



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA

---

LUIZ HENRIQUE CAMPOS DE ALMEIDA

**DESEMPENHO MORFOFISIOLÓGICO, FITOTÉCNICO E  
NUTRICIONAL DE FEIJÃO VAGEM SUBMETIDO A DOSES  
DE NITROGÊNIO E SUA INFLUÊNCIA NA FBN**

LUIZ HENRIQUE CAMPOS DE ALMEIDA

**DESEMPENHO MORFOFISIOLÓGICO, FITOTÉCNICO E  
NUTRICIONAL DE FEIJÃO VAGEM SUBMETIDO A DOSES  
DE NITROGÊNIO E SUA INFLUÊNCIA NA FBN**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito para a obtenção do título de doutor em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Jose Roberto Pinto de Souza.

Coorientador: Prof. Dr. Eli Carlos de Oliveira

Londrina  
2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

A447de Almeida, Luiz Henrique Campos de.  
Desempenho morfofisiológico, fitotécnico e nutricional de feijão vagem submetido a doses de nitrogênio e sua influência na FBN / Luiz Henrique Campos de Almeida. - Londrina, 2018.  
128 f. : il.

Orientador: José Roberto Pinto de Souza.  
Coorientador: Eli Carlos de Oliveira.  
Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2018.  
Inclui bibliografia.

1. Feijão - Nutrição - Tese. 2. Vagem - Tese. 3. Nitrogênio - Fixação - Tese. I. Souza, José Roberto Pinto de . II. Oliveira, Eli Carlos de . III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDU 63

LUIZ HENRIQUE CAMPOS DE ALMEIDA

**DESEMPENHO MORFOFISIOLÓGICO, FITOTÉCNICO E  
NUTRICIONAL DE FEIJÃO VAGEM SUBMETIDO A DOSES  
DE NITROGÊNIO E SUA INFLUÊNCIA NA FBN**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito para a obtenção do título de doutor em Agronomia.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Orientador: Prof. Dr. José Roberto Pinto de  
Souza  
Universidade Estadual de Londrina – UEL

---

Coorientador: Prof. Dr. Eli Carlos de Oliveira  
Universidade Estadual de Londrina – UEL

---

Prof. Dr. Hirohide Sumida  
Universidade Estadual de Londrina – UEL

---

Prof. Dr. Edison Miglioranza  
Universidade Estadual de Londrina – UEL

---

Prof. Dr. Giovanni de Oliveira Arieira  
Universidade Federal do Mato Grosso -  
UFMT

---

Prof. Dr. Hideaki Wilson Takahashi  
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Londrina, 02 de outubro de 2018

Dedico este trabalho à minha mãe,  
Cidinéia Oliveira Campos de Almeida,  
que tanto batalhou pela minha boa  
formação e educação.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à minha amada Paula Pinheiro Sanches, por todo apoio e motivação para a realização deste trabalho.

Aos meus pais, por me inspirarem e darem todo o suporte necessário em minha vida acadêmica.

Ao meu primo/irmão, Plácido pelos bons conselhos e por sempre me ouvir e incentivar.

Ao meu irmão, Felipe por todo apoio nesta caminhada

Ao meu orientador na University of Wisconsin, Matt Ruak, por me receber em seu laboratório e não poupar esforços para a conclusão deste trabalho.

À Universidade de Wisconsin - Madison, por me receber, dar todo suporte e proporcionar a realização deste trabalho.

À toda equipe do laboratório de solos da Universidade de Wisconsin – Madison, pela ajuda na realização deste trabalho e acolhimento, em especial a Jaimie West, por ser figura importante na minha inclusão e adaptação à UW-Madison.

Ao meu coorientador Eli Carlos de Oliveira, por toda a amizade nesta caminhada que não teria sido possível sem seu suporte.

Aos Professores Hideaki Wilson Takahashi e Gustavo Fregonezi por todo apoio, orientação e amizade todos esses anos.

Agradeço também ao Prof. Dr. Claudemir Zucareli, por sempre ter acreditado em mim, me dado inúmeras oportunidades e me inspirar.

À comissão de seleção da bolsa de doutorado sanduíche, pela idoneidade e adesão rígida aos critérios pré estabelecidos.

À CAPES, pela concessão das bolsas, tanto de doutorado, como de doutorado sanduíche.

Gostaria de agradecer também aos meus amigos que deram grande apoio na realização de inúmeros trabalhos durante este período.

**“Stay hungry, stay foolish”**

Steve Jobs

ALMEIDA, Luiz Henrique Campos. **DESEMPENHO MORFOFISIOLÓGICO, FITOTÉCNICO E NUTRICIONAL DE FEIJÃO VAGEM SUBMETIDO A DOSES DE NITROGÊNIO E SUA INFLUÊNCIA NA FBN**. 2018. 130 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2018.

## RESUMO

O feijão-vagem é uma leguminosa e algumas cultivares têm a capacidade de realizar fixação biológica do nitrogênio (FBN) da atmosfera. Resultando em diferentes curvas de resposta a este nutriente e talvez diferentes recomendações de fertilização. Pouco se sabe sobre as compensações entre aplicação de N e nodulação em feijão-vagem, as taxas de remoção de outros macronutrientes (P, K, S, Ca, Mg) e micronutrientes (B, Zn, Mn, Cu) e a produtividade. O conhecimento sobre a morfologia estomática, incluindo tamanho, frequência e distribuição nas folhas e vagens, resposta a variações do ambiente e ao nitrogênio, além de variação entre as cultivares é desconhecido. O objetivo deste projeto foi desenvolver recomendações de N para feijão-vagem nodulíferos e não nodulíferos, submetidos a doses de N. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro repetições, sendo o fator de parcelas subdivididas a taxa de N (20, 50, 80, 110, 140 e 170 lb-N ac<sup>-1</sup>) ou (22,4; 56,0; 89,6; 123,2; 156,9 e 190,4 Kg-N ha<sup>-1</sup>). As parcelas foram colhidas mecanicamente e determinados a produtividade e o teor total de N, P, K, S, Ca, Mg, B, Zn, Mn, Cu. Também foi determinada a concentração de <sup>15</sup>N e utilizado para quantificar o equilíbrio entre aplicação e a fixação de N, além quantificar os estômatos de folhas e vagens. Os resultados do estudo foram submetidos à análise de regressão polinomial até segundo grau e teste Tukey para comparar as épocas de semeadura (p (≤0,05)). O aumento das doses de N incrementou a produtividade e os teores de N no tecido vegetal. Em contraponto, inibiu a FBN e também resultou em excesso de fertilizante não utilizado, lixiviado para o lençol freático. O aumento das doses de N influenciou de maneira quadrática o número de estômatos na face abaxial das folhas e nas vagens. Não houve influência na face adaxial das folhas. Também houve diferença entre as épocas de semeadura e híbridos.

**Palavras-chave:** Doses de nitrogênio; Macro nutrientes; Ureia; Nodulação; N<sub>15</sub>; Fixação biológica de Nitrogênio.

ALMEIDA, Luiz Henrique Campos. **Nutritional composition and density stomatic in leaves and fruits of coffee**. 2018. 130 p. Thesis (Postgraduate degree in Agronomy Program) - State University of Londrina, Londrina, 2018.

### ABSTRACT

Snap bean is a legume and some cultivars have the ability to perform biological nitrogen fixation (BNF) of the atmosphere. Resulting in different response curves to this nutrient and perhaps different fertilization recommendations. Little is known about the compensations between N application and nodulation in snap bean, the removal rates of other macronutrients (P, K, S, Ca, Mg) and micronutrients (B, Zn, Mn, Cu) and productivity. Knowledge about stomatal morphology, including size, frequency and distribution in leaves and pods, response to variations of the environment and nitrogen, and among cultivars is unknown. The objective of this project was to develop N recommendations for noduliferous and non-noduliferous snap beans, submitted to N doses. The experimental design was a randomized complete block with four replications, with the N fractions of (20, 50, 80, 110, 140 and 170 lb-N ac<sup>-1</sup>) or (22,4; 56,0; 89,6; 123,2; 156,9 and 190,4 Kg-N ha<sup>-1</sup>) The plots were mechanically harvested and determined the productivity and the total content of N, P, K, S, Ca, Mg, B, Zn, Mn, Cu. It was also determined the concentration of <sup>15</sup>N and used to quantify the balance between application and N fixation, besides quantifying the stomata of leaves and pods. The results of the study were submitted to polynomial regression analysis and Tukey test to compare sowing times (p (≤0.05)). Increasing N doses increased productivity and N levels in plant tissue. In contrast, it inhibited BNF and also resulted in an excess of unused fertilizer leached into the water table. The N doses increased in a quadratic manner the number of stomata on the abaxial side of the leaves and in the pods. There were also differences among sowing times and hybrids.

