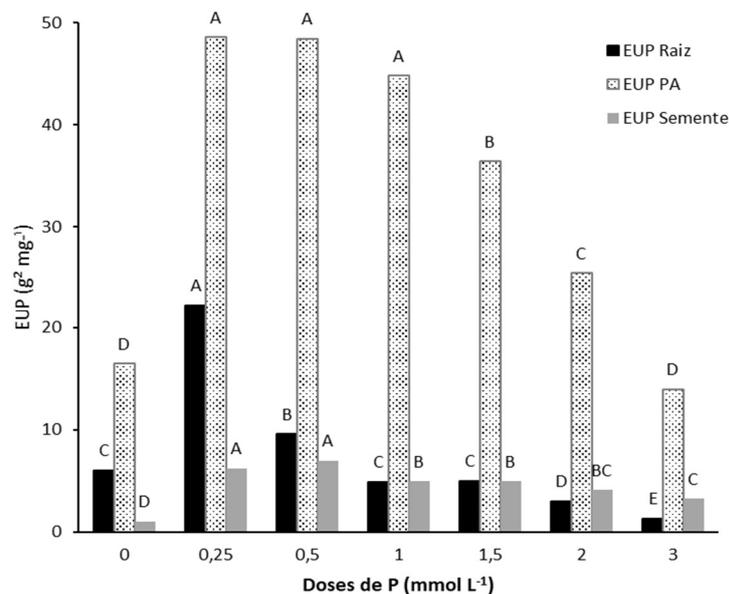


Figura 10 - Eficiência de utilização de fósforo (EUP) na raiz, parte área (PA) e semente do feijão-de-metro aos 60 DAE cultivados em função de doses de P.

Outro fator a ser considerado em leguminosas, como o feijão, é a produção de fosfatase ácida (Figura 11) em que em condições de deficiência de P também promove a maior eficiência e utilização através da remobilização de P de folhas velhas (KOUAS et al., 2009). Ao final do

ciclo a atividade da fosfatase ácida nas menores doses de P também foi maior, enquanto nas maiores doses a atividade diminuiu assim como na EUP.

Nas doses onde o P estava em alta disponibilidade, a planta não teve a necessidade de forçar seu metabolismo para atingir uma eficiência de utilização já que, se não havia restrições quanto à absorção do mesmo, os ganhos de matéria seca em sementes, raiz e parte aérea foram cada vez menores quando se aumentou a dose.

### **3.4. Atividade da enzima fosfatase ácida “*in vivo*”**

A atividade da enzima fosfatase ácida apresentou comportamento distinto nas duas épocas de avaliação 35 e 45 DAE (Figura 11). Na época da diagnose nutricional (35 DAE), ocorreu um comportamento quadrático, sendo o ponto de máxima atividade da enzima na dose de  $0,7 \text{ mmol L}^{-1}$  com  $78 \mu\text{mol parnitrofenolfosfato g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ , a partir deste ponto ocorreu um decréscimo na atividade enzimática com  $54 \mu\text{mol parnitrofenolfosfato g}^{-1} \text{ h}^{-1}$  na dose de  $3 \text{ mmol L}^{-1}$ .

Aos 45 DAE, além do comportamento ser linear, a variação dos resultados foi maior. Isso pode ser explicado, pelo fato de que, a utilização de uma solução nutritiva completa para todas as plantas até os 15 DAE foi suficiente para suprir as necessidades iniciais de P. Contudo, quando as plantas permaneceram em um maior número de dias sob estresse, aliado a maior exigência nutricional (fase de produção), o comportamento aos 45 DAE, indicou uma maior atividade enzimática nas plantas que possuíam menor disponibilidade de P.

De acordo com Ascencio (1994), são vários os fatores que afetam a atividade da fosfatase ácida, e isso inclui o número de dias sob estresse e o tempo após o início do estresse metabólico de P.

Aos 45 DAE (Figura 11), a maior atividade enzimática (94  $\mu\text{mol}$  parnitrofenolfosfato  $\text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$ ) ocorreu nas plantas que estavam com omissão de P. Enquanto isso, na maior dose (3  $\text{mmol L}^{-1}$ ) foi observado um valor de 3  $\mu\text{mol}$  parnitrofenolfosfato  $\text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$ .

Nas condições experimentais aqui apresentadas, foi possível observar que em ambos os períodos de colheita, a atividade foi maior nas doses que receberam menos P, em especial, aos 45 DAE, evidenciando-se que a dose com omissão de P teve a maior ação das fosfatases ácidas.

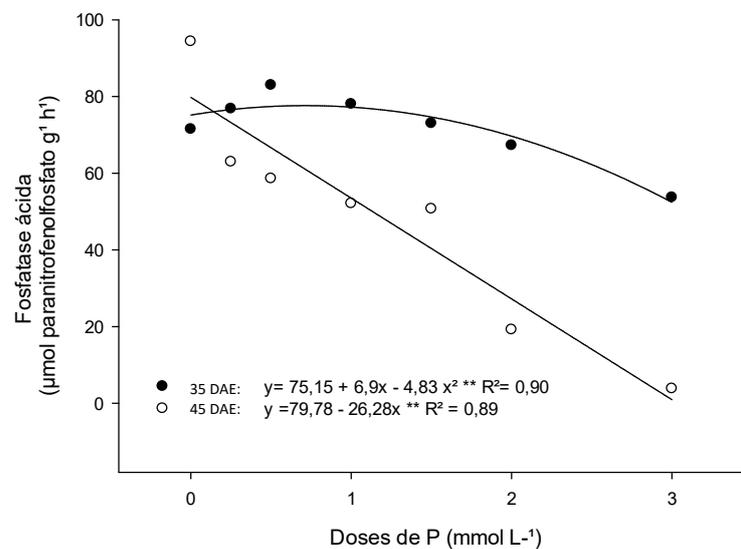


Figura 11 - Atividade enzimática da fosfatase ácida *in vivo* na época da diagnose nutricional (35 DAE) e na época de plena produção de vagens (45 DAE) em função de doses de P.

De forma geral, as plantas desenvolveram uma série de estratégias adaptativas para lidar com a baixa disponibilidade de P, uma delas é a ação da atividade enzimática das fosfatases ácidas ( $\text{pH} < 7,0$ ) que podem ser secretadas na rizosfera e/ou de ação intracelular, no tecido foliar, para mobilizar e reciclar o P (GILBERT et al., 2002; WANG et al., 2009; LI et al., 2012).

Ao nível foliar, a partir do momento que ocorre a privação de P, a planta responde com a regulação da produção de fosfatases ácidas nos vacúolos celulares. Ao serem produzidas, as enzimas podem remobilizar o  $\text{P}_i$  de monoésteres e anidros de  $\text{P}_i$  intracelulares que estão armazenados, mas não utilizados, para restaurar o pool de  $\text{P}_i$  que a planta necessita para diversos

processos metabólicos (BALDWIN et al., 2001; TRAN et al., 2010; PLAXTON e TRAN, 2011).

Esta ação de regulação da produção das fosfatases é um indicativo de que a planta está deficiente em P (TRAN et al. 2010; DUFF et al. 1994), que pode ser útil num rápido e eficiente diagnóstico. Contudo, em períodos prolongados de privação de P, a atividade enzimática poderá diminuir, pois haverá acentuadas reduções nos níveis metabólicos de P citoplasmático (DUFF et al., 1989; VANCE et al., 2003; PLAXTON e TRAN, 2011).

Portanto, para o feijão-de-metro, foi possível observar que, a fase de 35 DAE já demonstra um indicativo que as plantas estão em estado de deficiência de P, o qual é evidenciado na fase seguinte, podendo assim, para essa espécie ser uma ferramenta auxiliar na diagnose nutricional em relação ao elemento P.

### **3.5. Qualidade de sementes**

O tratamento com omissão de P apresentou um número insuficiente de sementes para a realização dos testes, este resultado demonstra que, em condições de deficiência, a principal resposta da planta quando privada de nutrientes minerais é restringir sua produção de sementes em número e tamanho (HARRINGTON, 1960; LOOMIS E CONNER, 1992).

As concentrações de fósforo em solução nutritiva influenciaram significativamente ( $p < 0,05$ ) na qualidade fisiológica de sementes, exceto nas variáveis massa fresca de sementes e IVG. O ajuste das equações para explicar o comportamento das variáveis deu-se ao modelo quadrático em todas as variáveis.

A dose de máxima eficiência econômica na germinação e emergência foi obtida aos 1,3 mmol L<sup>-1</sup>, resultando em percentuais de 87% e 97%, respectivamente (Figura 12a e 12b). Para o IVE, a MEE foi obtida aos 1,5 mmol L<sup>-1</sup> com 9,3 (Figura 11c).

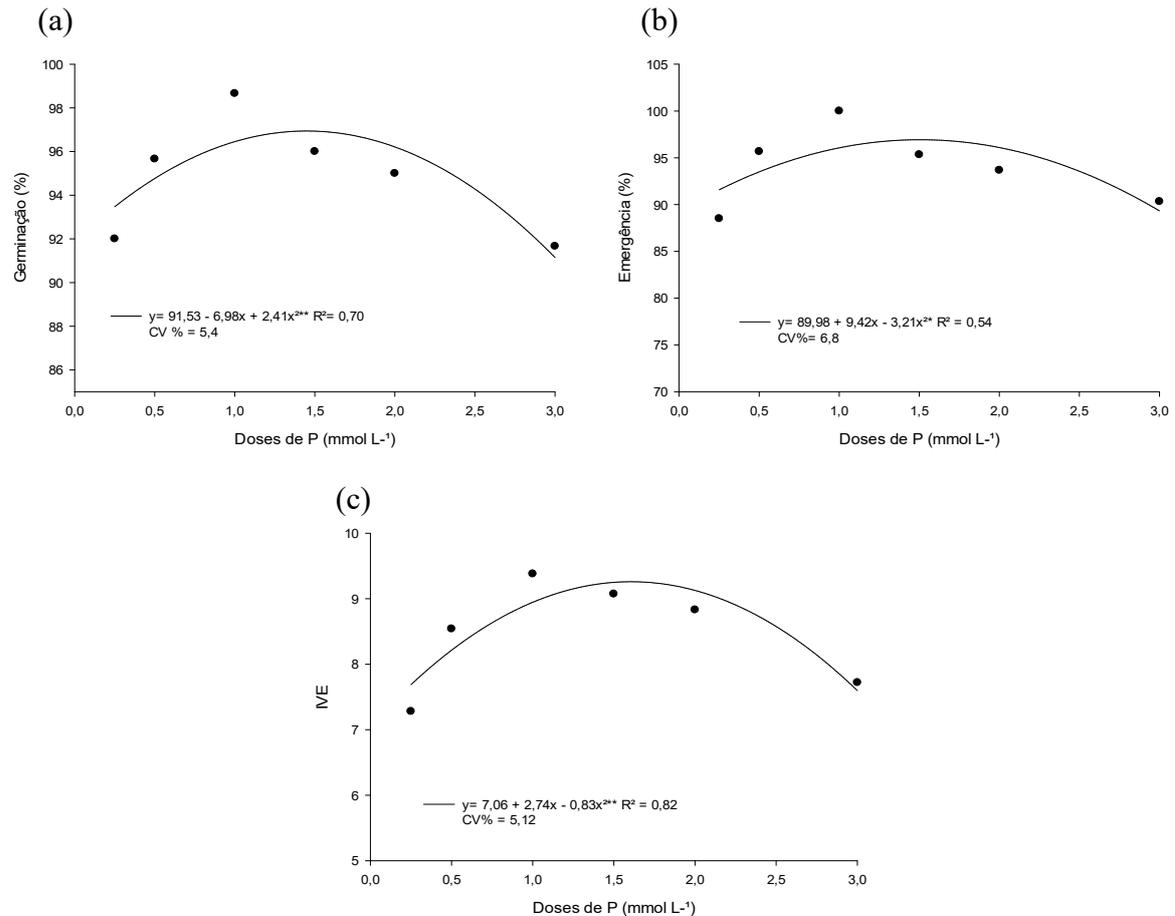


Figura 12 - Percentual de germinação (a), emergência (b) e o índice de velocidade de emergência (c) de sementes de feijão-de-metro em função de doses de P.

De acordo com a Figura 2, a partir dos resultados de teor na folha aos 60 DAE, pode-se relacionar a máxima eficiência econômica (90%) de cada variável ao teor no tecido foliar e determinar o nível crítico de P. Na germinação e emergência o nível crítico de P no tecido foliar foi de 9,0 g kg<sup>-1</sup>, enquanto para o IVE o resultado ficou em torno de 10,3 g kg<sup>-1</sup>.

De fato, a disponibilidade de P, até certo grau, melhora os índices germinação e vigor, pois o mesmo possibilita um maior acúmulo de reservas que são utilizadas durante todo o processo de germinação e até, no desenvolvimento da plântula (HALL e HODGES, 1966).

Na maioria dos casos, a planta absorve uma quantidade de P maior do que o necessário para a formação das sementes (RABOY, 2009), isso contribui para o desenvolvimento ao nível

de campo, contudo, o excesso de P no tecido pode ocasionar um estresse nutricional, refletindo na diminuição dos percentuais de germinação e vigor, como observado no experimento.

Este fósforo que vai para a semente, cerca de 85% é acumulado na forma de ácido fítico (COMINELLI et al., 2018), a absorção em excesso pela planta, ajuda a aumentar a quantidade de reserva desta substância. Durante a germinação ocorre a desfosforilação do ácido fítico para uma série de ésteres de mio-inositol e fosfato inorgânico. Além do P, o ácido fítico também pode fornecer Mg, e em menor grau Ca, Fe e Zn e outros minerais (LOEWUS e MURTHY, 2000; HEGEMAN e GRABAU, 2001; RABOY, 2009; AZEKE et al., 2011).

A condutividade elétrica (CE) das sementes obteve a dose de máxima eficiência física na dose de 2,1 (máxima eficiência física) (Figura 13). Na literatura, relaciona-se baixos valores de condutividade elétrica com sementes de maior qualidade fisiológica, pois sugere-se uma maior integridade da membrana (GONZALES et al., 2009).

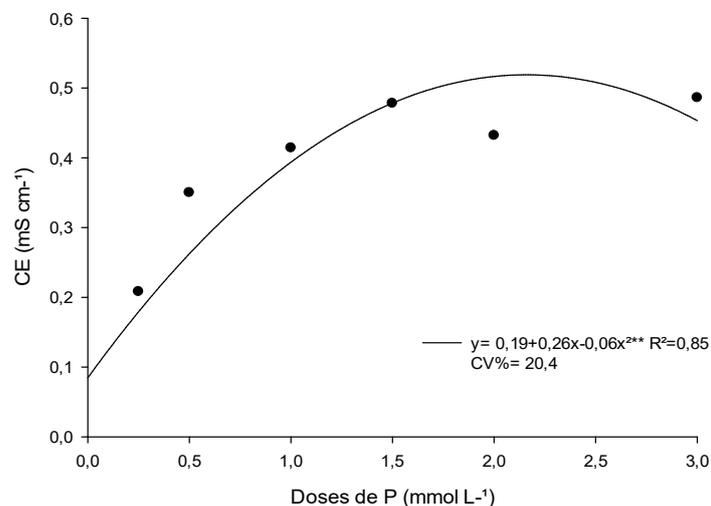


Figura 13 - Condutividade elétrica (CE) de sementes de feijão-de-metro em função de doses de P em solução nutritiva.

Contudo, a dose de 0,25 mmol<sup>-1</sup> obteve o menor valor de CE (0,21 mS cm<sup>2</sup>) mas não refletindo na melhoria dos percentuais de germinação e emergência. Porém, o excesso de P no tecido da semente, aumentou os valores de CE nas maiores doses. De acordo com Moura et al.

(2017) o aumento da condutividade elétrica na solução está relacionado com sementes de qualidade inferior, ou seja, menor vigor.

A atividade da enzima fosfatase ácida *in vivo* não foi observada no hipocótilo. Contudo, no sistema radicular e nas folhas primárias, houve um comportamento semelhante onde a partir do incremento da dose, foi observado a diminuição da atividade da enzima nesses compartimentos (Figura 14).

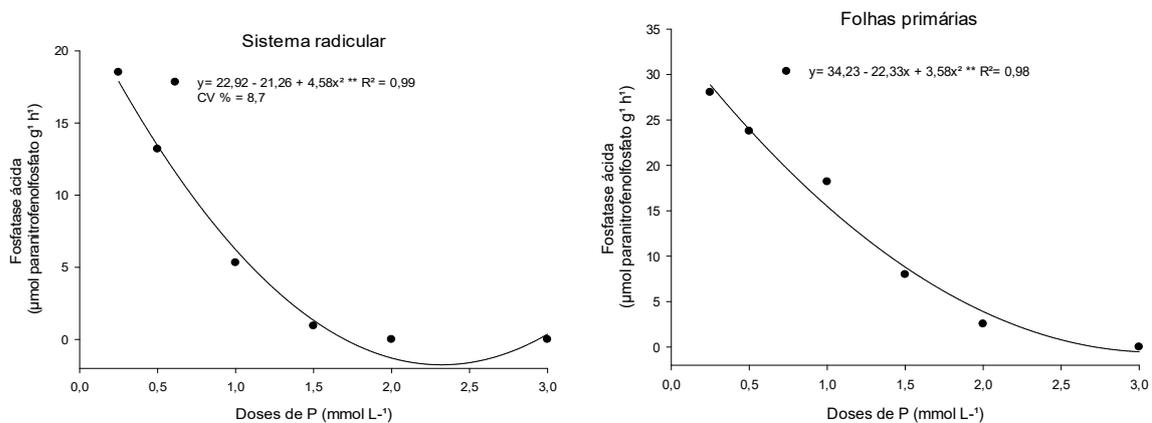


Figura 14 - Valores médios e ajuste de equações da atividade enzimática da fosfatase ácida *in vivo* (μmol paratitrofenolfosfato g<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>) ao final do teste de germinação em função de doses de P em solução nutritiva.

No sistema radicular dessas plântulas a maior atividade observada foi na dose de 0,25 mmol L<sup>-1</sup> com 18,5 μmol paratitrofenolfosfato g<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, enquanto nas doses de 2 e 3 mmol L<sup>-1</sup> a atividade enzimática foi nula. Nas folhas primárias, 28 μmol paratitrofenolfosfato g<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> foi obtido nas plântulas que receberam a dose de 0,25 mmol L<sup>-1</sup>, e a atividade tornou-se nula apenas, na dose de 3 mmol L<sup>-1</sup>.

As fosfatases ácidas podem ocorrer de fato em diferentes partes das plantas e ao longo do desenvolvimento da mesma (DUFF et al., 1994), neste caso, foi observado sua ação no final do processo germinativo. Por estar relacionada às condições de deficiência de P, tanto na raiz e parte aérea, as doses que tinham um menor teor de P disponível obtiveram as maiores atividades da enzima.

Essa ação é uma questão adaptativa da planta na procura de Pi, pois durante o processo germinativo em condições de baixo Pi, as fosfatases ácidas tem a função de fornecer P a partir do fitato armazenado e remobilização do Pi (VANCI et al., 2003; NASRI et al., 2015).

Uma hipótese apontada é que, as fosfatases são produzidas e liberadas na rizosfera das plantas, com finalidade de disponibilizar e captar o Pi externo da solução do solo. No caso do processo germinativo, em laboratório não há solução do solo, contudo, por se tratar de uma questão adaptativa, as plântulas podem promover essa característica na procura de uma fonte externa de Pi, por isso observa-se resultados elevados nas menores doses de P. Uma próxima etapa dessa pesquisa poderia ser a análise da rizosfera dessas plantas.

#### 4. CONCLUSÕES

Na cultura do feijão-de-metro o fósforo influenciou positivamente no crescimento, no acúmulo, na produção e qualidade de sementes de feijão-de-metro.

A dose recomendada para o cultivo de feijão-de-metro em solução nutritiva é de 1,5 mmol L<sup>-1</sup>, para a produção de sementes.

#### 5. REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA NETO, F. et al. Adubação fosfatada na cultura da soja na microrregião do Alto Médio Gurguéia. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 2, p. 266-271, 2010.

ANURADHA, M.; NARAYANAN, A. Promotion of root elongation by phosphorus deficiency. **Plant Soil** v. 136, p. 273–275, 1991.

ASCENCIO, J. Acid phosphatase as a diagnostic tool. **Plant Nutrition**, v. 25, p. 1553-1564, 1994.

AZEKE, M.A. et al. Effect of germination on the phytase activity, phytate and total phosphorus contents of rice (*Oryza sativa*), maize (*Zea mays*), millet (*Panicum miliaceum*), sorghum (*Sorghum bicolor*) and wheat (*Triticum aestivum*). **Journal Food Science and Technology**, v. 48, n. 6, p. 724–729, 2011.

- BALDWIN, J.C.; KARTHIKEYAN, A.S.; RAGHOTHAMA, K.G. *LEPS2*, a phosphorus starvation-induced novel acid phosphatase from tomato. **Plant Physiology**, v. 125, p. 728–737, 2001.
- BARKER, A.V.; PILBEAM, D.J. **Handbook of plant nutrition**. CRC Press, Boca Raton, 2006, 662p.
- BALIGAR, V.C.; FAGERIA, N.K.; HE, Z.L. Nutrient use efficiency in plants. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 32, n. 7, 921 – 950, 2001.
- BERTOLIN, D.C. et al. Sementes de guandu, produzidas em semeadura tardia: efeito de doses de fósforo, potássio e espaçamentos. **Acta Scientiarum Agronomv**, v. 30, n. 4, p. 555-560, 2008.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: DNDV/CLAV, 2009. 365p.
- BROADLEY, M.R. et al. Phylogenetic variation in the shoot mineral concentration of angiosperms. **Journal of Experimental Botany**, v. 55, n. 396, p. 321-336, 2004.
- CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4ed. Jaboticabal, Funep, p. 588, 2000.
- COMINELLI, E. et al. Phytic acid transport in *Phaseolus vulgaris*: a new low phytic acid mutant in the PvMRP1 gene and study of the PvMRPs promoters in two different plant systems. **Plant Science**, v. 270, p 1-12, 2018.
- COUTINHO, P.W.R. et al. Doses de fósforo na cultura do feijão-caupi na região Nordeste do Estado do Pará. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 8, n. 1, p. 66-73, 2014.
- DONG, B. et al. Phosphate uptake in *Arabidopsis thaliana*: dependence of uptake on the expression of transporter genes and internal phosphate concentrations. **Plant, Cell and Environment**. v. 22, p. 1455–1461, 1999.
- DORDAS, C. Dry matter, nitrogen and phosphorus accumulation, partitioning and remobilization as affected by N and P fertilization and source–sink relations. **European Journal of Agronomy**, v. 30, p. 129-139, 2009.
- DUFF, S.M.G. et al. Phosphate starvation inducible “bypasses” of adenylate and phosphate dependent glycolytic enzymes in *Brassica nigra* suspension cells. **Plant Physiology**, v. 90, p. 1275–1278, 1989.
- DUFF, S.M.G.; SARATH, G.; PLAXTON, W.C. The role of acid phosphatases in plant phosphorus metabolism. **Plant Physiology**, v. 90, p. 791–800, 1990.
- FAQUIN, V. **Diagnose do estado nutricional das plantas**. Curso de Pós-Graduação “Lato Sensu” à distância. (Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas no Agronegócio) – Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002. 77 p.
- FERNANDES, L. A. et al. Frações de fósforo e atividade da fosfatase ácida em plantas de feijoeiro cultivadas em solos de várzea. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 561-571, 2000.

- FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, (UFLA), v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.
- FONSECA, M.R. et al. Teor e acúmulo de nutrientes por plantas de feijão-caupi em função do fósforo e da saturação por bases. **Revista de Ciências Agrárias**, v.53, n.2, p.195-205, 2010.
- GILBERT, G.A. et al. Acid phosphatase activity in phosphorus -deficient white lupin roots. **Plant, Cell & Environment**, v.22, 801-810, 2002.
- GONZALES, J.L.S.; PAULA, R.C.D.; VALERI, S.V. Teste de condutividade elétrica em sementes de *Albizia hassleri* (Chodat) Burkart. Fabaceae-Mimosoideae. **Revista Árvore**, v. 33, n. 4, p. 625-634, 2009.
- HALL, J.R.; HODGES, T.K. Phosphorus metabolism of germinating oat seeds. **Plant Physiology**, v. 41, p. 1459-1464, 1966.
- HARRINGTON, J. E. Germination of seeds from carrot, lettuce, and pepper plants grown under severe nutrient deficiencies. **Hilgardia**, v. 30, p. 219 – 235, 1960.
- HEGEMAN, C.E.; GRABAU, E.A. A novel phytase with sequence similarity to purple acid phosphatases is expressed in cotyledons of germinating soybean seedlings. **Plant Physiology**, v. 126, p. 1598-1608, 2001.
- HINSINGER, P. Bio-availability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root induced chemical changes: a review. **Plant Soil**, v. 237, p. 173-195, 2001.
- LI, C. et al. Identification of soybean purple acid phosphatase genes and their expression responses to phosphorus availability and symbiosis . **Annals of Botany**, v. 109, n. 1, p. 275–285, 2012.
- LOEWUS F.A.; MURTHY, PP..N. Myo-inositol metabolism in plants. **Plant Science**, v. 150, n. 1, p. 1–19, 2000.
- LOOMIS, R.S.; CONNER, D.J. **Crop ecology: production and management in agricultural systems**. Cambridge U. Press, Cambridge, 1992.
- KIKUTI, H. et al. Qualidade de sementes de genótipos de feijão em função da adubação. **Revista Ciência Agrônômica**, v.37, n.1, p.37-43, 2006.
- KOUAS, S. et al. Root proliferation, proton efflux, and acid phosphatase activity in common bean (*Phaseolus vulgaris*) under phosphorus shortage. **Journal Plant Biology**, v. 52, p. 395 – 402, 2009.
- KRUEGER, K. et al. Phosphorus and potassium fertilization effects on soybean seed quality and composition. **Crop Science**, v. 53, p. 602-610, 2013.
- MAATHUIS, F.J.M. Physiological functions of mineral macronutrientes. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 12, n. 3, p. 250-258, 2009.
- MAGUIRE, J.D. Seed of germination and in selection and evaluation for seedling emergence and vigour. **Crop Science**, v.2, n.1, p.176-77, 1962.

- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa do Fósforo, 1997. 238 p.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3.ed London: Elsevier, 2012. 643p.
- MARTIN, T.N. et al. Uso do *software* ImageJ na estimativa de área foliar para a cultura do feijão. **Interciência** v. 38, n. 12, 843-848, 2013. <https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2017/12/843-MARTIN-6.pdf>
- MIYASAKA, S.C.; HABTE, M. Plant mechanisms and mycorrhizal symbioses to increase phosphorus uptake efficiency. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 32, n. 7-8, p. 1101-1147, 2001. <https://doi.org/10.1081/CSS-100104105>
- MOURA, M.C.F. et al. Teste da condutividade elétrica na avaliação fisiológica em sementes de *Vigna unguiculata*. **Revista de Ciências Agrárias**, v.40 n.4, p. 714-721, 2017.
- NASCENTE, A.S. et al. Adubação fosfatada no sulco e foliar afetando a produtividade de grãos do feijoeiro comum. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 3, p. 1231-1240, 2014.
- NASRI, N. et al. Effect of salinity on germination, seedling growth and acid phosphatase activity in lettuce. **American Journal of Plant Sciences**, v. 6, 57-63, 2015.
- OLIVEIRA, A.P. et al. Produção de feijão-fava em função do uso de doses de fósforo. **Horticultura Brasileira**, v. 22, n. 3, p. 543-546, 2004.
- OLIVEIRA, G.A. et al. Resposta do feijão-caupi às lâminas de irrigação e as doses de fósforo no cerrado de Roraima. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 4, p. 872-882, 2011.
- PARRY, M.; KATO, M. S. A.; CARVALHO, J. G. Macronutrientes em caupi cultivado sob duas doses de fósforo em diferentes épocas de plantio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrária e Ambiental**, v. 12, n. 3, p. 236-242, 2008.
- PASTORINI, L. H. et al. Crescimento inicial de feijoeiro submetido a diferentes doses de fósforo em solução nutritiva. **Revista Ceres**, v. 47, n. 270, p. 219-228, 2000.
- PLAXTON, W.C.; TRAN, H.T. Metabolic adaptations of phosphate-starved plants. **Plant physiology**, v. 156, p. 1006–1015, 2011.
- POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente**. Brasília, DF: AGIPLAN, p. 287, 1985.
- RABOY, V. Approaches and challenges to engineering seed phytate and total phosphorus. **Plant Science**, v. 177, n. 4, p. 281-296, 2009.
- RAMAEKERS, L. et al. Strategies for improving phosphorus acquisition efficiency of crop plants. **Field Crops Research**, v. 117, n. 2-3, p. 169-176, 2010.
- SAMPAIO, L. S.; BRASIL, E. C. Exigência nutricional do feijão-caupi. In: **Anais do II Congresso Nacional de Feijão-Caupi**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental. 1 CD-ROM. II Conac. p. 417-421, 2009.

- SAWAN, Z.M.; FAHMY, A.H.; YOUSEF, S.E. Effect of potassium, zinc and phosphorus on seed yield, seed viability and seedling vigor of cotton (*Gossypium barbadense* L.) **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 57, p. 75-90, 2011.
- SEYYEDI, S.M.; KHAJEH-HOSSEINI, M.; REZVANI MOGHADDAM, P.; SHAHANDEH, H. Effects of phosphorus and seed priming on seed vigor, fatty acids composition and heterotrophic seedling growth of black seed (*Nigella sativa* L.) grown in a calcareous soil. **Industrial Crops and Products**, v. 74, p. 939-949, 2015.
- SIDDIQI, M.Y.; GLASS, A.D.M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, v. 4, p. 289-302, 1981.
- SILVA, F. C.; BASSO, L. C. Avaliação da atividade in vivo da fosfatase ácida da folha na diagnose da nutrição fosfórica em cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 17, p. 371-375, 1993.
- SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2 ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 627, 2009.
- SILVA, A.J. et al. Resposta do feijão-caupi à doses e formas de aplicação de fósforo em Latossolo Amarelo do Estado de Roraima. **Acta Amazônica**, v. 40, n. 1, p. 31-36, 2010.
- SHENOY, V.V.; KALAGUDI, G.M. Enhancing plant phosphorus use efficiency for sustainable cropping. **Biotechnology Advances**, v. 23, n. 7-8, p. 501-513, 2005.
- TRAN, H.T.; HURLEY, B.A.; PLAXTON, W.C. Feeding hungry plants: the role of purple acid phosphatases in phosphate nutrition. **Plant Science**, v. 179, p. 14–27, 2010.
- TRISTÃO, F. S.; ANDRADE S. A. L.; SILVEIRA, A. P. D. Fungos micorrízicos arbusculares na formação de mudas de cafeeiro, em substratos orgânicos comerciais. **Bragantia**, Campinas, v.65, n.4, p.649-658, 2006.
- TURUKO, M.; MOHAMMED, A. Effect of diferente phosphorus fertilizer rates on growth, dry matter yield and yield componentes of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Word Journal of Agricultural Research**, v. 2, n. 3, p. 88-92, 2014.
- VALDERRAMA, M. et al. Fontes e doses de nitrogênio e fósforo em feijoeiro no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.39. n. 3, p. 191-196, 2009.
- VANCE, C.P.; UHDE-STONE, C.; ALLAN, D.L. Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. **New Phytologist**, v. 157, p. 423 – 447, 2003.
- WANG, X. et al. Overexpressing AtPAP15 enhances phosphorus efficiency in soybean. **Plant Physiology**, v. 151 p. 233-240, 2009.
- WANG, X.; SHEN, J.; LIAO, H. Acquisition or utilization, which is more critical for enhancing phosphorus efficiency in modern crops? **Plant Science**, v. 179, p. 302-306, 2010.
- WHITE, P.J; HAMMOND, J.P. **Phosphorus nutrition of terrestrial plants**. In: The Ecophysiology of Plant-Phosphorus Interactions. Springer, p. 296, 2008.