**Keywords:** Nitrogen doses; Macro nutrients; Urea; Nodulation; N<sup>15</sup>; Biological fixation of nitrogen.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>09</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>11</b>
2.1	FEIJÃO VAGEM.....	11
2.1.1	Origem E Domesticação .....	13
2.2	PRODUÇÃO E IMPORTÂNCIA NO BRASIL .....	15
2.3	PRODUÇÃO E IMPORTÂNCIA NOS E.U.A .....	15
2.4	MERCADO DE FEIJÃO VAGEM NOS E.U.A .....	17
2.5	ASPECTOS FISIOLÓGICOS DO FEIJÃO.....	18
2.5.1	Exigências Climáticas.....	18
2.6	Fixação.Biológica de.Nitrogênio (F.B.N.) .....	22
2.6.1	<i>B. Rhizobium</i> .....	25
2.7	ABUNDÂNCIA NATURAL DE 15N.....	26
2.8	ASPECTOS NUTRICIONAIS DO FEIJÃO VAGEM .....	28
2.9	ESTÔMATOS .....	38
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>41</b>
<b>3</b>	<b>ARTIGO A: INFLUÊNCIA DE DOSES DE NITROGÊNIO NA PRODUTIVIDADE DE FEIJÃO VAGEM NÃO NODULÍFERO</b> .....	<b>53</b>
3.1	RESUMO.....	53
3.2	ABSTRACT .....	54
3.3	INTRODUÇÃO .....	55
3.4	MATERIAL E MÉTODOS .....	56
3.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	62
3.6	CONCLUSÕES .....	71
3.7	REFERENCIAS .....	72
<b>4</b>	<b>ARTIGO B: OTIMIZAÇÃO DAS APLICAÇÕES DE FERTILIZANTES NITROGENADOS NA PRODUÇÃO DE FEIJÃO-VAGEM E SUA INFLUÊNCIA NA FBN</b> .....	<b>76</b>
4.1	RESUMO.....	76

4.2	ABSTRACT .....	77
4.3	INTRODUÇÃO .....	78
4.4	MATERIAL E MÉTODOS .....	80
4.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	85
4.6	CONCLUSÕES .....	106
4.7	REFERENCIAS .....	107
<b>5</b>	<b>ARTIGO C: DENSIDADE E DISTRIBUIÇÃO ESTOMÁTICA EM FOLHAS E VAGENS DE FEIJÃO VAGEM SUBMETIDO A DOSES DE NITROGENIO E FBN .....</b>	<b>111</b>
5.1	RESUMO.....	111
5.2	ABSTRACT .....	112
5.3	INTRODUÇÃO .....	113
5.4	MATERIAL E MÉTODOS .....	114
5.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	117
5.6	CONCLUSÕES.....	124
5.7	REFERENCIAS.....	125

## 1 INTRODUÇÃO

O feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) pertencente à mesma família e espécie botânica do feijão comum, diferindo por serem consumida as vagens imaturas. Apesar de não ser rica em proteínas e calorias como os grãos secos, constitui importante alimento, pela sua composição nutricional, porque apresenta elevados teores de minerais, vitaminas, carboidratos e fibras (FILGUEIRA, 2000; BROUGHTON et al., 2003).

O nitrogênio (N) é o nutriente requerido em maior quantidade pela cultura do feijoeiro, devido ao seu ciclo curto e aos altos teores exportados pelos grãos, sendo essencial para produção de ácidos nucleicos e de proteínas, principais constituintes de seus grãos e moléculas, fundamentais para todos os processos biológicos da planta. Sabe-se que o incremento deste nutriente pode acarretar diversas mudanças fisiológicas e morfológicas na planta, como aumento de internódios, da área foliar, da taxa de clorofila e conseqüentemente da eficiência fotossintética, dentre outros (SANTOS; SILVA, 2002).

Vários trabalhos têm mostrado que o feijoeiro responde a aplicação de doses elevadas de nitrogênio (BARBOSA FILHO; SILVA, 2000; STONE; MOREIRA, 2001; BARBOSA FILHO et al., 2005; KIKUTI et al., 2005; MEIRA et al., 2005), sendo essas maiores que as atuais recomendações, entretanto, há necessidade de estudos com relação a sua viabilidade econômica.

A ureia e o sulfato de amônio são duas fontes que apresentam baixa eficiência de utilização pelas culturas, raramente superior a 50 %, porém são as mais utilizadas na agricultura, por serem de menor custo e de maior disponibilidade no mercado. Enquanto outras fontes de N não estiverem disponíveis no mercado em condições competitivas, a estratégia para maximizar a eficiência de uso ainda deverá ser por meio do aperfeiçoamento de seu próprio manejo (BARBOSA FILHO; SILVA, 2001).

Os fertilizantes nitrogenados estão entre os mais utilizados e são os que causam maior impacto ambiental. O N é o elemento mais dinâmico no sistema solo-planta, e perdas de 50% da dosagem aplicada podem ocorrer pelos processos de lixiviação, volatilização e desnitrificação, provocando a poluição dos recursos hídricos e a liberação de óxido nitroso na atmosfera, um dos principais gases do efeito

estufa. Além disto, a produção dos adubos nitrogenados também demanda alto consumo de combustíveis fósseis. A introdução do N<sub>2</sub> atmosférico via fixação biológica de nitrogênio, no circuito dos ciclos biogeoquímicos, tem resultados positivos no ambiente e na economia (STACEY et al., 1992; STEVENSON; COLE, 1999).

O feijoeiro é capaz de aproveitar o nitrogênio (N) atmosférico através da simbiose com bactérias do grupo dos rizóbios, mas problemas intrínsecos da cultura tornam esta simbiose pouco eficiente, não sendo capaz de suprir toda a demanda de N. O N em excesso pode inibir o processo de fixação biológica (FBN), porém a aplicação de doses suplementares pode estimular a FBN, sendo necessários estudos para identificar qual a época e a dosagem ideal de aplicação.

Para quantificar a nitrogênio proveniente da FBN a técnica de abundância natural no <sup>15</sup>N disponível do solo é uma boa alternativa, devido ao menor custo e a possibilidade de aplicação imediata em sistemas naturais ou agrícolas (BODDEY et al., 2000).

Contudo, ainda são necessários estudos a fim de estabelecer a melhor dosagem e a melhor época de aplicação do nutriente, que permitam um bom crescimento da cultura sem prejudicar o estabelecimento da nodulação e o funcionamento da simbiose.

Diante dos argumentos apresentados a hipótese deste trabalho é que teores elevados de N podem limitar o processo de nodulação e de fixação biológica de nitrogênio, havendo desperdício de N aplicado via fertilizante, além de causar modificações morfológicas, filotécnicas e nutricionais nas plantas.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 FEIJÃO VAGEM

As espécies do gênero *Phaseolus* são amplamente distribuídas pelo mundo, cultivadas em regiões tropicais e subtropicais, mas também crescem em zonas temperadas (MUÑOZ; GIRALDO; SOTO, 1993). O gênero pertence à subtribo *Phaseolinae*, tribo *Phaseoleae*, subfamília *Papilionoideae* e família *Leguminosae* e é composto por 55 espécies (DEBOUCK, 1991). Dentre estas, cinco foram domesticadas: *P. vulgaris*, *P. lunatus*, *P. coccineus*, *P. acutifolius*, *P. polyanthus* (DEBOUCK, 1986).

O feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) pertence à família das leguminosas, sendo a mesma espécie botânica do feijão destinado a grãos secos. A característica principal que distingue o feijão vagem dos demais feijões, é que sua vagem constitui a parte comestível. Uma boa cultivar desta hortaliça deve ser vigorosa e produtiva; apresentar razoável resistência às doenças e pragas; produzir vagens de cor verde-clara, com forma e dimensões que satisfaçam às exigências do mercado; possuir sabor agradável e ser desprovida, ao máximo, de fios ou fibras, constituindo-se uma boa fonte de proteína para a nutrição humana (CASTELLANE; VIEIRA; CARVALHO, 1988; BLANCO; CROPPO; TESSARIOLI NETO, 1997; HAESBAERT et al., 2011).

Esta espécie é uma fabácea anual diplóide, de caule herbáceo e haste angulosa com pêlos simples, de onde são emitidos ramos laterais, sendo as raízes superficiais, pivotantes, com capacidade de fixar o nitrogênio pela nodulação decorrente da simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium* (VIEIRA; BORÉM; RAMALHO, 1999).