ZUCARELI, C. et al. Adubação fosfatada, componentes de produção, produtividade e qualidade fisiológica em sementes de feijão. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 28, n. 01, p. 5-15, 2006.

ZUCARELLI, C. et al. Fósforo na produtividade e qualidade de sementes de feijão Carioca Precoce cultivado no período das águas. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 1, p. 32-38, 2011.

## CAPÍTULO III – CRESCIMENTO E MARCHA DE ABSORÇÃO DE NUTRIENTES PELO FEIJÃO-DE-METRO

### RESUMO

A determinação da marcha de absorção dos nutrientes durante o ciclo da cultura é essencial pois permite conhecer as exigências nutricionais em épocas onde a planta possui maior demanda, além de aumentar a eficiência dos fertilizantes minerais e diminuir custos. O objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento e o desenvolvimento de plantas de feijão-de-metro em diferentes fases de cultivo através das características morfofisiológicas, determinando também, a sua exigência nutricional. O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus-AM, no período de julho a setembro de 2018. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com 8 períodos de avaliação aos 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 e 80 dias após a emergência e com quatro repetições compostas de duas plantas cada. As plantas de feijão-de-metro foram cultivadas em vaso com substrato areia lavada. A cada fase de cultivo as plantas foram analisadas de forma destrutiva para avaliação das variáveis de crescimento, matéria seca e variáveis fisiológicas. Foi determinado também o acúmulo de macro e micronutrientes. Quando significativos, os valores de acúmulo, variáveis fisiológicas e de crescimento foram ajustados aos modelos de regressão. De acordo com as variáveis de crescimento e fisiológicas as plantas de feijão-de-metro possuem três fases distintas de crescimento: vegetativa (0 a 30 DAE), plena fase reprodutiva (31 a 60 DAE) e senescência (61 a 80 DAE). A equação sigmoideal foi o modelo que melhor representou a curva de crescimento das plantas de feijão-de-metro. A fase de maior exigência nutricional da cultura é no período de 20 a 45 DAE, fase está que deve ser realizada o manejo nutricional. A ordem da extração total de macronutrientes pela planta no final do ciclo foi de  $Ca > K > N > P > S = Mg$  e de micronutrientes  $Fe > B > Zn > Mn > Cu$ .

Palavras-chave: *Vigna unguiculata* subsp. *sesquipedalis*, índices fisiológicos, acúmulo de macronutrientes e micronutrientes.

## CHAPTER III - GROWTH AND MARCH OF ABSORPTION OF NUTRIENTS BY THE BEAN-OF-METRO

### ASBTRACT

Determining the nutrient absorption gait during the crop cycle is essential because it allows to know the nutritional requirements in times where the plant has the highest demand, in addition to increasing the efficiency of mineral fertilizers and reducing costs. The objective of this work was to evaluate the growth and development of bean-meter plants in different stages of cultivation through the morphophysiological characteristics, determining also their nutritional requirement. The experiment was conducted in a greenhouse at Embrapa Amazônia Occidental, Manaus-AM, from July to September, 2018. The experimental design was completely randomized with 8 evaluation periods at 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 and 80 days after emergence and with four replicates composed of two plants each. The bean plants were grown in pot with washed sand substrate. At each stage of cultivation the plants were analyzed in a destructive way to evaluate growth, dry matter and physiological variables. The accumulation of macro and micronutrients was also determined. When significant, the values of accumulation, physiological variables and growth were adjusted to the regression models. According to the growth and physiological variables, the bean plants have three distinct stages of growth: vegetative (0 to 30 DAE), full reproductive phase (31 to 60 DAE) and senescence (61 to 80 DAE). The sigmoidal equation was the model that best represented the growth curve of the bean plants. The phase of greatest nutritional requirement of the crop is in the period of 20 to 45 DAE, phase is that nutritional management must be performed. The order of the total extraction of macronutrients by the plant at the end of the cycle was Ca > K > N > P > S = Mg and of micronutrients Fe > B > Zn > Mn > Cu.

Key words: *Vigna unguiculata* subsp. *sesquipedalis*, plant physiology, accumulation of macronutrients and micronutrients.

## 1. INTRODUÇÃO

O feijão-de-metro [*Vigna unguiculata* subsp. *sesquipedalis* (L.) Verdec] é uma espécie da família Fabaceae (SARUTAYOPHA et al., 2007). É caracterizada no Brasil como hortaliça fruto, na região Norte, possui um papel importante na diversificação de cultivos, complementação de renda e fonte de proteínas (SARUTAYOPHA et al., 2007; GUIMARAES et al., 2017).

A qualidade das hortaliças fruto é proporcional ao manejo adequado da cultura. Isso ocorre, principalmente, em razão da necessidade de se conhecer as variáveis fisiológicas que atuam no crescimento da planta (SÃO JOSÉ et al., 2014) e sua exigência nutricional durante as fases de desenvolvimento (ALMEIDA et al., 2012), além de outros fatores.

Durante as fases de crescimento, a planta sofre diversas transformações morfofisiológicas, que podem ser mensuradas através da análise de crescimento. De acordo com Magalhães (1979), a análise de crescimento destina-se à avaliação da produção líquida das plantas, derivada do processo fotossintético, e é o resultado do desempenho do sistema assimilatório durante certo período de tempo.

A energia fotossintética é convertida em matéria seca nos diferentes intervalos de tempo, onde é possível relacionar as épocas de intenso crescimento da planta com a expressão do seu potencial de produção através de índices fisiológicos e bioquímicos (ANDRADE et al., 2009; SILVA et al., 2012b).

Contudo, esses índices fisiológicos e bioquímicos são influenciados por outros fatores, como os níveis de nutrientes minerais, através da sua exigência nutricional, o que pode afetar os ganhos de biomassa e produtividade (FERREIRA et al., 2006).

O correto manejo nutricional de uma cultura é realizado, inicialmente, através de estudos de marcha de absorção. A marcha de absorção dos nutrientes expressa na forma de curvas de resposta, em função do período de desenvolvimento, a quantidade de nutrientes

necessários para a produção, a época de maior exigência de cada nutriente e o órgão que cada nutriente se encontra em maior quantidade (MARSCHNER, 1995; DASMACENO et al., 2012).

Para o feijão-de-metro, a marcha de absorção é essencial pois pode definir o quanto de nutrientes pode ser exportado no período da colheita (ZOBIOLE et al., 2010), época fundamental para espécies onde o produto final é a colheita da vagem (hortaliça fruto). Além do mais, define a época ideal de aplicação dos fertilizantes e racionalização dos insumos (VON PINHO et al., 2009).

Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar durante as fases de desenvolvimento do feijão-de-metro as respostas das características morfofisiológicas, estabelecendo a curva que representa seu crescimento, determinando também, a marcha de absorção de N, P, K, Ca, S, Mg, S, B, Fe, Cu, Mn e Zn, assim como, a época ideal de manejo nutricional e a ordem de extração destes elementos.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi realizado em casa de vegetação no setor de Plantas Medicinais e Hortaliças, na Embrapa Amazônia Ocidental (03°06'23,04"S e 60°01'35,14"W), Manaus-AM, no período de julho a setembro de 2018. A casa de vegetação possuía as dimensões de 7 x 33 m, coberta com plástico de 150 micra. A temperatura média dentro da casa de vegetação foi de 36°C.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado com 8 períodos de avaliação aos 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 e 80 dias após a emergência (DAE), com quatro repetições compostas de duas plantas cada.

A condução das plantas deu-se em vasos de plásticos de polietileno com volume de 3 L de diâmetro superior de 17,5 cm e inferior de 15,0 cm, com altura de 15,0 cm, de coloração preta, sem furos na parte inferior. O vaso possuía uma torneira na lateral a 1 cm da base do

vaso, na parte interna da torneira foi colocada uma esponja tipo “D28” com tamanho de 10 x 10 cm a fim de reter e facilitar os processos de lavagem do substrato.

O substrato utilizado foi areia quartzo branca, que passou por peneiras de malha de 4 mm e 1 mm, nesta ordem. Após este processo, a areia foi lavada em água corrente até que a água drenada estivesse limpa. Em seguida, a areia foi purificada em solução de HCl a 0,5 M durante seis horas, lavada novamente três vezes com água de torneira e, finalmente com água deionizada por mais duas vezes. A areia foi colocada para secagem em secador solar e 3 kg de areia seca foram adicionados em cada vaso.

Foram utilizadas sementes de feijão-de-metro da cultivar Feijão-Caupi Cultivar de Metro da empresa Hortivale<sup>®</sup>, Safra 2016. O espaçamento utilizado foi de 0,8 m entre plantas e 1,0 m entre linhas. Cinco sementes foram semeadas em cada vaso. Aos 10 dias de desenvolvimento foram desbastadas quatro plantas deixando apenas a mais vigorosa.

A solução nutritiva utilizada foi a de Hoagland & Arnon (1950) modificada conforme a formulação descrita na Tabela 1. Vale ressaltar que a dose de fósforo foi estabelecida conforme o experimento realizado no Capítulo II.

O manejo da solução nutritiva foi de acordo com o desenvolvimento das plantas e estabelecido em experimento prévio, após 5 DAE, estas foram conduzidas em solução a 25% da força iônica, com aplicação no 5° e 8° DAE. No 10° DAE a força iônica foi alterada para 50% ficando até o 20° DAE, após este período a força iônica foi elevada para 80%.

Aplicação de solução nutritiva foi realizada a cada 2 dias, nos intervalos entre essas aplicações foram adicionados água deionizada. O pH e a condutividade elétrica das soluções foi monitorado a cada dois dias mantendo-se na faixa de 5,8 a 6,0 e 1,8 a 2,0 mS cm<sup>-1</sup>, respectivamente, e a troca de soluções ocorreu semanalmente. Com o intuito de evitar toxidez foi realizada a lavagem do substrato com água deionizada a cada 15 dias.

Tabela 1 - Reagentes, concentração e formulação da solução nutritiva Hoagland & Arnon (1950) modificada utilizada no cultivo de feijão-de-metro.

Concentrações das fontes na solução estoque (g L <sup>-1</sup> )	mL da solução estoque por litro	
(NH <sub>4</sub> )H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	115,00	1,5
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O	236,16	5
MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	247,47	-
KCl	74,56	4
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	87,1	2
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	80,04	-
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	256,43	2
Micro <sup>1</sup>	-	1
Fe-EDTA <sup>2</sup>	-	1

<sup>1</sup>Micronutrientes: foram utilizadas as seguintes concentrações (mg L<sup>-1</sup>): 2,86 H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>; 1,81 MnCl<sub>2</sub>.4H<sub>2</sub>O; 0,22 ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O; 0,03 CuCl<sub>2</sub>; 0,018 (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub>.4H<sub>2</sub>O, esses foram diluídos em um litro de água deionizada.

<sup>2</sup> Fe-EDTA: 33,2 g.L<sup>-1</sup> de Na<sub>2</sub>-EDTA; 100 mL de NaOH (1 M); 4 mL de HCl (1M) 24,9 g.L<sup>-1</sup> FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O.

As plantas foram tutoradas na vertical a uma altura de 2 m do solo até o final do experimento, devido ao seu hábito de crescimento trepador. Durante o período de cultivo houve a necessidade do controle químico através dos produtos Deltametrina e Abamectina para o controle de pulgão (*Aphis gossypii*) e larva minadora (*Liriomyza huidobrensis*), respectivamente.

Para caracterização das fases de crescimento foram realizadas em cada período de coleta as seguintes avaliações:

*Diâmetro do coleto (mm)*: aferido com paquímetro digital marca Digimess<sup>®</sup>.

*Número de folhas*: contagem total das folhas de cada planta.

*Número de frutos*: contagem total dos frutos maduros e imaturos.

*Área foliar (cm<sup>2</sup>)*: foi obtida de forma indireta (MARTIN, et al. 2013), com o auxílio de um scanner “HP Deskjet F4180”. Foram escaneadas todas as folhas de cada planta, juntamente com uma medida padrão de 2 cm. Em seguida, as amostras foram colocadas em sacos de papel identificados, secos em estufa de ventilação forçada na temperatura de 65°C e pesadas em balança analítica para obtenção da matéria seca. A área foliar dessas amostras foi

calculada por meio do programa de manipulação de imagens “ImageJ”. E a área foliar total da planta foi obtida através da relação:  $AF = (AFa \times (PSFt + PSFa)) / PSFa$ , onde: AF = área foliar da planta; AFa = área foliar da amostra escaneada; PSFa = peso seco da amostra de folhas escaneadas e PSFt = peso seco de folhas total (OKA, 2017).

*Matéria seca total e suas divisões (g):* Ao serem colhidas de forma destrutiva as plantas foram separadas em:

- *Raiz:* retirada a partir da base do coleto para baixo.
- *Caule:* do coleto até a extremidade superior com todos os ramos.
- *Folhas:* limbo foliar e pecíolos.
- *Reprodutivo:* inclui flores em todos os estádios de desenvolvimento e frutos imaturos e maduros.

As diferentes partes foram lavadas com água deionizada, em seguida, após a remoção do excesso de água foram acondicionadas em sacos de papel e levadas para a secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C até atingirem massa constante (MALAVOLTA et al., 1997). Com utilização de uma balança analítica foi determinada a matéria seca das diferentes partes (raiz, caule, folhas e reprodutivo) e seu total (somatório das partes).

*Variáveis fisiológicas:* a partir dos dados de matéria seca e área foliar, com auxílio do programa ANACRES (PORTES e CASTRO JÚNIOR, 1991) foi possível calcular as seguintes variáveis fisiológicas de acordo com a metodologia proposta por Benicasa (2003):

*Taxa de crescimento relativo (TCR):*

$$TCR = \frac{Ln(MS2) - Ln(MS1)}{MS} = g \ g^{-1} \ dia^{-1}$$

$Ln$  = logaritmo neperiano ou natural;  $MS$  = matéria seca total.

*Taxa de crescimento da cultura (TCC):*

$$TCC = \frac{MS_2 - M}{T_2 - T_1} = \text{g dm}^2 \text{ dia}^{-1}$$

*MS* = matéria seca total; *T* = tempo em dias.

*Razão de área foliar (RAF):*

$$RAF = \frac{AF}{MST} = \text{dm}^2 \text{ g}^{-1}$$

*Af* = área foliar; *MST* = matéria seca total.

*Taxa assimilatória líquida (TAL):*

$$TAL = TCR \times RAF = \text{g dm}^2 \text{ dia}^{-1}$$

*Razão de peso foliar (RPF):*

$$RPF = \frac{MSF}{MST}$$

*MSF* = matéria seca de folhas; *MST* = matéria seca total.

*Área foliar específica (AFE):*

$$AFE = \frac{AF}{MSF} = \text{dm}^2 \text{ g}^{-1}$$

*Af* = área foliar; *MSF* = matéria seca foliar.

*Índice de área foliar (IAF):*

$$IAF = \frac{AF}{St} = \text{dm}^2 \text{ g}^{-1}$$

*Af* = área foliar; *St* = área do terreno.

*Duração de área foliar (DAF):*

$$DAF = \frac{(Af_1 + Af_2)(T_2 - T_1)}{2} = \text{dias}$$

$Af$  = área foliar;  $T$  = tempo em dias.

*Acúmulo de nutrientes:* amostras secas de cada divisão (raiz, caule, folhas e reprodutivo) foram moídas em moinho tipo Wiley, para determinar os teores totais de N, P, K, Ca, Mg e S em  $\text{g kg}^{-1}$  e de B, Cu, Fe, Mn e Zn em  $\text{mg kg}^{-1}$  de acordo com a metodologia de Silva (2009).

Os macronutrientes acumulados foram determinados pela equação:

$$AC = (T \times MSp) = \text{mg planta}^{-1}$$

Onde:

$AC$  = macronutriente acumulado

$T$  = teor do nutriente ( $\text{g kg}^{-1}$ )

$MSp$  = matéria seca da parte analisada (g)

Os micronutrientes acumulados foram determinados pela equação:

$$AC = (T \times MSp) * 1000 = \mu\text{g planta}^{-1}$$

Onde:

$AC$  = micronutriente acumulado

$T$  = teor do nutriente ( $\text{mg kg}^{-1}$ )

$MSp$  = matéria seca da parte analisada (g)

O acúmulo total foi determinado através dos somatórios dos acúmulos em cada parte da planta.

Para a determinação da série liotrópica, os macro e micronutrientes foram convertidos em valores percentuais, através da equação:

$$\%n = (ACp \times 100) / ACt$$

Onde:

$\%n$  = porcentagem do nutriente;

$Acp$  = acúmulo do nutriente em determinada parte da planta;

$ACt$  = somatório dos acúmulos em todas as partes.

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo software SISVAR versão 5.6, considerando para o acúmulo de nutrientes a interação 8x4, sendo 8 períodos (10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 dias após a emergência) e 4 partes da planta (raiz, caule, folha e reprodutivo) com 4 repetições. Também foram consideradas como fonte de variação a interação “parte da planta x nutriente”, sendo 4x6 para macronutrientes e 4x5 para micronutrientes em valores percentuais, para determinação da série liotrópica.

Tanto para os valores de acúmulo e variáveis fisiológicas e de crescimento foram ajustados modelos de regressão. Os critérios escolhidos para definição dos modelos foram o maior coeficiente de determinação, significância dos coeficientes de regressão até 5% de probabilidade pelo teste de t e significado biológico do modelo.

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1. Descrição das fases de crescimento**

##### **Fase vegetativa**

As plântulas de feijão-de-metro começaram a emergir aos três dias após a semeadura (DAS), sendo visíveis os cotilédones e o desenvolvimento das folhas primárias. Aos dois DAE, as plântulas estavam eretas e com folhas primárias totalmente visíveis (Figura 1a). Aos cinco DAE, as folhas primárias estavam totalmente na posição horizontal (Figura 1b), sendo possível observar a formação da primeira folha trifoliada.



Figura 1 - Fases de crescimento durante o período vegetativo de plantas de feijão-de-metro: (a) emergência das plântulas, (b) plântulas emergidas com folhas primárias totalmente abertas e (c) primeira folha trifoliada totalmente aberta.

Aos 10 DAE, a primeira folha trifoliada estava completamente aberta (Figura 1c). O surgimento dos primeiros ramos dá-se por volta dos 15 DAE. A fase vegetativa foi predominante até os 30 DAE.

### Fase reprodutiva

A partir dos 31 DAE, ocorreu o aparecimento da primeira flor, considerado como período de pré-floração. Aos 35 DAE, 50% das plantas já possuíam flores (época da coleta para diagnose nutricional), este período foi considerado como de início da fase reprodutiva.

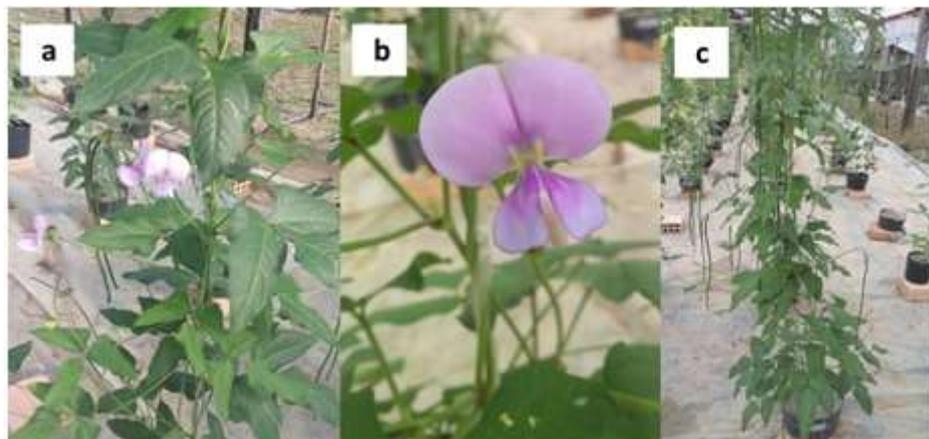


Figura 2 - Fase reprodutiva de plantas de feijão-de-metro: (a) início da floração, (b) flor da planta de feijão-de-metro na antese e (c) planta em plena produção de vagens.

O período de enchimento das vagens ocorreu entre 10 a 12 dias após a antese (DAA), (vagem para consumo), aos 15 DAA a vagem está pronta para a colheita quando o objetivo é a obtenção das sementes. A fase reprodutiva teve predominância dos 31 DAE até 60 DAE. Contudo, a colheita das vagens estendeu-se até o final do ciclo.

### **Fase de senescência**

O início da fase de senescência coincidiu com a redução da produção, após 60 DAE. Nesta fase, as plantas diminuem a emissão de flores, e o intenso amarelecimento foliar dá-se aos 70 DAE (Figura 3).

A abscisão foliar, torna-se intensa dos 75 DAE até os 80 DAE (época estipulada como fim do experimento). A fase de senescência foi considerada dos 61 DAE até 80 DAE, contudo em condições de campo o ciclo da cultura pode chegar até 120 dias (CARDOSO, 1997).



Figura 3 - Início da fase de senescência das plantas de feijão-de-metro.

### 3.2. Varáveis de crescimento e acúmulo de matéria seca

Ganhos significativos foram observados nas variáveis número de folhas, área foliar e diâmetro do coleto, durante o ciclo das plantas, ocorrendo um ajuste ao modelo de regressão gaussian. Apenas o número de frutos não obteve modelo que explicasse o seu comportamento.

O número de folhas (Figura 4a) atingiu seu ponto máximo aos 62 DAE com média de 63 folhas por planta. Na variável área foliar, ocorreu um comportamento crescente até 63 DAE (ponto máximo) com 4.220 cm<sup>2</sup> (Figura 4b).

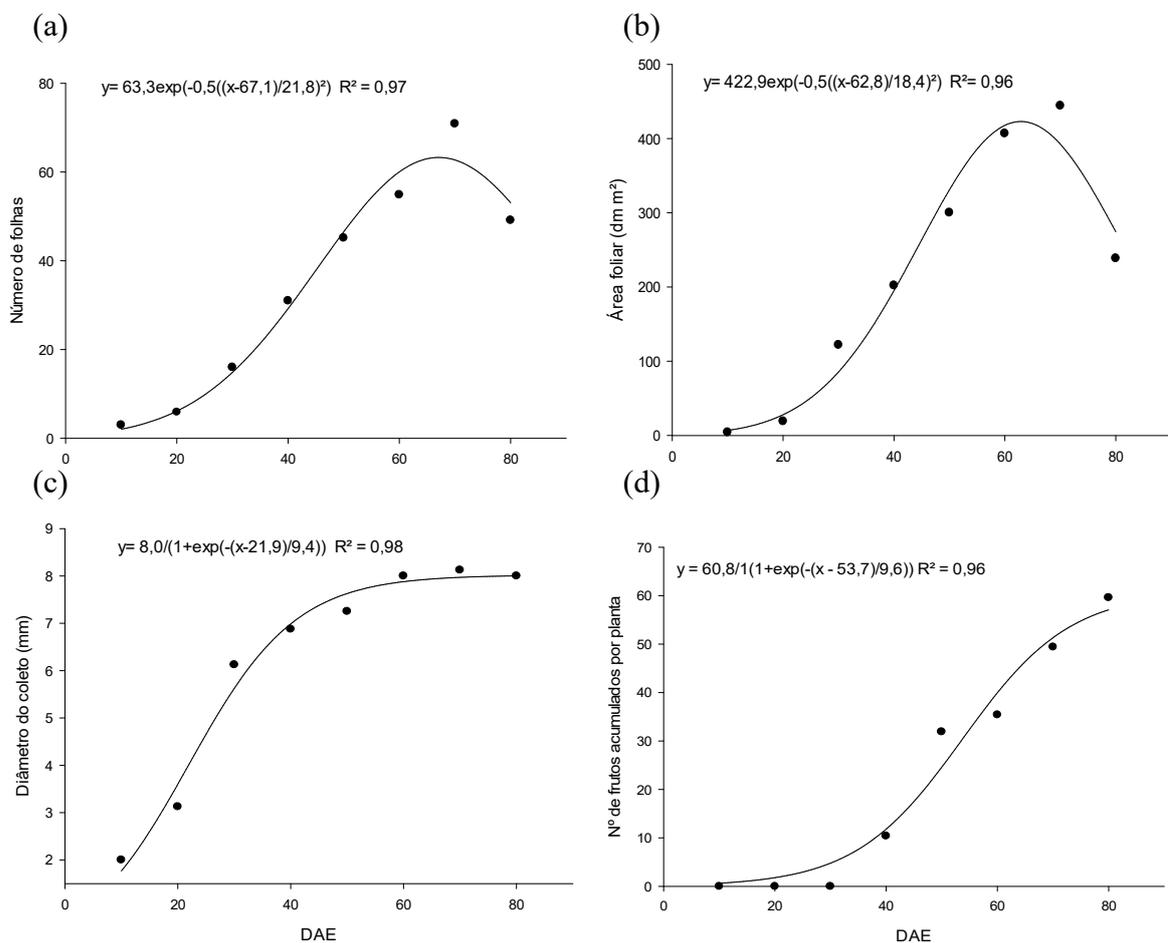


Figura 4 - Número de folhas (a), área foliar (b), número de frutos (c), diâmetro do coleto (mm) (d) e número de frutos acumulados (e) de plantas de feijão-de-metro.

A faixa de crescimento dos 20 aos 45 DAE, para estas duas variáveis, foi caracterizada por uma fase de intenso crescimento vegetativo e reprodutivo. É nesta fase, que ocorre uma

intensa atividade dos meristemas apicais primários e secundários, promovendo divisão, alongamento e diferenciação celular (MURRAY et al., 2012; TAIZ e ZEIGER, 2013).

Este comportamento é essencial para a produção das sementes, pois é nesta época que há grande necessidade da produção de fotoassimilados que serão exportados para o desenvolvimento dos grãos (SANTOS et al., 2015).

Contudo, a partir dos 44 DAE (área foliar) e aos 45 DAE (folhas), há uma diminuição dos ganhos diários, mesmo que positivos, ocorrendo acentuado decréscimo, após os 60 DAE. De fato, a redução desses dois parâmetros, coincide com o início do processo de senescência, onde aos 80 DAE obteve-se valores de área foliar com 2.380 cm<sup>2</sup> e número de folhas com 49 por planta.

O diâmetro do coleto foi crescente até os 60 DAE, observando resultado máximo de 8 mm, valor que se manteve estável até o final do experimento (Figura 4c). O número de frutos acumulados foi atingindo aos 80 DAE, com uma média de 61 frutos por planta, o ajuste para esta característica foi ao modelo sigmoidal (Figura 4d).

O acúmulo de matéria seca total foi significativo, com comportamento ajustado para o modelo sigmoidal (Figura 5). De acordo com Cairo et al. (2008), este modelo representa o crescimento clássico das plantas, pois representa o processo em três fases distintas.

Na Fase 1, da germinação até os 20 DAE, é considerada uma fase de pouco acúmulo de matéria seca, devido à pouca presença de folhas e raízes. A Fase 2, compreendeu neste experimento dos 20 DAE até 70 DAE, caracterizada por um intenso acúmulo de matéria seca, com acúmulo máximo de 167,8 g planta<sup>-1</sup>. Observa-se que esse período também coincide com o aumento da matéria seca foliar (fotossíntese), raízes (absorção de nutrientes), conseqüentemente há um maior acúmulo de compostos orgânicos formados pela incorporação de CO<sub>2</sub> (CAIRO et al., 2008).

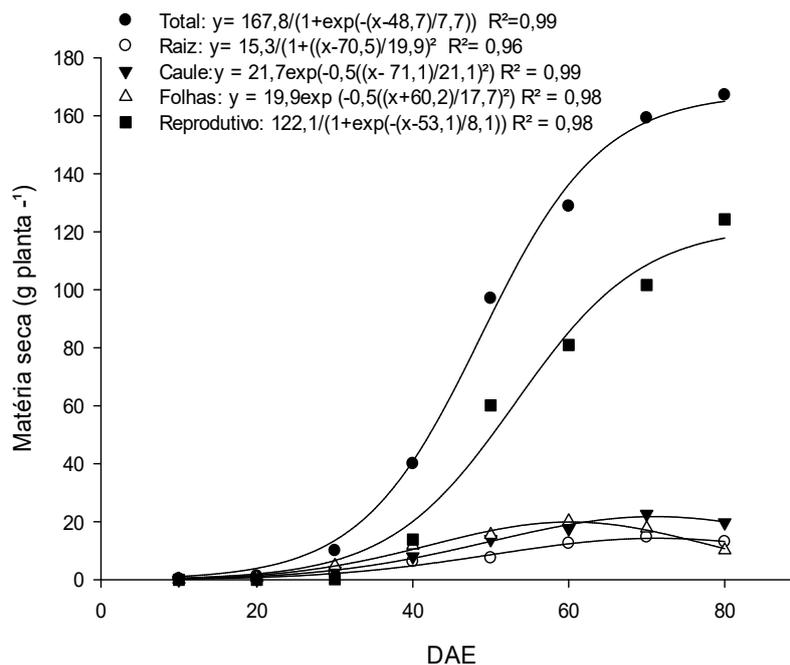


Figura 5 - ● Matéria seca total, ○ raiz, ▼ caule, △ folhas e ■ reprodutivo das plantas de feijão-de-metro.

Após os 70 DAE, nota-se uma estabilização da matéria seca total, compreendendo a terceira fase (Fase 3), pois há um equilíbrio entre a formação de tecidos (produção) e os processos de senescência (morte) e abscisão (BENICASA, 2003).

Comportamento de crescimento semelhante em relação ao ajuste da curva foi obtido Brito et al. (2007) no feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.], também ao ajuste sigmoidal, a partir da fase reprodutiva ocorreu um incremento na matéria seca total, atingindo seu ponto máximo aos 78 dias após a semeadura.

No feijão-de-metro, cultivado por Silva et al. (2012a) em diferentes manejos de irrigação, o autor obteve resultados de 120 até 260 g planta<sup>-1</sup> de acúmulo total de matéria seca da parte área aos 82 DAE. Neste experimento, a média do feijão-de-metro foi de entre de 153 g planta<sup>-1</sup>.

A matéria seca das folhas, do caule e da raiz obtiveram seu ponto de máximo de acúmulo, respectivamente, aos 60, 71 e 70 DAE. Zucarelli et al. (2010) e Santos et al. (2015)

também obtiveram resultados semelhantes na faixa de 55 até 70 DAE para essas variáveis, com o feijão-comum.

Foi observado também que para o caule e raiz, a diminuição da matéria seca ocorreu em maior intensidade no final do ciclo, em função do processo de senescência das plantas, havendo baixa remobilização de fotoassimilados durante outras fases do processo produtivo, enquanto para a folha, órgão considerado fonte, a redução da matéria seca total dá-se, principalmente em função da época reprodutiva, e se intensifica pela senescência e abscisão (SANT'ANA e SILVEIRA, 2008; ANDRADE et al., 2009; SANTOS et al., 2015).

A produção de matéria seca da parte reprodutiva iniciou-se aos 30 DAE, época onde ocorreu o aparecimento das primeiras flores, também com ajuste sigmoidal. O valor máximo obtido foi aos 80 DAE, com 122,1 g planta<sup>-1</sup>. Nota-se que há uma fase de baixa produção que ocorre entre os 30 e 40 DAE, a fase de intensa frutificação que varia dos 41 até 70 DAE, com uma redução dos ganhos dos 71 aos 80 DAE (Figura 5).

### 3.3. Variáveis fisiológicas

A taxa de crescimento relativo (TCR) demonstrada na Figura 6a, apresentou melhor ajuste para o seu comportamento no modelo exponencial, sendo observado no início da fase vegetativa os maiores valores com 0,20 g g dia<sup>-1</sup>, ocorrendo uma redução contínua conforme o desenvolvimento da planta.