As folhas são compostas de três folíolos grandes, sendo dois laterais e um no centro, suas flores são heteroclamídeas, zigomorfas e pentâmeras (SILBERNAGEL, 1996; VIEIRA, 1988; ZIMMERMANN; TEIXEIRA, 1996). Em função da sua morfologia, as flores são hermafroditas e autoférteis, pois o estigma e as anteras se encontram protegidos pelas pétalas, e a polinização ocorre no momento da abertura da flor (KUROSAWA, 2007). Desta forma, o feijão-vagem tem predominância de autogamia, com taxa de fecundação cruzada que varia de 0 a 9%.

Os frutos são vagens que apresentam polpa espessa e formato afilado, dentro das quais se desenvolvem as sementes (FILGUEIRA, 2003).

O tipo de estrutura presente na porção terminal das hastes proporciona dois hábitos de crescimento, sendo estes, determinado e indeterminado, formando no primeiro caso a inflorescência e, no segundo, o meristema vegetativo nos ápices (SANTOS; GAVILANES, 2006).

Cultivares de hábito de crescimento determinado apresentam ciclo mais curto, com um florescimento uniforme, concentrando a época de colheita e facilitando o cultivo em relação aos genótipos indeterminados, sendo um excelente atrativo ao produtor (MOREIRA et al., 2009).

Quanto ao crescimento, as cultivares são classificadas em Ia, Ib, IIa, IIb, IIIa, IIIb, IVa e IVb. O tipo I inclui as de hábito de crescimento determinado ou arbustivo, que possuem menos e mais curtos internódios dentre todos os tipos (Ia). Aquelas com maior número e internódios mais longos tendem a acamar (Ib). Plantas do tipo I possuem baixa tolerância à falta de água, baixa capacidade de compensação e concentram suas vagens no terço médio do caule (DOURADO NETO; FANCELLI, 2000).

Genótipos arbustivos e eretos estão incluídos no tipo IIa, enquanto IIb, corresponde às semitrepadoras. Cultivares do tipo II possuem mais de doze nós na haste principal, maior número de hastes laterais, média tolerância à falta de água e boa compensação de vagens, que se concentram nos terços médio e inferior da planta. As do tipo IIIa são prostradas ou semitrepadoras, com tendência arbustiva em ambientes limitantes ao seu crescimento. Já o IIIb constitui-se de plantas prostradas ou trepadoras, que possuem menor número de hastes laterais. Plantas do tipo III são mais desenvolvidas, possuem maior número de nós, maior comprimento dos internódios, alta capacidade de compensação de vagens, rusticidade e grande potencial produtivo (DOURADO NETO; FANCELLI, 2000).

O hábito de crescimento IV é o das plantas trepadoras que necessitam de tutoramento para expressarem sua máxima produtividade. A haste principal possui entre 20 e 30 nós e pode alcançar mais de dois metros de comprimento. As cultivares que apresentam vagens distribuídas por toda a planta são classificadas em IVa, enquanto IVb são aquelas nas quais as vagens se concentram na parte superior da planta (SANTOS; GAVILANES, 2006).

O ponto ideal de colheita das vagens é definido quando atingem o máximo desenvolvimento, no entanto, antes que se tornem fibrosas e com sementes desenvolvidas. Na prática, conhece-se esse ponto quando as vagens apresentam suas pontas facilmente quebráveis ao serem envergadas (FILGUEIRA, 2003).

Majoritariamente, a produção de feijão-vagem no Brasil caracteriza-se pelo uso de cultivares de crescimento indeterminado, pois atingem maiores produções (QUEIROGA et al., 2003). Contudo, são mais exigentes em mão-de-obra, pois necessitam de tutoramento, e, por terem maior ciclo, são mais sujeitas a ataques de pragas e doenças por maior período de tempo. Estes fatores tendem a contribuir para aumento dos custos de produção (BRANDÃO, 2001).

As cultivares de crescimento determinado, embora menos produtivas que as de hábito trepador, têm a vantagem de não necessitar de tutoramento e possibilitar a mecanização da lavoura, condições que podem aumentar a rentabilidade (Peixoto *et al.*, 1997). Outra vantagem é a possibilidade de se efetuar uma única colheita, com arranquio das plantas no campo e a posterior separação das vagens (PEIXOTO, 1997; FILGUEIRA, 2000).

Cultivares com crescimento indeterminado tem a colheita das vagens iniciada entre 60 a 70 dias após a semeadura, enquanto que para cultivares de porte determinado, o mesmo período situa-se entre 50 a 55 dias. No Brasil, a colheita é manual, o que torna a operação onerosa e de baixo rendimento. O rendimento de vagens por área é variável, e pode superar 20 t ha<sup>-1</sup> para as cultivares trepadoras, e a metade desse rendimento para cultivares arbustivas (FAO, 2018).

### 2.1.1 Origem e Domesticação

A origem e a diversificação primária do gênero *Phaseolus* ocorreram nas Américas (VAVILOV, 1931). Populações silvestres de feijão crescem do norte do México ao norte da Argentina, em altitudes entre 500 e 2.000 m (DEBOUCK, 1986); são distribuídas em regiões que abrangem desde 52 °N, estendendo-se até 32° S, e não são encontradas naturalmente no Brasil (DEBOUCK, 1991).

A hipótese de ter sido domesticado na Mesoamérica, e posteriormente disseminado para a América do Sul, é suportada pelo fato de que formas silvestres de feijão foram encontradas no México, e associadas a espécies domesticadas a cerca de 7.000 a.C. Por outro lado, indícios arqueológicos de cerca

de 10.000 a.C. são indicativos de que o feijão teria sido domesticado na América do Sul e transportado para a América do Norte (SILBERNAGEL, 1996; ZIMMERMANN; TEIXEIRA, 1996; VIEIRA; BORÉM; RAMALHO, 1999).

A aceitação da origem americana da espécie ocorreu no final do século XIX, baseada em um grande número de amostras encontradas desde o sudoeste dos EUA, passando pela América Central, se estendendo pela região Andina da América do Sul até o Norte de Argentina e Chile, e datadas de quase 10.000 anos. Todos estes achados arqueológicos foram encontrados em regiões secas, tanto nos Andes como na América Central, e são restos de plantas sem traço característico do ancestral silvestre. Este fato sugere que, possivelmente, o feijoeiro foi domesticado em regiões de maior umidade, já que uma espécie domesticada necessita de mais água para o seu desenvolvimento, e posteriormente foi introduzido em regiões mais secas (GEPTS; DEBOUCK, 1991). A ampla área de ocorrência do feijão é um dos fatores que permitiu o surgimento de diversas raças locais, e é o que dificulta a localização exata dos centros de domesticação da cultura (FREITAS, 2006).

Outros estudos sugerem que a domesticação do feijão resultou de seguidos eventos na América Central e no Sul dos Andes. Ainda se sugere um terceiro centro na região da Colômbia (DEBOUCK, 1986; GEPTS; DEBOUCK, 1991). Os eventos de domesticação nos dois primeiros locais conduziram à formação dos centros Mesoamericano e Andino, dentro dos quais, a evolução levou a mudanças morfológicas, fisiológicas e genéticas da espécie (GEPTS; DEBOUCK, 1991; SINGH et al., 1991).

Os centros gênicos do feijão organizam-se em primário, secundário, terciário e quaternário (DEBOUCK, 1999). O primário agrupa populações cultivadas e silvestres, com híbridos férteis e sem impedimento para o cruzamento entre eles (GEPTS; BLISS, 1986; TORO; TOHME; DEBOUCK, 1990). O secundário compreende as espécies *P. coccineus*, *P. costaricensis* e *P. polyanthus*. Estas três espécies inter cruzam-se facilmente e também com *P. vulgaris*. O terciário é constituído por *P. acutifolius* e *P. parvifolius*. Ambas as espécies podem ser cruzadas, com geração de progênes completamente férteis. Já as espécies *P. filiformis*, *P. angustissimus* e *P. lunatus* podem ser consideradas do centro quaternário, nos quais seus inter cruzamentos, e seus cruzamentos com *P. vulgaris*, não produzem descendentes viáveis (SINGH, 2001).

## 2.2 PRODUÇÃO E IMPORTÂNCIA NO BRASIL

O último levantamento realizado pela FAO (2015) registrou a produção mundial de vagem em aproximadamente 21 milhões de t ano<sup>-1</sup>, na qual a China lidera em volume de produção, seguida de Indonésia, Turquia, Índia e Tailândia. Deste montante, cerca de 280 mil toneladas são produzidas nas Américas, e cerca de 80 mil, aproximadamente, são provenientes da América do Sul.