Na maioria das espécies vegetais, a TCR obtém o valor mais elevado no início da sua fase vegetativa, pois há um acelerado crescimento inicial, e como esta variável expressa o incremento de matéria seca em um determinado intervalo de tempo, considerando valores preexistentes há uma tendência de diminuição deste incremento durante o ciclo da planta (BENICASA, 2003; LIMA et al., 2007).

A taxa de crescimento da cultura (TCC) obteve melhor ajuste ao modelo matemático gaussian, sendo observado um acentuado crescimento até os 47 DAE (Figura 6b), ponto máximo, com  $3,24 \text{ g dm}^2 \text{ dia}^{-1}$ , que coincide com a plena frutificação pois a planta investe mais nos frutos e menos no crescimento.

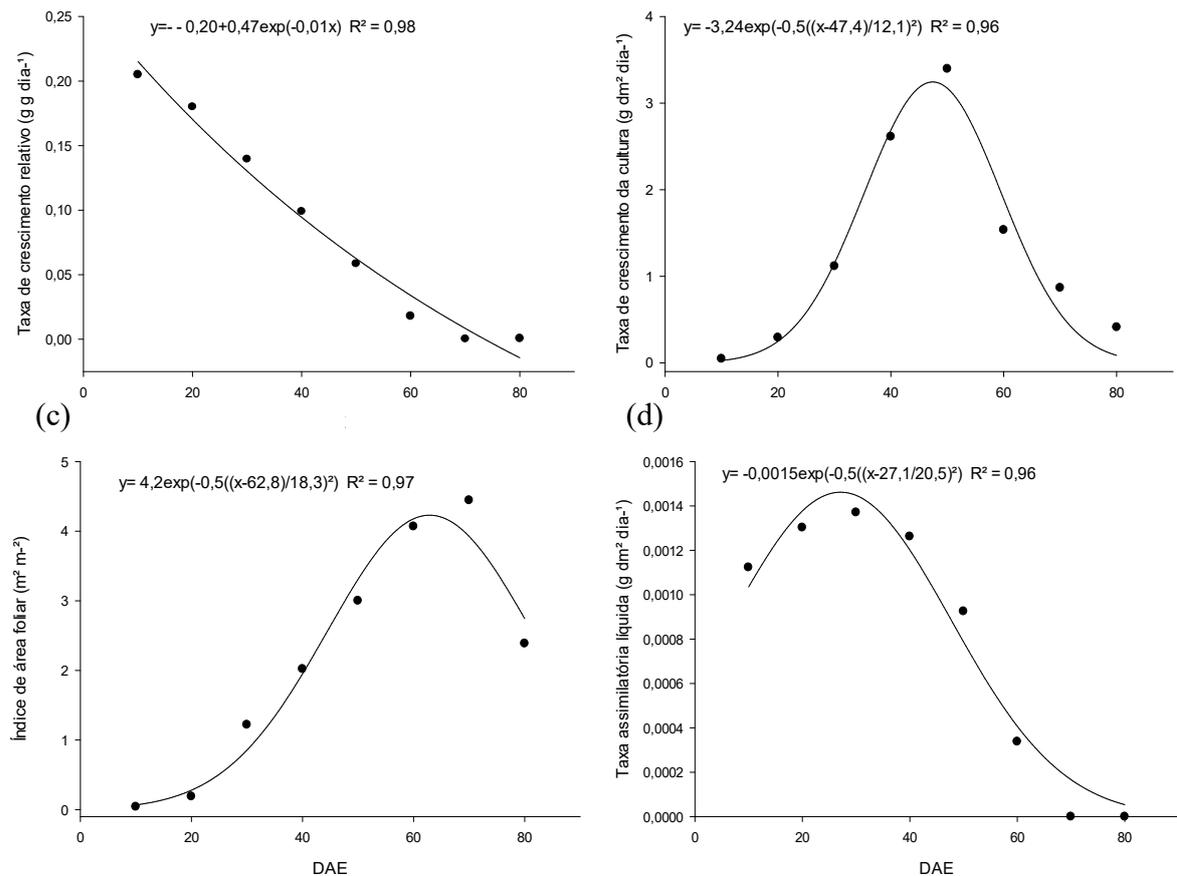


Figura 6 - Taxa de crescimento relativo (a), taxa de crescimento da cultura (b), índice de área foliar (c) e taxa assimilatória líquida (d) de plantas de feijão-de-metro.

A TCC dá uma ideia de produção de fitomassa e eficiência de incorporação de matéria seca, que é crescente na fase vegetativa, pois no início do processo de frutificação as plantas investem na formação dos frutos pela remobilização dos fotoassimilados diminuindo o incremento de matéria seca das folhas, pois haverá então uma redução contínua até o fim do ciclo da espécie, devido à paralisação do crescimento vegetativo, perda de folhas e senescência (ZUCARELLI et al., 2010).

Os valores de TCC são correlacionados com os do índice de área foliar (IAF) (Figura 6c), onde o incremento de matéria seca é maior quando o aparelho assimilatório, compreendido pelo IAF, também está no seu máximo.

Contudo, tanto TCC e IAF ao final do ciclo, onde as folhas que estão abaixo serão mais sombreadas, ocorrerá uma diminuição da eficiência desse aparelho, ou seja, a taxa fotossintética por unidade de área foliar decresce (TEIXEIRA et al., 2015).

No feijão-de-metro, o IAF também foi ajustado para o modelo gaussian, sendo crescente até a plena fase de produção, 63 DAE, com ponto máximo no valor de 4,2 (Figura 6c). Segundo Urchei et al. (2000) e Texeira et al. (2015) cultivares do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) e feijão-caupi (*Vinga unguiculata*) com hábito de crescimento indeterminado, apresentam o mesmo comportamento e atingem seu máximo IAF entre 50 e 60 DAE.

A taxa assimilatória líquida (TAL), que também se ajustou ao modelo gaussian, foi crescente até os 28 DAE com valor máximo de  $0,0015 \text{ g dm}^2 \text{ dia}^{-1}$ , ocorrendo uma redução quando iniciou a fase reprodutiva (Figura 6d).

Há uma diminuição da expansão foliar com o desenvolvimento da mesma, já que a TAL expressa o incremento de matéria seca total por unidade de área foliar, em um determinado período de tempo. A TAL é totalmente dependente de fatores ambientais como radiação solar e o sombreamento.

A área foliar específica (AFE) foi a única variável fisiológica que não obteve ajuste matemático que explicasse seu comportamento (Figura 7a). Ocorreu um padrão de redução da AFE até os 40 DAE, porém com início do processo produtivo/frutificação ocorreu um aumento da AFE até os 70 DAE, com as plantas em senescência observou-se novamente uma redução (80 DAE).

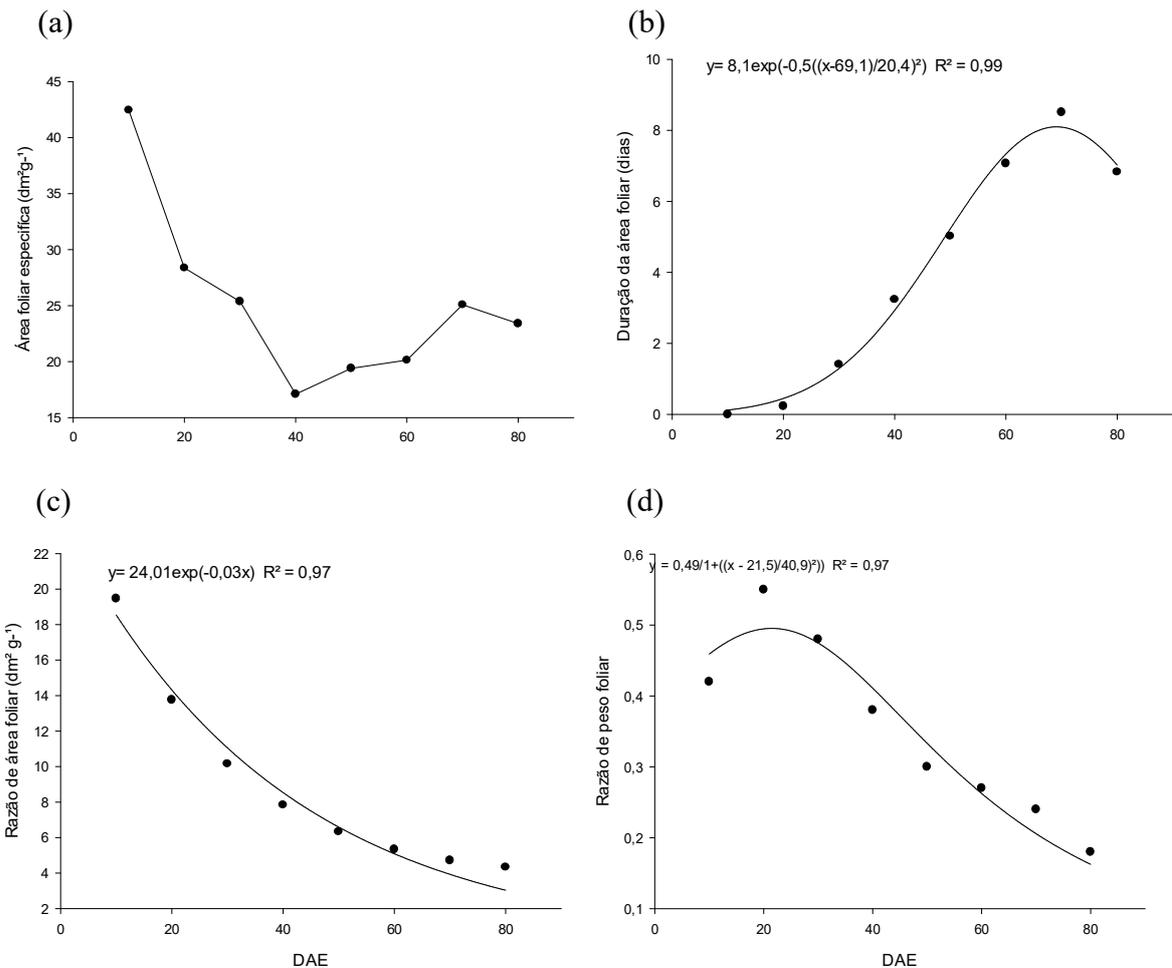


Figura 7 - Área foliar específica (a), duração de área foliar (b), razão de área foliar (c) e razão de peso foliar (d) de plantas de feijão-de-metro.

A duração da área foliar (DAF) atingiu seu ponto de máxima aos 69 DAE, com 8 dias (Figura 7b). A DAF é indicadora da persistência da superfície assimilatória de uma planta, que é mantida praticamente pelas folhas maiores, que em relação à posição, ângulo de inserção e capacidade de captação de luz solar possuem maior eficiência devido ao seu tamanho. Contudo, ao final do ciclo, ou seja, senescência e abscisão a DAF proporcionalmente diminui (PROCOPIO et al., 2003; SANT'ANA e SILVEIRA, 2008).

A razão de área foliar (RAF) seguiu o modelo exponencial, onde os maiores valores de RAF foram observados no início da fase vegetativa com  $19,5 \text{ dm}^2 \text{ g}^{-1}$  (Figura 7c), com o desenvolvimento da planta alcançando a fase reprodutiva e senescência, os valores foram reduzindo continuamente.

A razão de peso foliar (RPF) foi melhor ajustado ao modelo lorentziana, com ponto máximo aos 22 DAE, com 0,49 de RPF (Figura 7d), na fase vegetativa. Após início da frutificação ocorreu uma redução dos valores de RPF até o final do ciclo.

De acordo com Cairo et al. (2008) e Benicasa (2003), o declínio da RAF e RPF é compreensível à medida que a planta cresce, pois durante as fases de crescimento ocorre maior interferência das folhas superiores nas folhas inferiores, causando a diminuição da área fotossinteticamente útil.

### **3.4. Acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio**

A marcha de absorção de N, P e K, o ajuste de equações e a distribuição percentual dos nutrientes nas diferentes partes da planta estão representados na Figura 8. O acúmulo de N, P, K até os 20 DAE (Figura 8) foi lento, há um menor incremento de matéria seca total, devido ao sistema radicular pouco formado e a menor quantidade de folhas, promovendo uma menor taxa de crescimento, como já explicado nos tópicos anteriores.

Resultados semelhantes ocorreram no feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.), no trabalho de Pegoraro et al. (2014). Neste período, o percentual de alocação desses nutrientes foi maior na folha, com N-69%, P-57% e K-52%. Após os 20 DAE o acúmulo de N, P e K apresentou um comportamento ajustado ao modelo sigmoidal, obtendo o ponto de acúmulo máximo ao final do ciclo.

O ponto em que a taxa de acúmulo possui maior incremento está em torno dos 43 a 48 DAE, este período é denominado como ponto de inflexão, ou seja, onde a taxa de acúmulo diário começa a decrescer, mesmo quando os ganhos são positivos (ZOBIOLE et al., 2010), ocorrendo a necessidade de se realizar as adubações de cobertura antes deste período.

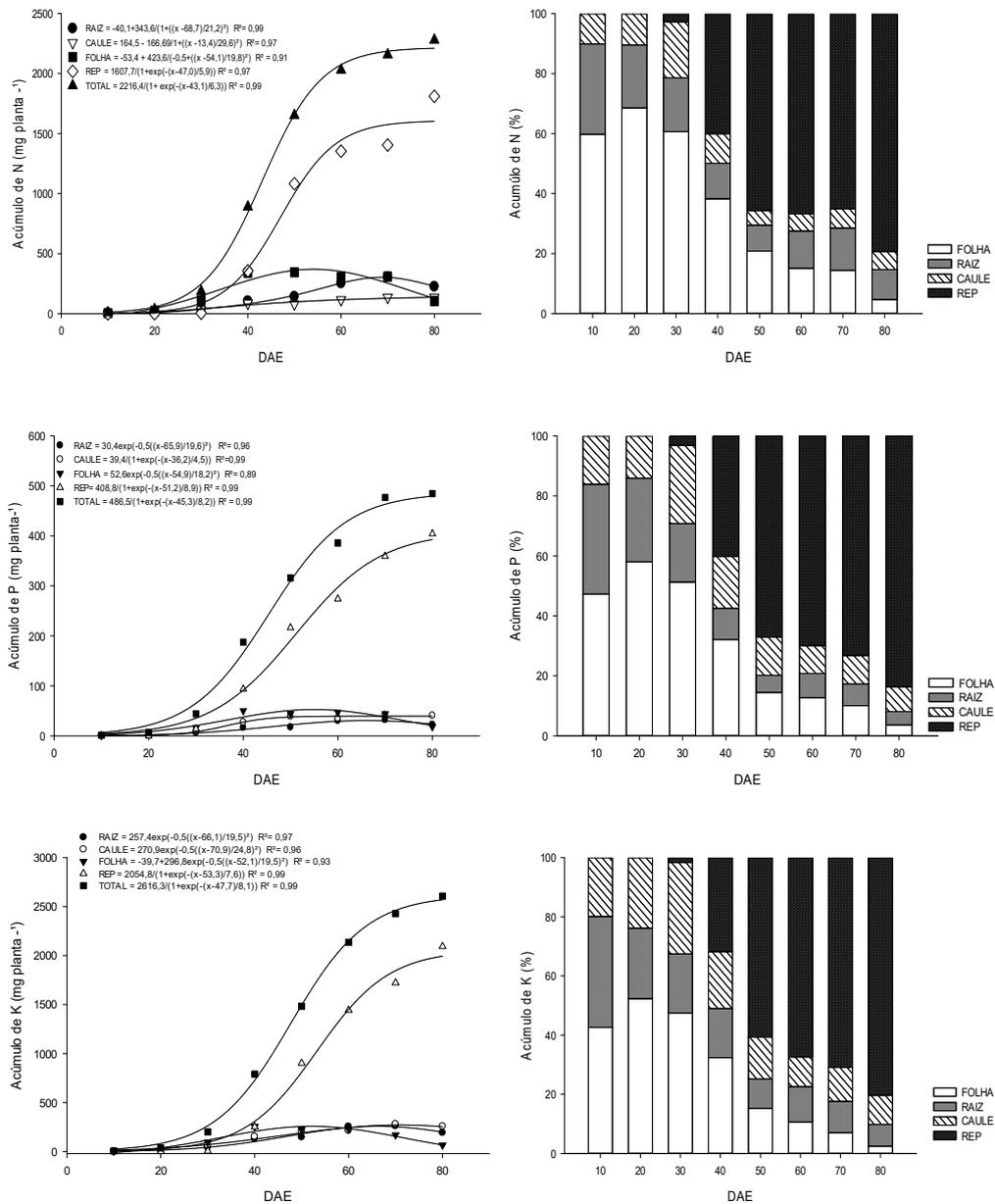


Figura 8 - Acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) e o percentual de acúmulo nas diferentes partes da planta. REP = Reprodutivo (flores, vagens e sementes).