No Brasil, dados referentes à produção do feijão-vagem determinado e indeterminado são incipientes. Em termos econômicos, segundo último levantamento, a comercialização do feijão-vagem gerou cerca de 150 milhões de reais aos produtores (ABCSEM, 2011). Além da importância econômica, o feijão-vagem tem importância social para a agricultura familiar brasileira (FILGUEIRA, 2003), pois aproximadamente 60% da produção nacional da hortaliça está concentrada em propriedades com menos de 10 hectares (MELO, 2006).

A renda gerada com a produção do feijão-vagem no Brasil é influenciada pela escassez de recursos direcionados aos pequenos produtores, o que compromete a eficiência dos tratamentos culturais necessários à melhoria da produtividade e rentabilidade, e expõe as vagens a estresses bióticos e abióticos; por outro lado, os produtores que utilizam defensivos conseguem melhorar a sua produtividade, mas nem sempre a sua renda, pois o número de aplicações de produtos fitossanitários, em função do ano, pode aumentar seu custo de produção (MIKLAS et al., 2003).

Ainda, o feijão-vagem representa uma alternativa para diversificação da produção na entressafra de outras olerícolas, tanto em ambientes protegidos como a campo, pois, além de aproveitar as estruturas de tutoramento e adubação residual, serve para quebrar o ciclo de algumas doenças (SANTOS et al., 2012).

## 2.3 PRODUÇÃO E IMPORTÂNCIA NOS E.U.A

Nos EUA é cultivada em períodos quentes, principalmente para obtenção de vagens para alimentação. São geralmente referidos como “green” beans (feijões verdes) e “wax” beans (feijões de cera) que são feijões com vagens amarelas comestíveis, ou às vezes chamados de “string” beans (feijões de corda) (LAING ET AL, 1984).

Existem três tipos de feijões vagem cultivados nos - bush beans, pole beans, e half-runner, sendo todos os três tipos anuais e cultivados a partir de sementes. A produção de feijão vagem comercial consiste principalmente fresco e processado (enlatados e/ou congelados) (BINNING; BOERBOOM, 2017)

Sendo uma cultura de estação quente nos E.U.A, é cultivado após o derretimento de neve com o aumento do comprimento dos dias e da temperatura, porém, é difícil cultivar feijões em áreas com climas muito quentes e úmidos devido a problemas com doenças. A temperatura média ideal para um bom crescimento é 60°F (15°C), onde temperaturas médias acima de 80°F (27°C) podem resultar em crescimento lento (COLEMAN, 1995).

Esta cultura requer um fornecimento constante de água, particularmente durante o período de florescimento e desenvolvimento da vagem. Cerca de uma polegada de água por semana (25 mm) é necessária para uma produção bem sucedida. O estresse da umidade durante o período da floração ou do desenvolvimento da vagem pode causar queda de flor e vagem, o que resulta em rendimentos reduzidos. Trinta e seis por cento de todas as fazendas com produção de feijão vagem em 2012 usaram irrigação, valor maior que o de 1 % do ano de 1987 (BINNING; BOERBOOM, 2017).

Geralmente são colhidos à mão ou colhidos na máquina. Aqueles colhidos para o mercado fresco são geralmente colhidos à mão para minimizar o risco de lesões nas vagens. No entanto, mais e mais variedades híbridas bem adaptadas para manuseio mecânico estão se tornando disponíveis para produtores. Os cultivados com a finalidade para processamento geralmente são colhidos mecanicamente (COLEMAN, 1995).

Baixas temperaturas, geadas e seca são os principais problemas que afetam a cultura. Suas plantas são muito sensíveis às temperaturas frias e congelam com leves geadas. A falta de água durante o desenvolvimento de vagens também pode prolongar o período de maturação e resultar em vagens pequenas e malformadas, podendo também resultar em baixos rendimentos (MAITI, 1997).

Os feijões, juntamente com muitas culturas de vegetais, estão sujeitos a doenças durante o ciclo de crescimento. As rotações de culturas adequadas, seleção de campo, saneamento, espaçamentos das plantas, fertilização, irrigação e o uso de variedades resistentes podem reduzir o risco de algumas doenças (SINGH, S.P. 1982).

## 2.4 MERCADO DE FEIJÃO VAGEM NOS E.U.A

Os EUA são grandes produtores de feijão vagem, com cerca de 60% da produção total em campo. Em 2016, havia cerca de 11.343 fazendas produtoras da hortaliça no país em uma área de 307.101 acres (124.279,36 ha). Como a produção de outras commodities agrícolas, a produção de vagens está se tornando mais concentrada. Em 2016, apenas 111 fazendas (cerca de 1% das fazendas totais) representavam 34% da área colhida de vagens. No outro extremo, 57% das fazendas representavam menos de 1% da área total colhida. Estas são pequenas fazendas que operavam entre 0,1 e 0,9 hectares (USDA, 2016)

Em média, estima-se que cerca de 75% da produção total de feijão vagem seja para processamento (50% para conservas e 25% para congelamento), enquanto os 25% restantes são cultivados para o mercado in natura. Houve um ligeiro aumento na produção de feijões vagens tanto para indústria quanto para mercado fresco nos últimos anos. A área destinada para a indústria aumentou de cerca de 486.797 acres (197.000 hectares) em 2016 para 520.453 acres (210.620 hectares) em 2017. A área de produção também aumentou de 92,7 mil acres (229,06 mil ha) em 2015 para 96,70 mil acres (238.95 mil ha) em 2017 (BINNING; BOERBOOM, 2017).

Em 2015, o valor total da produção de feijão vagem dos EUA foi estimado em US \$ 402,4 milhões. Cerca de 71% disso veio das vendas vagens frescas. O valor total dos feijões vagem do mercado comercial aumentou de US \$ 261,0 milhões em 2014 para US \$ 286,9 milhões em 2015 (KAISER; ERNST, 2017).

São cultivados em quase todos os estados, porem não existe uma sobreposição significativa entre a produção in natura e processamento nos estados, principalmente devido às diferenças nas variedades de feijão para cada finalidade. A produção para indústria é dominada por estados no Centro-Oeste, como Wisconsin, Illinois e Michigan. Wisconsin é o principal produtor de vagens para processamento, seguido por Oregon e Nova York, com uma área de 66.200 acres e produção de 291.280 tons (USDA, 2017).

As vagens frescas têm variação de preço diária de acordo com a oscilação do mercado, enquanto a maioria das vagens destinadas a indústria são vendidas sob contrato entre produtores e processadores, onde a indústria processadora impõe diversas exigências durante a produção e inclui especificações

sobre tipos de cultivares, tamanho de área cultivada e horários de produção, plantio e colheita, e várias práticas recomendadas de crescimento e gerenciamento. Bush beans são os feijões vagem mais comuns que são produzidos sob contrato para processadores (KAISER; ERNST, 2017).

A produção de feijão vagem in natura é dominada pelos estados do Sul, sendo a Flórida o principal produtor, atendendo quase 50% da demanda nacional com fornecimento entre os meses de outubro e junho. Há também algumas importações do México e Canadá para complementar a oferta de novembro a abril. A Geórgia, a Califórnia, Nova York e a Carolina do Norte também são estados líderes na produção (BINNING; BOERBOOM, 2017).

O consumo de feijão vagem vem aumentando nas últimas décadas. Estima-se que 2% da população dos Estados Unidos consomem todos os dias. Durante 1998-2000, o consumo total nos EUA foi de 500 milhões de libras. De acordo com o Mintel (*salad and salad accompaniments*, 2002), o consumo per capita anual de feijão aumentou de 7,5 libras em 2015 para 7,8 libras em 2017 (KAISER; ERNST, 2017).

Existe uma variação regional no consumo, onde as regiões Sul e Nordeste são os maiores consumidores da nação, com baixo consumo no Oeste. No mercado internacional, os EUA são o principal importador e exportador de feijão vagem principalmente no período de outubro a julho onde há menor oferta doméstica (USDA, 2017).

## 2.5 ASPECTOS FISIOLÓGICOS DO FEIJÃO

### 2.5.1 Exigências Climáticas

O clima é um dos fatores mais importantes na produção agrícola, e decisivo na exploração das hortaliças (ARAÚJO, 2014). Os elementos climáticos afetam todos os estádios da cadeia produtiva, como a preparação do solo, semeadura, crescimento e desenvolvimento das lavouras, colheita, armazenagem, transporte e comercialização (OMETTO, 1981). O conhecimento de tais elementos auxilia no planejamento agrícola, visando obtenção de produtividade, rentabilidade e diminuição de perdas (PEREIRA et al., 2014).

Segundo Wutke et al. (2000), os elementos que influenciam o crescimento e desenvolvimento vegetal são a temperatura do ar e do solo, precipitação, radiação solar e o fotoperíodo. No entanto, para o feijoeiro, destacam-se a temperatura do ar e precipitação (PEREIRA et al., 2014). As características físico-químicas do solo também influenciam o desenvolvimento e devem ser levadas em consideração para o planejamento do cultivo (SILVA; STEINMETZ, 2003).