De acordo com a equação, N e K obtiveram no ponto de máxima o acúmulo de 2216,4 e 2616,3 mg planta<sup>-1</sup> respectivamente, enquanto para P o resultado foi de 486,5 mg planta<sup>-1</sup>. Até os 40 DAE, a folha era o principal órgão de alocação de N e K.

Teixeira et al. (2010) no cultivo de feijão-de-porco (*Canavalia ensiformes*), também obtiveram ao final do ciclo o ponto de máxima, para N e K aos 60 e 58 DAE respectivamente.

Para o fósforo, aos 30 DAE a maior alocação já estava na parte reprodutiva e de acordo com Maathuis (2009), o fosforo é requerido em todas as fases de cultivo da planta, contudo uma grande parte é requerida para formação das estruturas reprodutivas e enchimento dos grãos.

Trabalhando com o feijão-caupi, Brito et al. (2009), obtiveram na parte área (folhas + caule) o acúmulo máximo de N no valor de 675 mg planta<sup>-1</sup>, para o feijão-de-metro, o acúmulo de N na parte área foi de 742 mg planta<sup>-1</sup>. Para o P e K, Fonseca et al. (2010) também na cultura do feijão-caupi, obtiveram 165 mg planta<sup>-1</sup> e 680 mg planta<sup>-1</sup> respectivamente, resultado próximo ao obtido neste experimento com 164 mg planta<sup>-1</sup> e 804 mg planta<sup>-1</sup>.

Contudo, na fase de plena produção (50 DAE), o acúmulo dos nutrientes foi maior nos órgãos reprodutivos (REP) que incluiu flores, vagens e sementes, ficando com 65%, 67% e 60% para N, P e K, respectivamente (Figura 8). Após o início da fase reprodutiva aos 30 DAE é possível observar uma redistribuição dos três nutrientes, onde o principal órgão fonte foi a folha.

O período que compreende o ponto de maior exigência da planta, também é o período que coincide com o início da frutificação, é nesta época que a partição dos fotoassimilados e nutrientes minerais, que estão armazenados nas folhas, acontece de forma mais intensa, e é onde a fase reprodutiva tem predominância sobre a fase vegetativa para formação das vagens e sementes (MARSCHNER, 1995).

Ao final do experimento (80 DAE), a parte reprodutiva por apresentar ajuste sigmoidal, obteve maior alocação com acúmulo máximo de 1607,7 mg planta<sup>-1</sup> (N), 408,8 mg planta<sup>-1</sup> (P) e 2054,8 mg planta<sup>-1</sup> (K), o que correspondeu a 79%, 83% e 80%, respectivamente. Em todos os casos, ao final do experimento a folha mostrou-se o local com menor alocação, de fato, comprovando sua ação como órgão fonte de produção e redistribuição.

### 3.5. Acúmulo de cálcio, magnésio e enxofre

As curvas de acúmulo de Ca, Mg e S e seus respectivos ajustes de equação estão apresentadas na Figura 9. No acúmulo total, todos seguiram o modelo gaussiano. Para o Ca, Mg e S o ponto de máximo acúmulo foi observado aos 69, 75 e 74 DAE, respectivamente.

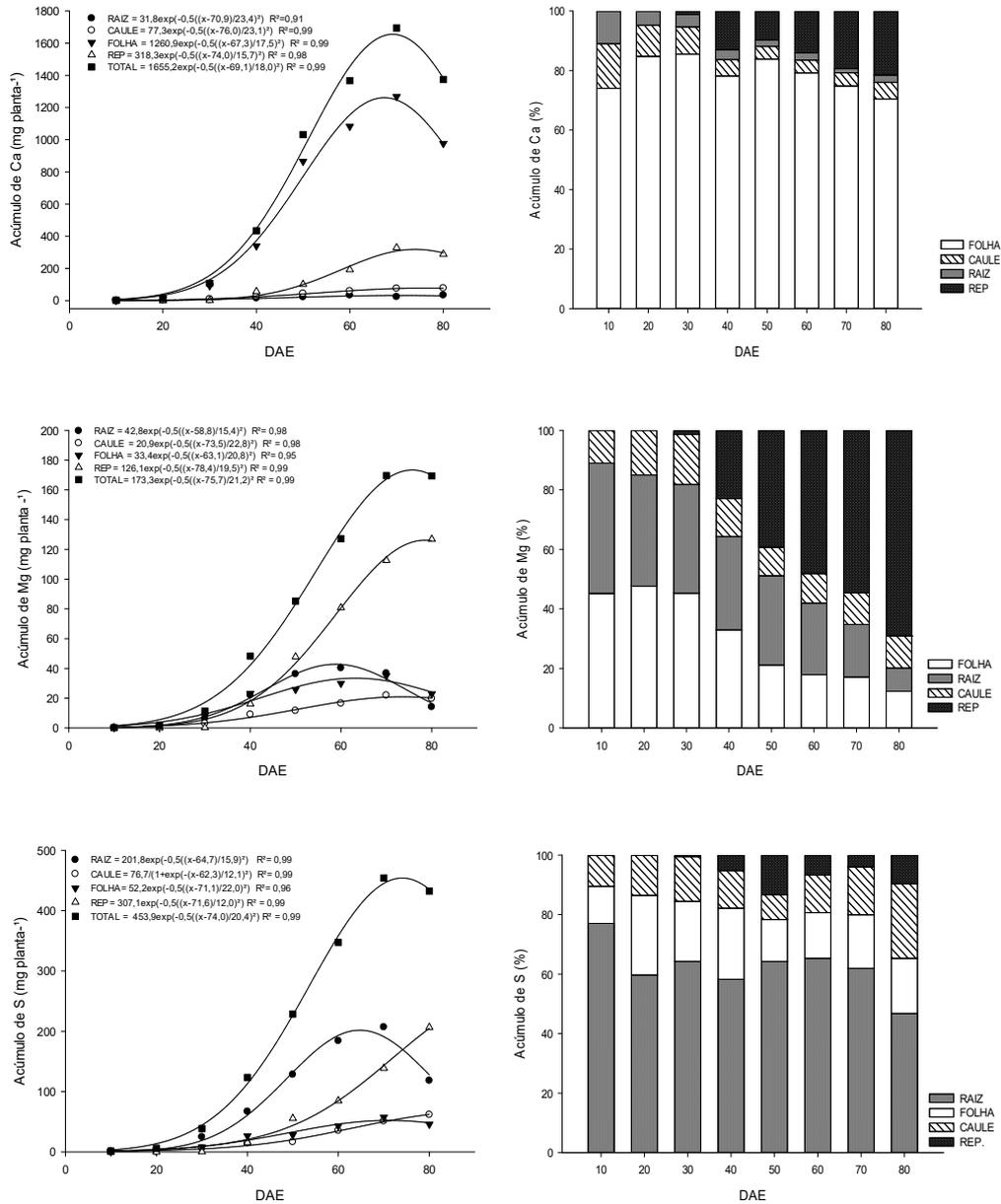


Figura 9 – Acúmulo de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) e o percentual de acúmulo nas diferentes partes da planta. REP = Reprodutivo (flores, vagens e sementes).

Assim como em N, P e K, houve um acúmulo acentuado, a partir dos 20 DAE. A quantidade acumulada no ponto de máxima foi de 1655,2, mg planta<sup>-1</sup> (Ca), 173,3 mg planta<sup>-1</sup> (Mg) e 453,9 mg planta<sup>-1</sup> (S). O ponto de inflexão, foi semelhante para os três elementos variando entre 51 e 54 DAE.

Observa-se que em todos os períodos de cultivo, a maior parte da alocação de Ca ficou nas folhas, com valores variando entre 70 a 85% nas diferentes fases. Neste órgão, o acúmulo de Ca, chegou ao ponto máximo de 1.260,9 mg planta<sup>-1</sup>, ou seja, um teor de até 26 g kg<sup>-1</sup>. Em condições de cultivo em campo, Kano et al. (2018) verificaram um teor de Ca para o feijão-de-metro em média de 20,6 g kg<sup>-1</sup>, na fase de florescimento.

Este valor foi semelhante ao de Leal e Prado (2008) com 27,1 g kg<sup>-1</sup> na época de diagnose foliar na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Contudo, estes resultados ficaram acima das sugestões de Rajj et al. (1996) com faixa de 10 – 25 g kg<sup>-1</sup> e Malavolta et al. (1989) com faixa de 20-25 g kg<sup>-1</sup> no período de florescimento.

O excesso de Ca nas folhas dá-se, primeiramente, pelo fato do mesmo participar de inúmeras funções dentro da planta, tanto estrutural e como mensageiro, sendo um componente importante da parede celular (MAATHUIS, 2009).

No citosol, o cálcio é central para a sinalização intracelular, enquanto que, no vacúolo, o acúmulo de sais de cálcio pode representar uma contribuição significativa para a homeostase osmótica (KERTON et al., 2009). O mesmo atua em muitos processos de sinalização da planta, principalmente em situações de estresse bióticos e abióticos (KUDLA et al., 2010).

Contudo, este é quase que completamente imóvel no floema, e quando depositados nas folhas pode se acumular em grandes quantidades, porém para muitas espécies o fluxo transpiracional pode garantir quantidades significativas de cálcio nas demais partes das plantas (FRICKE, 2004; KERTON et al., 2009).

Em relação ao magnésio, o percentual de acúmulo nas diferentes partes foi maior nas folhas e raízes durante o período vegetativo (Figura 9). Nesta fase, as folhas obtiveram alocação de Mg de até 47%.

Após o início da fase reprodutiva, houve uma maior remobilização do Mg para a formação das vagens, variando de 23% aos 40 DAE até 69% aos 80 DAE, nesta fase a predominância de exportação foi nas raízes, seguido das folhas, que ao final do ciclo obtiveram percentuais de 7 e 12%, respectivamente.

Diferente dos demais, o S obteve o maior percentual de alocação nas raízes, aos 10 DAE chegando até 77%, ao final do ciclo (80 DAE), ocorrendo uma redução para 47%.

### **3.6. Percentual de acúmulo de macronutrientes**

Houve interação significativa ao nível de 5% entre os percentuais de macronutrientes e as partes das plantas de feijão-de-metro (Tabela 2). O N e K foram os nutrientes que mais se acumularam nas diferentes partes das plantas, exceto nas folhas onde a predominância ao final do ciclo foi de Ca.

Na raiz, em todas as épocas avaliadas, o N e K foram os nutrientes mais acumulados. A ordem de acúmulo aos 80 DAE foi  $N > K > S > Ca = P = Mg$ . No caule, o K manteve-se superior aos demais elementos em todas as fases de cultivo e aos 80 DAE a ordem de acúmulo foi  $K > N > Ca > P > S > Mg$ , sendo observado durante toda a marcha de absorção pouca modificação nesta ordem.

Nas folhas, durante toda a fase vegetativa o acúmulo de N foi superior em relação aos demais nutrientes, sendo os valores de K muito próximos, contudo, a partir do início da fase reprodutiva, a remobilização de elementos como N, K e P, promoveu um maior acúmulo de Ca nas folhas, obtendo a seguinte ordem de extração ao final do ciclo de  $Ca > N > K > S > Mg = P$ .

Tabela 2 - Percentual de acúmulo de macronutrientes total e na raiz, caule, folhas e reprodutivo (flores + vagens + semente) extraído pelo feijão-de-metro cultivado em casa de vegetação até 80 dias após a emergência (DAE).

Nutrientes (%)		DAE							
		Fase vegetativa			Fase reprodutiva			Fase de senescência	
		10	20	30	40	50	60	70	80
Raiz	K	33,0 b	37,8 a	35,0 a	36,8 a	29,8 a	32,0 a	30,0 b	31,8 b
	N	37,0 a	31,3 b	28,8 b	29,8 b	28,8 ab	31,8 a	35,8 a	37,5 a
	S	17,5 c	16,0 c	21,5 c	18,5 c	26,0 b	23,2 b	23,5 c	19,3 c
	P	7,5 d	8,0 d	5,0 d	4,3 d	3,5 e	4,0 c	3,5 d	3,8 d
	Mg	2,5 e	2,8 f	5,8 d	6,25 d	7,5 d	5,0 c	4,3 d	2,5 d
	Ca	2,5 e	4,0 e	3,75 d	4,0 d	4,8 de	4,0 c	2,5 d	5,5 d
Caule	K	44,3 a	55,0 a	50,5 a	48,8 a	52,0 a	45,0 a	46,3 a	43,8 a
	N	31,5 b	22,8 b	27,8 b	27,5 b	20,3 b	24,5 b	22,5 b	23,0 b
	Ca	8,5 c	9 c	8,0 c	7,8 c	11,0 c	12,5 c	12,2 c	13,2 c
	P	8,5 c	6,0 d	6,8 cd	8,7 c	9,5 c	7,3 d	6,8 d	6,8 d
	S	5,5 d	5,3 d	4,8 de	4,8 d	4,3 d	7,2 d	8,5 d	10,5 c
	Mg	1,8 e	2,0 e	2,5e	3,0 d	2,8 d	3,5 e	3,7 e	3,2 e
Folha	Ca	11,8 c	18,8 c	28,0 b	32,5 a	56,5 a	62,5 a	67,3 a	79,3 a
	N	51,8 a	38,8 a	34,0 a	33,0 a	22,3 b	17,8 b	16,5 b	8,7 b
	K	26,2 b	31,5 b	29,0 b	24,5 b	14,7 c	12,7 c	9,0 c	5,0 c
	P	7,0 d	6,0 d	5,0 c	5,0 c	2,8 d	3,0 d	2,0 d	1,5 e
	S	2,0 e	3,0 e	2,3 d	2,3 d	2,0 d	2,3 d	3,0 d	4,0 c
	Mg	2,0 e	2,0 e	2,5 d	2,0 d	2,0 d	2,0 d	2,0 d	2,0 e
Reprodutivo	N	0,0 a	0,0 a	45,8 a	47,0 a	45,3 a	39,5 b	35,0 b	36,5 b
	K	0,0 a	0,0 a	29,5 b	33,0 b	37,7 b	42,3 a	42,8 a	42,5 a
	P	0,0 a	0,0 a	8,5 d	8,3 c	8,5 c	7,7 c	8,0 c	8,5 c
	Ca	0,0 a	0,0 a	12,0 c	7,2 c	4,0 d	5,8 d	8,0 c	5,8 d
	S	0,0 a	0,0 a	2,0 e	2,0 d	2,0 e	2,5 e	3,5 d	4,0 e
	Mg	0,0 a	0,0 a	2,0 e	2,0 d	2,0 e	2,2 e	3,0 d	2,5 e
Acúmulo total	N	43,6 a	34,4 b	31,8 b	33,5 a	30,4 a	25,9 b	23,6 b	22,6 c
	K	31,1 b	36,7 a	34,6 a	31,8 a	28,3 ab	27,0 b	23,2 b	25,2 b
	Ca	7,9 c	13,6 c	18,5 c	20,0 b	27,4 b	32,3 a	37,5 a	37,1 a
	P	8,0 c	6,2 c	6,7 d	5,7 c	5,6 c	7,4 c	8,7 c	8,3 d
	S	7,3 c	6,4 c	5,2 d	5,8 c	5,5 c	4,4 d	3,9 d	4,2 e
	Mg	1,9 d	2,5 d	3,0 e	3,0 e	2,7 d	2,7 d	2,8 d	2,3 e

Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Nos órgãos reprodutivos (flores, vagens e sementes), houve predominância do acúmulo de N e K, sendo inicialmente aos 30 DAE com superioridade para N e com o avanço do desenvolvimento das plantas e os processos de frutificação e formação das vagens, o K passou a ser acumulado em maiores quantidades e ao final do ciclo obteve valores superiores aos de N, obtendo-se a série K>N>P>Ca>S=Mg.

Na planta como um todo, podemos diferir a ordem de acúmulo em três fases distintas, até a fase vegetativa (30 DAE) a superioridade ficou por conta do K ( $K > N > Ca > P = S > Mg$ ), na fase reprodutiva (30-60 DAE) e ao final do ciclo (80 DAE) o nutriente mais acumulado foi o Ca, obtendo as seguintes ordens de acúmulo,  $Ca > K = N > S > P = Mg$  e  $Ca > K > N > S > P = Mg$ , respectivamente.

Levando em consideração todas as fases da planta, a ordem de extração foi  $N > K > Ca > S > P > Mg$  (Tabela 2), este resultado foi próximo ao observado por Fonseca et al. (2010) trabalhando com a cultura do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) em condições de campo, onde a ordem de extração foi de  $N > K > Ca > Mg > P$ , diferindo apenas na ordem de P e Mg e o mesmo não avaliando o acúmulo de S.

### 3.7. Acúmulo de Boro e Cobre

As curvas de acúmulo de B e Cu e seus respectivos ajustes de equação estão apresentadas na Figura 10. O acúmulo de micronutrientes foi lento até os 20 DAE, início da fase vegetativa, tendência também observada nos macronutrientes.

O boro, obteve um acelerado acúmulo dos 20 até 60 DAE (Figura 10), o ajuste se deu ao modelo gaussian, onde o ponto de máximo acúmulo total foi obtido aos 70 DAE com  $5.645,5 \mu\text{g planta}^{-1}$ , o ponto de inflexão do acúmulo total deu-se aos 51 DAE.

Na Figura 10, observa-se também que o B foi alocado em maior quantidade nas folhas na fase vegetativa, com percentuais variando de 44 a 65%, obtendo no ponto de máximo acúmulo  $1.771 \mu\text{g planta}^{-1}$ . O boro é predominantemente utilizado em órgãos de crescimento ativo, como os ápices da parte aérea e da raiz (HANSCH e MENDEL, 2009).

Na fase reprodutiva, houve um aumento da translocação de B para formação das estruturas reprodutivas. Nas folhas, caules e raízes ocorreu uma intensa redução até o fim do ciclo.

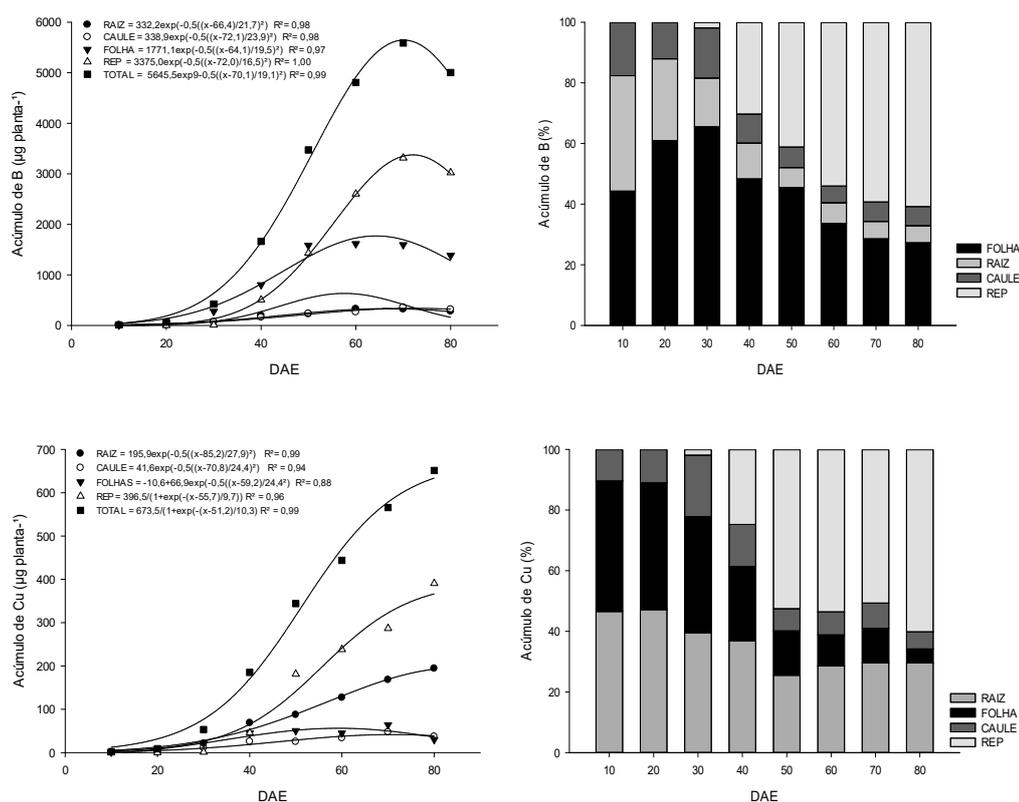


Figura 10 – Acúmulo de boro (B) e cobre (Cu) e o percentual de acúmulo nas diferentes partes da planta. REP = Reprodutivo (flores, vagens e sementes).

De acordo com Chatterjee e Bandyopadhyay (2017), as leguminosas em sua fase reprodutiva requerem uma maior quantidade de boro, o qual desempenha função vital no desenvolvimento dos órgãos reprodutivos. Observa-se, do início da fase reprodutiva até o final do ciclo, que o percentual de acúmulo de B variou de 30 até 61%, com acúmulo máximo de  $3.375,0 \mu\text{g planta}^{-1}$ .

O Cu, no acúmulo total obteve o ponto de máxima ao final do ciclo (80 DAE), pois seu ajuste foi ao modelo sigmoidal com  $673 \mu\text{g planta}^{-1}$ . Na fase vegetativa, as folhas e raízes foram responsáveis pela maior alocação de Cu, com percentuais de 43 e 46%, respectivamente, contudo o valor alocado ficou em torno de  $20 \mu\text{g planta}^{-1}$ .

Com o início da fase reprodutiva, o acúmulo nas folhas foi o que obteve maior redução até o final do ciclo com cerca de 4% do total, enquanto a raiz, mesmo com perdas, obteve em

média de 30%. Folhas e raízes obtiveram acúmulos máximos de 41,6 e 195,9  $\mu\text{g planta}^{-1}$ , respectivamente.

Em relação a redistribuição, na fase de plena frutificação (50 DAE), mais de 50% do cobre já estava alocado na parte reprodutiva, com ajuste sigmoidal, o ponto de máxima deu-se ao final do ciclo com 396,5  $\mu\text{g planta}^{-1}$ , chegando em 60% do total na planta.

### **3.8. Acúmulo de ferro, manganês e zinco**

As curvas de acúmulo de Fe, Mn e Zn e seus respectivos ajustes de equação estão apresentadas na Figura 11. O ferro foi entre os micronutrientes o elemento acumulado em maiores quantidades, em todas as fases de cultivo.

A máxima quantidade total acumulada de Fe ocorreu aos 80 DAE com 9.180  $\mu\text{g planta}^{-1}$ , pois o comportamento foi ajustado ao modelo sigmoidal (Figura 11). Observa-se na Figura 11, apenas as raízes não obtiveram ajuste matemático, devido a flutuação nas diferentes fases de cultivos, com dois pontos de excesso aos 40 e 80 DAE.

De acordo com Hansch e Mendel (2009), a concentração no tecido de Fe em que as plantas possuem um desenvolvimento satisfatório está em torno de 50 a 150  $\mu\text{g g}^{-1}$ , dependendo da espécie vegetal, para o feijão-de-metro, de acordo com o acúmulo, a concentração obtida em média foi de 152  $\mu\text{g g}^{-1}$ .

Na fase vegetativa, as raízes obtiveram o maior percentual de alocação, contudo foi observado uma alta variação de 41 até 80%, apenas na fase 30 DAE as folhas foram responsáveis pelo maior percentual de acúmulo com 42%.

Conforme Kirkby e Romheld (2007), o Fe quando incorporado nos cloroplastos tem mobilidade bastante limitada no interior das plantas, entretanto, este pode ser translocado através do floema, principalmente na fase de maior exigência, a reprodutiva.

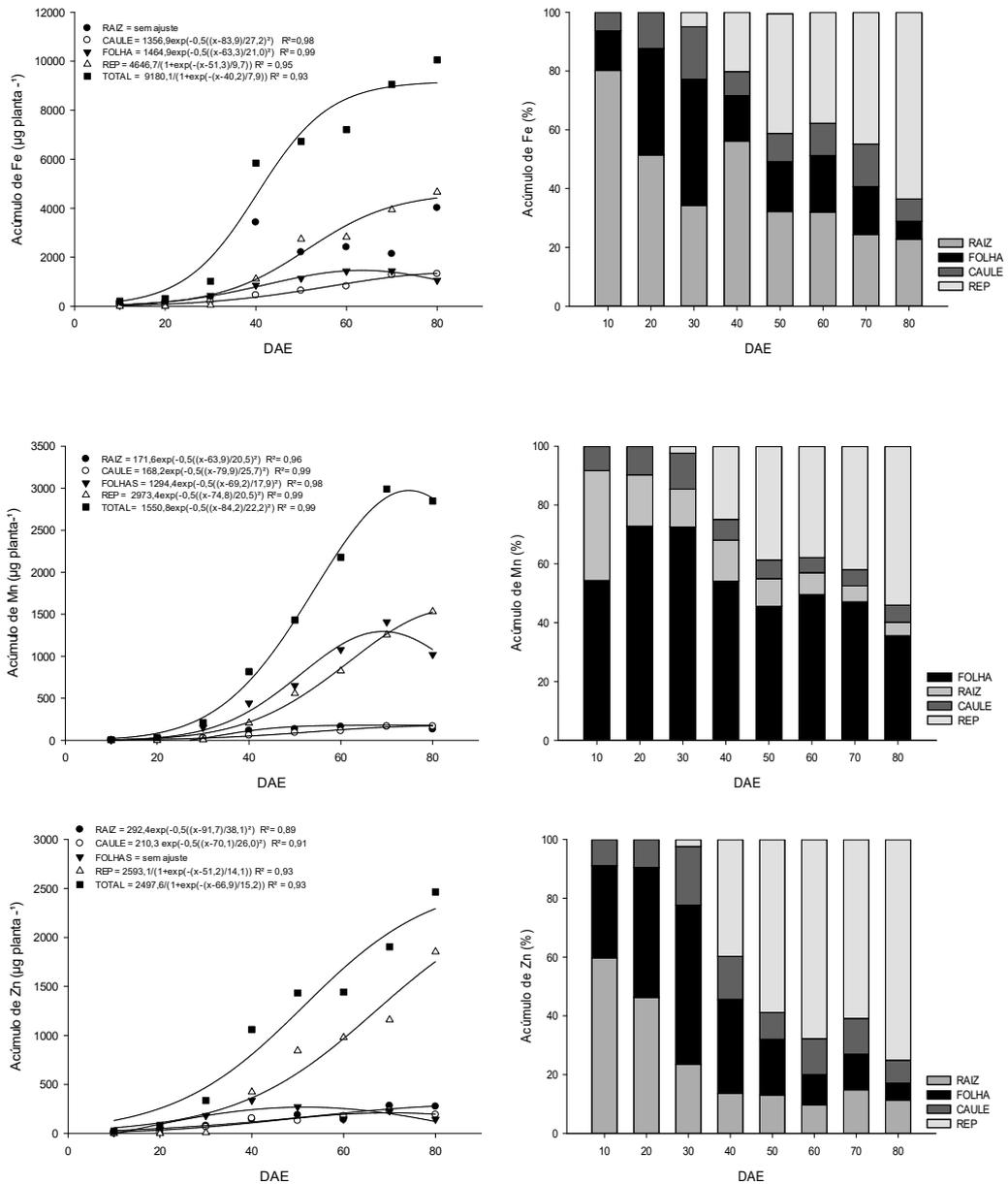


Figura 11 – Acúmulo de ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) e o percentual de acúmulo nas diferentes partes da planta. REP = Reprodutivo (flores, vagens e sementes).

Na fase reprodutiva, somente aos 50 DAE, fase de plena frutificação, houve um aumento de alocação de Fe, chegando até os 40 DAE, a partir deste ponto, o acúmulo de Fe foi maior nas partes reprodutivas chegando aos 80 DAE com 63%, ou seja,  $4.660 \mu\text{g planta}^{-1}$ .

Para o Mn, o modelo matemático melhor ajustado foi o gaussiano, os pontos de máximo acúmulo total ocorreu aos 74 DAE com  $1.550,8 \mu\text{g planta}^{-1}$ . O ponto de inflexão foi observado aos 52 DAE.

O Mn é um elemento altamente utilizado no tecido foliar vegetal, pois participa de processos essenciais na fotossíntese, como no sistema de divisão de água do fotossistema II (PSII), que fornece os elétrons necessários para a fotossíntese (MILLALEO et al., 2010).

Portanto, era de se esperar que a folha fosse o principal órgão de alocação deste nutriente, principalmente na fase vegetativa, os valores ficaram distribuídos entre 54 e 72%, com máximo de acúmulo aos 69 DAE com  $1.294 \mu\text{g planta}^{-1}$ .

Ao final da plena fase reprodutiva, o maior acúmulo deu-se nas partes reprodutivas, devido aos processos de redistribuição, com ponto de máxima aos 74 DAE, com  $2.973,4 \mu\text{g planta}^{-1}$ , contudo a folha somente foi superada pela parte reprodutiva aos 80 DAE, comprovando a importância deste elemento neste órgão.

A raiz durante o ciclo foi o órgão que obteve o maior percentual de perda, variando entre 37% aos 10 DAE até 4% aos 80 DAE, enquanto o caule, assim como na maioria dos elementos aqui estudados, obteve comportamento estável, variando de 5 a 12%.

Para o Zn, o acúmulo total obteve melhor ajuste ao modelo sigmoidal com máxima alocação ao final do ciclo com  $2.497,6 \mu\text{g planta}^{-1}$ , nota-se que a parte reprodutiva também obteve o mesmo ajuste, com acúmulo de  $1.853,1 \mu\text{g planta}^{-1}$ , o que correspondeu até 75% da alocação total.

O Zn é requerido nas plantas para funções de regulação da transcrição e tradução, a estabilidade estrutural de proteínas, regula a função das enzimas oxirredutases e hidrolíticas, além do controle de diversas atividades enzimáticas (White e Broadley, 2011). De acordo com Hansch e Mendel (2009), o acúmulo no tecido vegetal deve ficar em torno de  $15$  a  $50 \mu\text{g g}^{-1}$ , neste experimento a concentração total ficou em média com  $39,8 \mu\text{g g}^{-1}$ .

Em relação ao particionamento, ocorreu uma grande variação de alocação desse elemento, até o 20 DAE (46%) o órgão que apresentava maior percentual eram as raízes (Figura 11), a partir desta época as folhas foram os principais órgãos de alocação até os 30 DAE (54%).

Contudo, a partir dos 40 até os 80 DAE houve uma intensa translocação para as estruturas reprodutivas, sendo estes órgãos os principais responsáveis pelo maior acúmulo nesta época (39 a 75%). Ao final do ciclo as raízes e folhas, foram os órgãos com maiores perdas, chegando até 11% e 6%, respectivamente.

### 3.9. Percentual de acúmulo de micronutrientes

Houve interação significativa ao nível de 5% entre os percentuais de micronutrientes e as partes das plantas de feijão-de-metro (Tabela 3). O nutriente de maior acúmulo em todas as partes das plantas foi o Fe.

Nas raízes, a predominância de Fe variou de 64 até 88% durante o ciclo, aos 80 DAE a ordem de acúmulo obtida foi  $Fe > Zn = B = Cu = Mn$ . No caule, novamente o Fe foi acumulado em grandes quantidades em relação aos demais, com variação de percentual entre 51 a 73%, obtendo a seguinte ordem de acúmulo no final do ciclo:  $Fe > B > Zn = Mn > Cu$ .