É uma cultura de ampla adaptação a climas quentes e amenos, dentro de uma faixa térmica de 18 a 30°C, no entanto, é intolerante a fatores extremos do ambiente. Temperaturas elevadas ocasionam significativa redução da produtividade na fase vegetativa inicial, podendo causar morte das plântulas e, conseqüentemente, redução do estande. Na fase de intenso crescimento vegetativo, o calor excessivo aumenta a fotorrespiração, reduzindo a taxa de crescimento das plantas. Durante a fase reprodutiva, altas temperaturas exercem influência sobre o aborto de flores e retenção final das vagens. É durante a fase reprodutiva, que a radiação é um dos principais fatores de competição entre as plantas, período em que a planta atinge o máximo de área foliar (FILGUEIRA, 2000).

No período entre a diferenciação dos botões florais até o enchimento dos grãos nas vagens, as altas temperaturas reduzem o número de vagens por planta, devido à esterilização do grão de pólen e, conseqüentemente, a queda das flores. Assim como para temperaturas excessivas, o feijão vagem é uma das hortaliças mais intolerantes ao frio e a geadas (BLANCO et al, 1997). As baixas temperaturas, quando ocorrem logo após a semeadura, podem impedir, reduzir ou atrasar a germinação das sementes e a emergência das plântulas, resultando em baixa população e baixa produtividade. Durante o crescimento vegetativo reduzem a altura das plantas e ramos, diminuindo a produção de vagens por planta (FILGUEIRA, 2003).

A temperatura afeta o desenvolvimento do feijoeiro em diferentes estádios de desenvolvimento (BRASIL, 2015). Segundo Pereira et al. (2014), os estádios florescimento e frutificação, determinantes para o desempenho dos componentes de rendimento e da produtividade, são diretamente impactados pelas variações de temperatura, e também interfere no desenvolvimento das vagens.

Segundo Vieira, Paula Júnior e Borém (2006) a faixa térmica ideal para o cultivo da espécie encontra-se de 17,5 a 25°C. Em decorrência da diversidade térmica ao longo de todo território nacional, o cultivo do feijão é limitado em certas

regiões, tanto pelas baixas temperaturas durante o inverno na Região Sul, quanto pelas altas temperaturas na Região Norte (SILVA; STEINMETZ, 2003).

De acordo com Aidar, Kluthcouski e Stone (2002), temperaturas diurnas e/ ou noturnas elevadas, nos estádios R5 ou R6, ocasionam quedas acentuadas no rendimento, devido à redução do número de vagens por planta. Para Vieira et al (2006), em temperaturas elevadas, ocorre à abscisão dos órgãos reprodutivos, e, em temperaturas acima de 35 °C, não há formação de vagens. Segundo Portes (1988), a abscisão dos órgãos reprodutivos está relacionada com o aumento da síntese de etileno. Para Mariot (2000), temperaturas elevadas no florescimento levam a esterilização do grão de pólen e contribuem para a produção do etileno e, conseqüentemente, para abscisão floral. Redução de ciclo, aumento na atividade respiratória, redução na taxa de assimilação de gás carbônico e aumento de biomassa também são ocasionados por temperaturas elevadas (SHONNARD; GEPTS, 1994). Altas temperaturas associadas à alta umidade relativa do ar aumentam a incidência de doenças durante as fases vegetativa e reprodutiva e interferem no rendimento final (VIEIRA; PAULA JÚNIOR; BORÉM, 2006).

Baixas temperaturas também afetam as fases vegetativa e reprodutiva do feijoeiro. Se ocorrerem após a semeadura, a germinação só ocorrerá em condições de temperatura adequada do solo, o que pode comprometer a emergência das plântulas, ocasionar redução do estande, e conseqüentemente da produtividade (VIEIRA; PAULA JÚNIOR; BORÉM, 2006). Quando ocorrem durante o crescimento vegetativo, reduzem a altura das plantas e ramos, com diminuição do número de vagens por planta (PORTES, 1996). Temperaturas inferiores a 15 °C inviabilizam o funcionamento normal dos órgãos reprodutivos, e, quando se encontram entre 2 e 10 °C, reduzem a produção de biomassa e retardam o desenvolvimento das plantas, devido às alterações metabólicas provocadas pelo esfriamento (FILGUEIRA, 2003). A espécie é intolerante à geada, em qualquer estágio de desenvolvimento (MARIOT, 2000). Em regiões tropicais de baixa altitude, a viabilidade do cultivo no inverno está relacionada à menor incidência de plantas daninhas, pragas e doenças (LIMA, 2002).

A água é o principal componente para o desenvolvimento de qualquer cultura, responsável por processos básicos como fotossíntese, translocação de nutrientes e fotoassimilados, respiração e transpiração (VIEIRA; PAULA JÚNIOR, BORÉM, 2006).

Estima-se que o consumo hídrico do feijão seja de 300 a 600 mm durante o seu ciclo, com consumo médio diário de 3 a 4 mm, e necessidade de disponibilidade hídrica mensal de 100 mm (MARCO et al., 2012). No entanto, o requerimento de água é variável em função dos seus estádios fenológicos (NÓBREGA et al., 2001). Segundo Matzenauer, Maluf e Bueno (1998), da germinação (V0) até a emissão das folhas primárias (V2), o feijão consome cerca de 30,0 mm de água, enquanto que, nos estádios entre V2 a R5 (pré-floração) e R5 a R8 (enchimento de vagens), o requerimento de água corresponde a 75,0 e 83,0 mm respectivamente.

O feijoeiro apresenta sensibilidade ao déficit e ao excesso de água no solo (ARAÚJO, 2014). Quando instalado entre a semeadura e a emissão do quarto trifólio, há prejuízo na germinação, na emergência e na sobrevivência das plantas, resultando em reduzido estande, e em menor rendimento (VIEIRA et al., 1998). Na fase vegetativa, a falta de água diminui o crescimento das plantas, reduz a área assimilatória, e afeta indiretamente a produção, em função do menor tamanho e número de vagens. Durante a floração, provoca abortamento e queda das estruturas reprodutivas, com redução do número de vagens por planta (GUIMARÃES, 1996). De acordo com Fancelli e Dourado Neto (1997), a fase do pré- florescimento é uma das mais críticas em relação à baixa disponibilidade de água no solo, pois o consumo de água pode ser superior  $5,0 \text{ mm dia}^{-1}$  em condições de forte calor e reduzida umidade relativa do ar.

A deficiência hídrica é sentida quando a taxa de evapotranspiração é maior que a taxa de absorção de água pelas raízes. Como o feijoeiro apresenta uma grande porção do seu sistema radicular distribuído nas camadas mais superficiais do solo, pequenas estiagens ou longos intervalos entre as irrigações, podem reduzir o conteúdo de água nestas camadas, diminuindo ou impedindo a absorção de água pela cultura. O excesso de água do solo também pode trazer danos ao feijão. Esta condição pode ocorrer devido à drenagem deficiente ou excesso de irrigação, resultando na redução do oxigênio no solo e prejuízo à germinação, e ao desenvolvimento e estabelecimento do sistema radicular do feijoeiro. Além disso, aumenta a incidência de patógenos que afetam as raízes, reduzindo a sobrevivência das plantas. Quando ocorrente nas etapas de florescimento e frutificação, pode levar a redução de 48 a 68% na produção, em função de alterações fisiológicas causadas nas plantas, que, em consequência, aumenta a abscisão floral e diminui a taxa de retenção das vagens (VIEIRA; PAULA JÚNIOR; BORÉM, 2006).

## 2.6 FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO

O nitrogênio (N) é o elemento requerido em maior quantidade pela cultura do feijoeiro, e as fontes desse elemento para as plantas são: mineralização da matéria orgânica, aplicação de adubos nitrogenados e fixação biológica do  $N_2$  atmosférico (HUNGRIA et al., 1997; MERCANTE et al., 1999).

O uso de fertilizantes químicos é um investimento de alto custo para o produtor, e que também pode causar danos ao meio ambiente. Stralio et al., (2002) observou que as perdas de adubos nitrogenados estão em cerca de 50%, ocasionados principalmente por lixiviação. O N perdido nesse processo é altamente poluente e quando atinge o lençol freático, provoca a contaminação dos aquíferos subterrâneos, rios e lagos. Outras perdas de N aplicado ocorrem nas formas gasosas, que retornam à atmosfera, sobretudo pelos processos de desnitrificação e volatilização (SIQUEIRA et al., 1994; STRALIOTTO et al., 2002).