Nas folhas, o Fe se manteve superior em toda fase vegetativa chegando até 62% na primeira fase e 40% até os 30 DAE. Contudo, com o início da fase reprodutiva, o Fe pode ter sido remobilizado para formação das vagens e sementes. A ordem de acúmulo no final do ciclo foi  $B > Fe = Mn > Zn > Cu$ .

Na parte reprodutiva, houve um maior acúmulo de Fe, principalmente ao final do ciclo, mostrando que esse Fe foi mobilizado da folha obtendo-se a seguinte ordem:  $Fe > B > Zn > Mn > Cu$ .

Na planta houve pouca variação no acúmulo dos nutrientes durante todo o ciclo de crescimento, a extração total de micronutrientes no final do ciclo foi de  $Fe > B > Mn > Zn > Cu$  (Tabela 3). Em condições de campo, Fonseca et al. (2010) também obtiveram ordem de acúmulo semelhante,  $Fe > B > Mn > Zn > Cu$  para a cultura do feijão-caupi ocorrendo alteração apenas na exigência de zinco e manganês.

Tabela 3 - Percentual de acúmulo de micronutrientes total e na raiz, caule, folhas e reprodutivo (flores + vagens + semente) extraído pelo feijão-de-metro cultivado em casa de vegetação até 80 dias após a emergência (DAE).

Nutrientes		Dias após emergência (DAE)							
		Fase vegetativa			Fase reprodutiva			Fase de senescência	
		10	20	30	40	50	60	70	80
Raiz	Fe	88,4 a	70,4 a	64,0 a	85,7 a	77,6 a	75,9 a	69,5 a	82,1 a
	Zn	7,7 b	17,4 b	14,6 b	3,9 cb	6,7 b	4,5 c	9,2 b	5,7 b
	B	2,3 c	7,8 c	12,5 b	5,4 b	7,9 b	10,4 b	10,4 b	5,7 b
	Mn	1,2 c	2,5 d	4,9 c	3,2 bc	4,7 bc	5,2 c	5,3 c	2,7 b
	Cu	0,8 c	1,9 d	3,8 c	1,9 c	3,1 c	4,0 c	5,4 c	3,9 b
Caule	Fe	72,8 a	65,0 a	51,3 a	53,1 a	56,8 a	58,2 a	61,3 a	65,0 a
	B	11,1 b	13,8 b	19,7 b	18,7 b	21,1 b	18,8 b	17,2 b	15,5 b
	Zn	12,1 b	13,9 b	18,8 b	18,3 b	11,8 c	12,6 c	11,1 c	9,4 c
	Mn	2,8 c	5,6 c	7,2 c	6,8 c	8,0 d	7,9 d	7,9 c	8,2 c
	Cu	1,2 c	1,7 d	3,0 d	3,0 d	2,3 e	2,4 e	2,2 d	1,8 d
Folhas	Fe	62,4 a	51,7 a	40,9 a	34,5 a	30,9 b	33,2 b	30,3 b	29,2 b
	B	11,2 c	18,5 b	25,9 b	32,3 b	42,8 a	37,4 a	33,7 a	37,5 a
	Mn	7,4 d	11,1 c	14,2 d	17,8 c	17,6 c	25,0 c	29,7 b	28,3 b
	Zn	17,0 b	16,92 b	17,1 c	13,6 d	7,4 d	3,4 d	4,9 c	4,1 c
	Cu	2,0 e	1,7 d	1,9 d	1,8 e	1,3 e	1,1 e	1,4 d	0,8 d
Reprodutivo	Fe	0,0 a	0,0 a	69,7 a	48,5 a	47,6 a	37,8 a	39,5 a	61,9 a
	B	0,0 a	0,0 a	10,8 b	22,1 b	24,8 b	34,8 b	33,3 b	16,9 b
	Zn	0,0 a	0,0 a	11,5 b	18,5 c	14,8 c	13,1 c	11,65 c	10,4 c
	Mn	0,0 a	0,0 a	6,6 c	8,9 d	9,6 d	11,1 d	12,6 c	8,5 d
	Cu	0,0 a	0,0 a	1,4 d	2,0 e	3,1 e	3,1 e	2,8 d	2,1 e
Acúmulo total	Fe	82,6 a	62,3 a	49,9 a	62,3 a	50,9 a	50,9 a	48,2 a	60,8 a
	B	4,5 c	12,9 c	20,7 b	17,0 b	26,1 b	26,4 b	23,9 b	18,3 b
	Zn	9,6 b	16,4 b	16,5 c	10,0 c	9,55 c	6,5 d	7,8 d	6,5 d
	Mn	2,4 c	6,5 d	10,2 d	8,6 c	10,9 c	14,6 c	17,2 c	11,8 c
	Cu	0,8 e	1,7 e	2,6 e	1,9 d	2,4 d	2,4 e	2,8 e	2,4 e

Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

#### 4. CONCLUSÕES

O crescimento das plantas de feijão-de-metro foi definido em três fases distintas: vegetativa (0 a 30 DAE), fase reprodutiva (31 a 60 DAE) e senescência (61 a 80 DAE). A equação sigmoidal é o modelo que melhor representou a curva de crescimento das plantas de feijão-de-metro.

O manejo nutricional da cultura deve ser realizado até os 45 DAE. A ordem da extração total de macronutrientes pela planta no final do ciclo foi de Ca>K>N>P>S=Mg e de micronutrientes Fe>B>Mn>Zn>Cu.

## 5. REFERÊNCIAS

- ANDRADE, C.A.B. et al. Produtividade, crescimento e partição de matéria seca em duas cultivares de feijão. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 31, n. 4, p. 683-688, 2009. <http://www.scielo.br/pdf/asagr/v31n4/a20v31n4>
- ALMEIDA, E.I.B. et al. Crescimento e marcha de absorção de macronutrientes para a cultivar de melancia Crimson Sweet. **Revista Agro@ambiente**, v. 6, n. 3, p. 205-214, 2012. <https://revista.ufr.br/agroambiente/article/viewFile/778/926>
- BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. Jaboticabal: FUNEP, 2 ed. p. 42, 2003.
- BRITO, M.M.P.; MURAOKA, T.; DA SILVA, E.C. Marcha de absorção do nitrogênio do solo do fertilizante e da fixação simbiótica em feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) e feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) determinada com uso de <sup>15</sup>N. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 896-906, 2009. <https://www.redalyc.org/html/1802/180214069014/>
- CAIRO, P. A. R.; OLIVEIRA, L. E. M de.; MESQUITA, A. C. 2008. **Análise de crescimento de plantas**. Vitória da Conquista, Edições UESB. 71p.
- CARDOSO, M. O. **Hortaliças não-convencionais da Amazônia**. Brasília: EMBRAPA, 1997. 152 p.
- CHATTERJEE, R.; BANDYOPADHYAY, S. Effect of boron, molybdenum and biofertilizers on growth and yield of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) in acid soil of eastern Himalayan region. **Journal of the the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 16, p. 332 – 336, 2017. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1658077X15000466>
- DAMASCENO, A.P.A.B. et al. Crescimento e marcha de absorção de nutrientes do melão Cantaloupe tipo “Harper” fertirrigado com doses de N e K. **Revista Caatinga**, v. 25, n. 1, p. 137-146, 2012. <https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/caatinga/article/view/2084/pdf>
- FRICKE, W. Solute sorting in grass leaves: the transpiration stream. **Planta**, v. 219, p. 507–514, 2004. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15085433>
- FERREIRA, M. M. M.; FERREIRA, G. B.; FONTES, P. C. R.; DANTAS, J. P. Qualidade do tomate em função de doses de nitrogênio e da adubação orgânica em duas estações. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 24, p. 141-145, 2006.

FONSECA, M.R. et al. Teor e acúmulo de nutrientes por plantas de feijão caupi em função do fósforo e da saturação por bases. **Revista Ciências Agrárias**, v. 53, n. 2, p. 195-205, 2010. <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/900539/teor-e-acumulo-de-nutrientes-por-plantas-de-feijao-caupi-em-funcao-do-fosforo-e-da-saturacao-por-bases>

GUIMARÃES, M.A. et al. Sistemas de tutoramento e espaçamentos de plantio na produção de feijão-de-metro. **Horticultura Brasileira**, v. 35, p. 613-620, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-053620170422>

HANSCH, R.; MENDEL, R.R. Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). **Current Opinion in Plant Biology**, v. 12, p. 259-266, 2009. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19524482>

KANO, C. et al. **Produção e nutrição do feijão-de-metro cultivado com biofertilizante**. Boletim de Pesquisa e desenvolvimento – Embrapa Amazônia Ocidental, p. 26, 2018.

KERTON, M. et al. Accumulation of calcium in the centre of leaves of coriander (*Coriandrum sativum* L.) is due to an uncoupling of water and ion transport. **Journal of Experimental Botany**, v. 60, n. 1, p. 227-235, 2009. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19008410>

KIRKBY, E. A.; ROMHELD, V. **Micronutrientes na fisiologia de plantas: funções absorção e mobilidade**. Informações Agronômicas, Piracicaba, n. 118, p. 1-24, 2007. [http://www.ipni.net/publication/iabrasil.nsf/0/8A79657EA91F52F483257AA10060FACB/\\$FILE/Encarte-118.pdf](http://www.ipni.net/publication/iabrasil.nsf/0/8A79657EA91F52F483257AA10060FACB/$FILE/Encarte-118.pdf)

KUDLA, J.; BATISTIC, O.; HASHIMOTO, K. Calcium signals: the lead currency of plant information processing. **The Plant Cell**, v. 22, p. 541 – 563, 2010. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2861448/>

LEAL, R.M.; PRADO, R.M. Desordens nutricionais no feijoeiro por deficiência de macronutrientes, boro e zinco. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 3, n. 4, p. 301-306, 2008. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=119017357001>

LIMA, J.F.; PEIXOTO, C.P.; LEDO, C.A.S. Índices fisiológicos e crescimento inicial da mamoeiro (*Carica papaya* L.) em casa de vegetação. **Ciência Agrotecnológica**, v. 31, n. 5, p. 1358-1363, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542007000500013>

MAATHUIS, F.J.M. Physiological functions of mineral macronutrientes. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 12, n. 3, p. 250-258, 2009. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369526609000284>

MAGALHÃES, A.C.N. **Análise quantitativa de crescimento**. In: FERRI, G., coord. Fisiologia Vegetal I. São Paulo. Editora da Universidade de São Paulo, p. 331 – 350, 1979.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo, p. 201, 1989.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, p. 319, 1997.

MARTIN, T.N. et al. Uso do *software* ImageJ na estimativa de área foliar para a cultura do feijão. **Interciência** v. 38, n. 12, 843-848, 2013. <https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2017/12/843-MARTIN-6.pdf>

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. San Diego: Academic Press, 2. ed. p. 889, 1995.

MILALEO, R. et al. Manganese as essential and toxic elemento for plants: transport, accumulation and resistance mechanism. **Journal Soil Science Plant Nutrition**, v. 10, n. 4, p. 476 – 494, 2010. <https://www.semanticscholar.org/paper/Manganese-as-Essential-and-Toxic-Element-for-Plants-Millaleo-Reyes-D%C3%ADaz/f4551076c5ea42ece6c227caa47f14f7dad52db0>

MURRAY, J.A.H. et al. Systems analysis of shoot apical meristema growth and development: integrating hormonal and mechanical signaling. **The Plant Cell**, v. 24, n. 10, p. 3907-3907, 2012. <http://www.plantcell.org/content/24/10/3907>

OKA, J. M. **Crescimento e acúmulo de nutrientes em pimenteira-de-cheiro (*Capsicum chinense* Jacquin) cv. Lupita, em Manaus, AM**. 113 f. 2017. Tese de Doutorado – Universidade Federal do Amazonas, 2017.

PEGORARO, R.F. et al. Partição de biomassa e absorção de nutrientes pelo feijoeiro comum. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 3, p. 41-52, 2014. <https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/caatinga/article/view/3444>

PORTES, T.A.; CASTRO Jr., L.G. Análise de crescimento de plantas: um programa computacional auxiliar. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 3, n. 1, p. 53-56, 1991. [https://www.researchgate.net/publication/257246519\\_analise\\_de\\_crescimento\\_de\\_plantas\\_um\\_programa\\_computacional\\_auxiliar\\_1](https://www.researchgate.net/publication/257246519_analise_de_crescimento_de_plantas_um_programa_computacional_auxiliar_1)

PROCÓPIO S. O.; SANTOS, J. B.; SILVA, A. A. Desenvolvimento foliar das culturas da soja e do feijão e de plantas daninhas. **Ciência Rural**, v. 33, n. 2, p. 207-211, 2003. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782003000200005>

RAIJ, B.VAN. et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônômico e Fundação IAC, p. 285, 1996.

SÃO JOSÉ, A.R. et al. Marcha de absorção de nutrientes em anonáceas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, p. 176-183, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452014000500021>

SANT'ANA, E.V.P.; SILVEIRA, P.M. Crescimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) influenciado por doses de nitrogênio em cobertura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 38, p. 134-140, 2008. <https://www.revistas.ufg.br/pat/article/view/4173>

SANTOS, L. A. et al. Crescimento, índices fisiológicos e produtividade de cultivares de feijoeiro sob diferentes níveis de adubação. **Ceres**, v. 62, n. 1, p. 107-115, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/0034-737X201562010014>

SARUTAYOPHAT, T. et al. Characterization and genetic relatedness among 37 yardlong bean and cowpea accessions based on morphological characters and RAPD analysis. **Journal**

**Science Technology**, v. 29, n. 3, p. 591-600, 2007. <http://rdo.psu.ac.th/sjstweb/journal/29-3/0125-3395-29-3-0591-0600.pdf>

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2 ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 627, 2009.

SILVA, W.G. et al. Manejo de irrigação para o feijão-de-metro, nas fases vegetativa e produtiva, em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.9, p. 978-984, 2012a. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662012000900008>

SILVA, R.R. et al. Análise de crescimento em feijoeiro cultivado sob diferentes densidade de sementeira. **Scientia Agraria**, v. 13, n. 2, p. 41-51, 2012b. [https://www.researchgate.net/publication/307711678\\_analise\\_de\\_crescimento\\_em\\_feijoeiro\\_cultivado\\_sob\\_diferentes\\_densidades\\_de\\_semeadura](https://www.researchgate.net/publication/307711678_analise_de_crescimento_em_feijoeiro_cultivado_sob_diferentes_densidades_de_semeadura)

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artimed, p. 954, 2013.

TEIXEIRA, C.M. et al. Liberação de macronutrientes das palhadas de milho solteiro e consorciado com feijão-de-porco sob cultivo de feijão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 497-505, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000200023>

TEIXEIRA, G.C.S.; STONE, L.F.; HEINEMANN, A.B. Eficiência do uso da radiação solar e índices morfofisiológicos em cultivares de feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 1, p. 9-17, 2015. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=253038430009>

URCHEI, M.A.; RODRIGUES, J.D.; STONE, L.F. Análise de crescimento de duas cultivares de feijoeiro sob irrigação, em plantio direto e preparo convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 3, p. 497-506, 2000. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2000000300004>

WHITE, P.J.; BROADLEY, M. R. Physiological limits to zinc biofortification of edible crops. **Frontiers in Plant Science**, v. 2, n. 80, p. 1- 11, 2011. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22645552>

VON PINHO, R. G.; BORGES, I. D.; PEREIRA, J. L. A. R.; DOS REIS, M. C. Marcha de absorção de macronutrientes e acúmulo de matéria seca em milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 8, n. 2, p. 157-173, 2009. <http://dx.doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v8n2p157-173>

ZOBIOLE, L.H.S. et al. Marcha de absorção de macronutrientes na cultura do girassol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 425-433, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000200016>

ZUCARELI, C. et al. Índices biométricos e fisiológicos em feijoeiro sob diferentes doses de adubação fosfatada. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, p. 1313-1324, 2010. <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/6023>