A baixa eficiência do uso de N, além de aumentar o custo da produção, também causa problemas de poluição ambiental. O alto custo dos fertilizantes nitrogenados desperta o interesse para o desenvolvimento de técnicas de manejo, que possam maximizar o uso eficiente desse nutriente pelas culturas (FAGERIA; BALIGAR, 2005).

As plantas da família das leguminosas conseguem a maior parte deste nutriente diretamente da atmosfera, devido às associações com bactérias do gênero *Rhizobium*. Isso ocorre devido uma relação simbiótica onde a planta oferece ao micro-organismo metabólitos, enquanto a bactéria se instala na raiz formando nódulos, estruturas especializadas formadas nas raízes das leguminosas, onde ocorre o processo de fixação biológica. Nos nódulos a amônia sintetizada é incorporada a ions de hidrogênio ( $H^+$ ), ocorrendo a transformação em íons amônio ( $NH_4$ ), que serão distribuídos para planta hospedeira e incorporados a substâncias orgânicas como os ureídeos, aminoácidos e amidas (HUNGRIA; CAMPO; MENDES, 2001).

A fixação biológica de nitrogênio (FBN) é uma excelente fonte de N para as leguminosas, sendo um processo realizado por diversas espécies de bactérias que habitam o solo. O  $N_2$  constitui cerca de 80% dos gases atmosféricos, os quais também penetram pelos espaços porosos do solo, no entanto, nenhum animal ou

planta consegue absorve-lo como nutriente, isto devido à tripla ligação que existe entre dois átomos do N, que é uma ligação difícil de ser quebrada (HUNGRIA et al., 1997; MERCANTE et al., 1999).

As bactérias capazes de fixar biologicamente o N<sub>2</sub> possuem uma enzima denominada nitrogenase, capaz de romper essa tripla ligação e provocar sua redução até amônia (NH<sub>3</sub>), a mesma forma obtida no processo industrial. Estas bactérias se associam à diversas plantas em diferentes graus de especificidade, sendo classificadas como bactérias associativas, endofíticas ou simbióticas. (HUNGRIA; CAMPO; MENDES, 2001).

Quando comparado com outras leguminosas de grão, o feijoeiro tem sido considerado uma espécie de baixa capacidade de FBN devido às condições de baixa fertilidade do solo onde muitas vezes o cultivo é mantido nas regiões tropicais, à suscetibilidade da espécie a estresses nutricionais e ambientais, ao curto período vegetativo disponível para a nodulação e FBN, à sensibilidade da simbiose ao nitrato do solo, e à competição das estirpes nativas do solo pouco eficientes (HUNGRIA; VARGAS, 2000; LEIDI; RODRÍGUEZ-NAVARRO, 2000; GRAHAM et al., 2003).

O feijoeiro, no seu desenvolvimento inicial, utiliza as reservas presentes nos cotilédones até por volta de 12 dias após a emergência (DAE), considerado o período médio para o esgotamento das reservas cotiledonares, não apresentando sincronização entre o esgotamento das reservas nitrogenadas cotiledonares e a formação de nódulos e a fixação efetiva de N, o que culmina em um estresse nutricional por volta dos 16 a 20 DAE, até as plantas formarem nódulos efetivos (HUNGRIA et al., 1991; PEÑA-CABRIALES et al., 1993).

Outro fator que restringe a eficiência do processo de FBN na cultura é a senescência precoce dos nódulos, pois logo após o florescimento ocorre queda da atividade da nitrogenase. No período de formação das vagens há uma grande demanda por nutrientes, com a FBN limitada e sem acesso a outra fonte de N, o déficit pode acarretar em diminuição de produtividade (FRANCO et al., 1979).

Com os avanços obtidos pelas pesquisas foi possível identificar estirpes de bactérias adaptadas às condições edafoclimáticas e às cultivares. Essas bactérias estão disponíveis nos inoculantes e com a utilização deste método pode-se obter um incremento expressivo nos rendimentos da cultura, com baixo custo, maximizando os lucros e trazendo benefícios ao meio ambiente. (HUNGRIA; MENDES; MERCANTE, 2013)

Mesmo que a FBN não seja suficiente para suprir todo o N requerido para o desenvolvimento do feijoeiro, e seja necessária a realização de adubações nitrogenadas complementares, a redução da necessidade de adubação na cultura pode representar um ganho ambiental e econômico (HUNGRIA & VARGAS, 2000).

Barros (2013) obteve rendimento de grãos utilizando a inoculação seguida da aplicação de 20 Kg de N no plantio superior ao tratamento apenas adubado no plantio, com a mesma dosagem, tanto na época das águas quanto na época da seca. Pelegrin et al. (2009) verificaram que a adubação com 20 kg ha<sup>-1</sup> de N, em conjunto com a inoculação de rizóbio no plantio, possibilitou a obtenção de rendimento de grãos e proporcionou acréscimo de receita líquida na cultura de feijoeiro equivalente à aplicação de até 160 kg ha<sup>-1</sup> de N. Já Brito (2013), obteve melhores resultados quando a adubação complementar de N mineral foi feita em cobertura.

Devido à baixa eficiência da FBN no feijoeiro, a suplementação com fertilizante nitrogenado pode trazer resultados significativos. Porém, deve ser feita com cautela, pois doses em excesso tanto na semeadura como em cobertura podem causar diminuição na eficiência simbiótica (FERREIRA et al., 2000; VENTURINI et al., 2002). Em pequenas quantidades, na semeadura, o N permite um aumento no crescimento dos nódulos e maior FBN (HUNGRIA et al., 2003).

A fertilização com 40 kg N ha<sup>-1</sup> reduziu em média em 10 % o N derivado da atmosfera em plantas de feijoeiro, mas com variações entre genótipos, indicando a possibilidade de melhoramento para aumentar a eficiência da FBN sob adubação mineral (RENNIE; KEMP, 1983).

Barros et al. (2013) relataram que a inoculação de rizóbios no plantio pode substituir a adubação nitrogenada com 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura junto a uma adubação de cobertura com 45 kg ha<sup>-1</sup> de N, sem perda de produtividade e que a adubação com 20 kg ha<sup>-1</sup> de N no plantio, junto com a inoculação, não inibe a nodulação da cultura do feijoeiro, acrescentando maior massa seca de parte aérea e produtividade.

A dosagem ideal e melhor época de aplicação de aplicação do fertilizante nitrogenado para que haja melhor aproveitamento da FBN e produtividade satisfatória em cultivos de feijão ainda necessita de melhores estudos (HUNGRIA et al., 2003).

### 2.6.1 B. *Rhizobium*

Os rizóbios são micro-organismos presentes no solo, capazes de realizar simbiose com leguminosas com o objetivo de fixar nitrogênio em suas raízes por meio da nodulação (FERNANDES et al. 2003).

Com base nos dados de sequenciamento do gene ribossomal 16S, existem atualmente cinco gêneros de rizóbios escritos, *Azorhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Mesorhizobium*, *Rhizobium* e *Sinorhizobium* e mais de 40 espécies na subclasse alfa das proteobactérias (GARRITY; HOLT, 2001).

A maioria desses microorganismos é capaz de nodular mais que uma espécie e algumas espécies são denominadas promíscuas, pois nodulam com diversas estirpes desse gênero (ZILLI et al., 2013; FERNANDES et al., 2003).

Existem uma grande diversidade de rizóbios que colonizam a planta de feijoeiro, antigamente se utilizavam estirpes de *R. leguminosarum* bv. *phaseoli* e *R. etli*, inicialmente obtidas no exterior e testadas pelas instituições de pesquisa no Brasil, no entanto foi constatado alta sensibilidade as características do solo e do ambiente da nossa região, causando um baixo aporte de nitrogênio via processo biológico. (HUNGRIA; VARGAS, 2000). Contudo estudos no Brasil proporcionaram grande avanço na seleção de rizóbios para cultura do feijoeiro, buscando bactérias geneticamente mais estáveis, com maior eficiência no processo de fixação do nitrogênio, maior competitividade nos solos brasileiros e com tolerância a temperaturas elevadas. (HUNGRIA; MENDES; MERCANTE, 2013)

A proliferação de colônias e formação dos nódulos em leguminosas segue processos bioquímicos e fisiológicos. A planta lança no solo metabólitos de atração às bactérias. Ao receber o sinal, as mesmas realizam o reconhecimento das células do córtex radicular e aderem aos pelos, promovendo um encurvamento (SANTOS; REIS, 2008).

A partir do encurvamento do pelo radicular, há a formação de um cordão de infecção que adentra pelo córtex das raízes sem causar dano anatômico ou fisiológico, ocorre a proliferação dos rizóbios que assumem a forma de bacteroides (alteração morfofisiológica) para fixação de nitrogênio. A bactéria assume essa forma até o completo ciclo da leguminosa (XAVIER et al., 2007).

Após o término do ciclo reprodutivo, ocorre a senescência dos nódulos, e o rizóbio volta a sua morfologia e fisiologia normal, permanecendo no solo (HUNGRIA et al, 1994).

De acordo com Xavier et al. (2007) para que um nódulo desempenhe sua função é necessário que haja uma constante troca de substâncias entre o bacteroide e a planta. Por isso é necessário que seja mantida a nutrição mineral essencial para o desenvolvimento da cultura de acordo com suas necessidades.

Existem muitos fatores bióticos e abióticos que interferem na nodulação e na eficiência simbiótica, os fatores bióticos são determinados pelas interações sinérgicas ou antagônicas com os outros representantes da biota do solo e com o próprio rizóbio, na sobrevivência e competição pela nodulação da hospedeira. Os fatores abióticos, como o efeito do pH do solo e suas interações com outros nutrientes, a disponibilidade de nutrientes no solo, a umidade do solo e o estresse osmótico e a sensibilidade à temperatura elevada. (STRALIOTTO; RUMJANEK, 1999)

Acidez do solo: rizóbios são sensíveis à acidez e toxicidade por alumínio (Al) e manganês (Mn). Neste caso há a necessidade de se realizar um levantamento de estirpes adaptadas a estas condições. Temperatura: o desenvolvimento das colônias nodulíferas é desfavorável em temperaturas abaixo de 10°C e acima de 37°C. Temperaturas abaixo deste mínimo interferem na reprodução das bactérias, enquanto que temperaturas muito altas desnaturam as proteínas formadoras do DNA, comprometendo a reprodução dos rizóbios (XAVIER et al., 2007).

Sendo assim, para otimizar a produtividade e diminuir a dependência de adubos químicos, uma alternativa é a utilização de técnicas que conciliam a inoculação com bactérias fixadoras de nitrogênio e uma adubação nitrogenada, utilizando baixas doses. Pelegrin et al. (2009) observou que a inoculação de rizóbio, acrescida da adubação com 20 kg ha<sup>-1</sup> de N no plantio, propiciou um acréscimo na produtividade, semelhante à aplicação de 160 kg ha<sup>-1</sup> de N e superior ao tratamento com a adubação de 20 kg ha<sup>-1</sup>, sem o uso do inoculante, comprovando sua importância para maior rentabilidade na cultura do feijoeiro.

## 2.7 ABUNDÂNCIA NATURAL DE 15N

Burris em 1940 foi o primeiro a indicar o uso de  $^{15}\text{N}$  em estudos de fixação biológica do  $\text{N}_2$ . Existem basicamente três métodos isotópicos para se quantificar a FBN, o método de redução do  $^{15}\text{N}$ , método de marcação do solo com  $^{15}\text{N}$  ou de diluição isotópica com  $^{15}\text{N}$  e o método com uso da abundância natural de  $^{15}\text{N}$  (TRIVELIN, 2001).

A técnica da abundância natural para avaliação da FBN é baseada no fato que o N no solo é enriquecido com isótopo  $^{15}\text{N}$ , em relação à proporção de  $^{15}\text{N}$  do ar, devido à discriminação isotópica durante as transformações do N no solo (SHEARER; KOHL, 1992). O N presente nas plantas, absorvido do solo, tende a ter enriquecimento em  $^{15}\text{N}$  semelhante ao do solo. Por outro lado, uma planta fixadora do  $\text{N}_2$  da atmosfera apresentará teores menores de  $^{15}\text{N}$ , devido ao efeito de diluição que esse  $\text{N}_2$  causará, uma vez que o  $^{15}\text{N}$  em excesso da atmosfera é zero por definição (MIRANDA et al., 2003), já que a maior parte do N virá do ar e o padrão da técnica possui 0,3663 % de  $^{15}\text{N}$ . Contudo as espécies não fixadoras crescendo no mesmo solo apresentarão abundância de  $^{15}\text{N}$  semelhante ao solo e maior do que uma planta fixadora. Assim, usando-se uma planta não fixadora como marcadora do  $^{15}\text{N}$  do N mineral do solo, a taxa de fixação pode ser determinada pela proporção com que este  $^{15}\text{N}$  foi diluído (SHEARER; KOHL, 1986).

As técnicas isotópicas de  $^{15}\text{N}$  são muito úteis para quantificar a contribuição da FBN, e englobam a contribuição da FBN no ciclo completo das culturas. Especificamente, a técnica baseada na abundância natural de  $^{15}\text{N}$  é mais apropriada para avaliações em sistemas agrícolas e, quando aplicadas adequadamente, os resultados são mais precisos (BALDANI et al., 2009).

Segundo Miranda et al. (2003) na prática, é impossível saber se uma dada planta não obtém algum N oriundo de fixação, por mecanismos associados ou não à planta e além disso, idealmente, uma planta não fixadora deveria explorar volume de solo semelhante ao da fixadora, apresentando, ainda, padrões de absorção e assimilação do N parecidos. Como tal condição é praticamente impossível de ser atendida, usa-se o valor médio do  $^{15}\text{N}$  de algumas plantas, reconhecidamente de espécies para as quais não há histórico comprovado de fixação biológica associada, que estão crescendo nas mesmas condições das fixadoras.

O uso do valor da abundância natural do  $^{15}\text{N}$  torna-se adequado, pois as culturas fixadoras como o feijão apresentam menores valores de % de átomos de

$^{15}\text{N}$  do que as plantas-controle, demonstrando, assim, diluição do N absorvido do solo (N-nativo do solo +  $^{15}\text{N}$ -fertilizante) pelo N proveniente da fixação simbiótica, o que é a base do método da diluição isotópica para a quantificação do  $\text{N}_2$  proveniente da atmosfera (HARDARSON et al., 1988; ALVES et al., 2005).

A técnica de abundância natural de  $^{15}\text{N}$  exige equipamentos de muita sensibilidade e tornou-se uma técnica largamente aplicada para avaliar a fixação biológica de  $\text{N}_2$  no campo devido ao aumento da precisão dos espectrômetros de massa de fluxo contínuo (BODDEY et al., 2001). A espectrometria de massa é utilizada em análise de isótopos estáveis e baseia-se no princípio de separação de moléculas gasosas ionizadas de acordo com suas massas quando essas passam por um campo magnético (BOARETTO et al., 2004).

A abundância natural de  $^{15}\text{N}$  tem sido empregada para calcular a contribuição da fixação de  $\text{N}_2$  por associação de bactérias (WATANABE et al., 1987), (YONEYAMA et al., 1997; MORAIS, et al., 2011).

## 2.8 ASPECTOS NUTRICIONAIS DE FEIJÃO VAGEM

A extração de um nutriente, obtida através do acúmulo ao longo do desenvolvimento das plantas, é importante para o conhecimento da época de maior demanda e, conseqüentemente, de maior probabilidade de resposta à adubação de cobertura e, ainda, possibilita o conhecimento da quantidade do nutriente que é exportada pela colheita e aquela que retorna ao solo nos restos culturais (PRADO, 2008). O feijoeiro é considerado planta exigente em nutrientes, em decorrência do sistema radicular superficial e ciclo curto, os quais devem ser disponibilizados à planta, em tempo e locais adequados (ROSOLEM; MARUBAYASHI, 1994).

A absorção de nutrientes é diferente de acordo com a fase de desenvolvimento da cultura, se intensificando no florescimento, na formação dos frutos ou do órgão que será colhido. Por isso, além da quantidade absorvida de nutrientes, deve ser considerada, também, a sua concentração nos diferentes estádios de desenvolvimento (HAAG et al. 1981; VITTI et al., 1994; MALAVOLTA et al.; 1997; FAGERIA, 1997).

No feijoeiro, as faixas críticas mais utilizadas para os teores foliares são as propostas por Wilcox e Fageria (1976), com variações em  $\text{g kg}^{-1}$ : N - 28,0 a 60,0; P - 2,5 a 5,0; K - 18,0 a 50,0; Ca - 8,0 a 30,0; Mg e S -2,5 a 7,0 e considerando a coleta da primeira

folha amadurecida a partir da ponta do ramo (30 folhas por hectare), coletadas no início da floração do feijoeiro. No entanto, segundo Malavolta et al. (1997) com valores em  $\text{g kg}^{-1}$ : N - 30,0 a 50,0; P - 2,0 a 3,0; K - 20,0 a 25,0; Ca - 15,0 a 20,0; Mg - 4,0 a 7,0; S - 5,0 a 10,0, utilizados como faixas críticas para avaliação do estado nutricional da cultura pela diagnose foliar. E ainda, a proposta por Martinez (2002) recomenda a utilização dos seguintes valores de referência para interpretação dos resultados da análise de folhas amostradas do terço mediano da planta de feijão em  $\text{g kg}^{-1}$  de massa seca: para N - 30,0 a 35,0; P - 4,0 a 7,0; K - 27,0 a 35,0; Ca - 25 a 35; Mg - 3,0 a 6,0; S - 1,5 a 2,0.

Com relação ao nitrogênio (N) devido à eficiência da fixação biológica não suprir 100% das necessidades desta espécie, a adubação ainda é de extrema importância para suprir as exigências por este nutriente, no entanto, pouco se sabe sobre a dinâmica de absorção de N na cultura do feijão vagem, especialmente em genótipos de hábito determinado, dificultando a determinação das melhores épocas para realizar a fertilização ou, ainda, as quantidades a serem repostas na adubação de manutenção (TAIZ; ZIEGER, 2013).

O nitrogênio (N) é o elemento mais abundante na atmosfera terrestre. Nas plantas é responsável por várias reações além de fazer parte da estrutura da clorofila, aminoácidos, ácidos nucléicos, coenzimas, amidas, proteínas, hexoaminas, nucleotídeos e outros compostos. Atua na expansão da área foliar, no crescimento da vegetação e na formação de botões florais, localizando-se, principalmente, nos cloroplastos das folhas, sendo essencial na atividade fotossintética, seu balanço afeta a formação de raízes, a fotossíntese, a produção e a translocação de fotoassimilados e a taxa de crescimento entre folhas e raízes, sendo o crescimento foliar primeiramente afetado (MALAVOLTA, 1986; RYLE; POWELL; GORDON, 1979; TAIZ; ZIEGER, 2013).

O N é o nutriente que mais limita o desenvolvimento, a produtividade e a biomassa da maioria das culturas. Nas folhas deficientes há uma menor quantidade de cloroplastos, os quais, também são menores que os encontrados nas folhas normais, apresentando cor amarelada devidamente resultado da menor quantidade de clorofila, tendo menor atividade fotossintética acarretando em menor produção de amido (ACCORSI; HAAG, 1959; KRAISER et al., 2011).

Por apresentar alta mobilidade via floema a deficiência de N aparece inicialmente nas folhas mais velhas. Nas folhas adultas, da base do ramo para a

extremidade e, principalmente, nos ramos com carga, perdem a cor verde escura e o brilho, passando para um verde claro. Esses sintomas ocorrem principalmente em épocas de secas e em períodos de crescimento do fruto; contribuindo com a queda de frutos menores, que caem com facilidade, e podem ainda levar a morte descendente dos ramos quando as folhas apresentam menos de  $2,5 \text{ dag kg}^{-1}$  de N e menos que  $1,5 \text{ dag kg}^{-1}$  de K. Com a deficiência acentuada as folhas amarelecem, iniciando pelas nervuras e caminhando para as folhas mais novas. Em casos mais acentuados as folhas velhas ficam esbranquiçadas, iniciando a desfolha, seca dos ponteiros e morte da planta (GUIMARÃES; MENDES, 1997; MARSCHNER, 1995; VITTI et al., 1999).

As funções importantes deste nutriente na planta são: o aumento do número de vagens e da massa dos grãos, participação no processo de maturação dos grãos, o maior incremento do sistema radicular e a melhora da qualidade dos grãos (FAGERIA; BARBOSA FILHO; STONE, 2004).

O teor de P nas folhas do feijoeiro decresce depois do início da formação das vagens, sendo o índice de colheita superior ao dos demais macronutrientes, indicando uma elevada translocação de P para as sementes (HAAG et al., 1967).

Segundo Malavolta (1993), o P é um importante componente estrutural, tendo como função o armazenamento e transferência de energia. O P é um nutriente essencial para o crescimento e para a produção das plantas, cujas funções não podem ser executadas por qualquer outro nutriente. (FAGERIA; BARBOSA FILHO; STONE, 2004).

As espécies diferem quanto à capacidade de crescimento em função dos níveis de fósforo disponível no solo (BHADORIA et al., 2004) e possuem vários mecanismos para aumentar a eficiência de absorção e utilização do P (ROUACHED; ARPAT; POIRIER, 2010). É comum no plantio grande aplicação de insumos contendo P, por este, praticamente, não sofrer lixiviação no perfil do solo. Logo, com o desenvolvimento da planta, diminui-se a proporção de P nas formulações de fertilizantes, em relação ao N e K, pois, as raízes passam a explorar maior volume de solo, extraindo assim, maiores quantidades de P (GUERRA et al., 1996).

A concentração de P nas plantas geralmente varia entre  $10$  e  $50 \text{ g kg}^{-1}$  e essas absorvem a maior parte do P como ânion monovalente – ortofosfato biácido –  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , e, em menor proporção, como ânion bivalente – ortofosfato monoácido -

$\text{HPO}_4^{2-}$ . O pH do solo influi, em grande parte, na proporção em que estas duas formas de P estão disponíveis para absorção pela planta. O ânion monovalente  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  tem sua disponibilidade aumentada em valores de pH abaixo de 7, enquanto o ânion bivalente  $\text{HPO}_4^{2-}$  tem sua disponibilidade aumentada em valores de pH acima de 7. (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

Como resultado, a deficiência de P está associada com a restrição do crescimento e desenvolvimento das plantas (GRANT et al., 2001). O crescimento e o desenvolvimento de plantas quando em deficiência de P são menores desde os estádios iniciais da plântula e, dependendo da severidade, podem atingir o desenvolvimento das sementes ou frutos. Sob condições limitantes de P, as plantas normalmente apresentam pequeno desenvolvimento de raízes e de brotações e, em consequência, é explorado um pequeno volume de solo, o que resulta em acesso restrito a água e nutrientes (STAUFFER; SULEWSKI, 2003).

O excesso de P faz com que as plantas possam apresentar sintomas da deficiência de Cu, Fe, Mn e Zn, pois diminui a absorção e/ou transporte para a parte aérea destes nutrientes (MALAVOLTA, 2006). O excesso de P pode ser ocasionado pela deficiência de Zn (MARSCHNER, 1995).

O Potássio (K) é o terceiro nutriente essencial na escala de importância entre os macronutrientes primários, para a maioria das plantas, mas não é comum encontra-lo em situação de deficiência severa, a não ser em solos derivados de sedimentos quartzosos (KIST, 2005).

Mello, Brasil Sobrinho e Arzolla (1989) relataram que o K faz-se presente sob a forma iônica no suco celular e na seiva, ou então, encontra-se adsorvido às proteínas do protoplasma. É o mais abundante cátion presente no citoplasma das células vegetais e ocupa o segundo lugar em quantidade extraída pela maioria das plantas, participando da translocação dos carboidratos sintetizados, no processo fotossintético, da síntese proteica e da ativação enzimática.

É também o principal cátion envolvido com o sistema de controle do movimento estomático, onde a abertura estomática é precedida por um decréscimo no pH do apoplasto das células guardas e acumulação de K nos vacúolos. Para que haja uma alta taxa de íons através da membrana, os canais são a principal rota. Como os estômatos são importantes na regulação da perda de água pelas plantas, o K ajuda a diminuir perdas de água e aumenta a tolerância à seca, ativa a catálise biológica de

enzimas e promove o metabolismo do N e a síntese de proteínas (MARSCHNER, 1995).

Plantas com teores adequados de potássio têm o número e tamanho dos estômatos por unidade de área foliar aumentados, facilitando as trocas gasosas nos tecidos. O mecanismo de abertura e fechamento dos estômatos é dependente do fluxo de potássio nas células-guarda, e assim, plantas deficientes podem ter suas respostas estomáticas alteradas (MORAES et al., 2006).

O primeiro sintoma visível da deficiência de potássio é a clorose em manchas ou nas margens da folha, evoluindo para a necrose, principalmente nos ápices foliares, margens e entre nervuras, estendendo-se posteriormente em direção à base. Como o K pode ser remobilizado para as folhas mais jovens, esses sintomas aparecem inicialmente nas folhas mais maduras da base da planta. As folhas podem curvar-se e o caule deficiente em K é delgado e fraco, apresentando regiões internodais anormalmente curtas, acarretando o tombamento do vegetal (AMARAL; LAGE, 2010).

O Calcio (Ca), além de apresentar função primordial na divisão e no desenvolvimento celular, bem como na estrutura da parede celular e na formação da lamela média, ainda complementa o papel do potássio na manutenção da organização celular, economia de água e permeabilidade de membranas (HUBER, 1980).

Interfere na estruturação da planta, constituído a lamela média das paredes celulares, atuando como cofator de enzimas, e também como mensageiro secundário na regulação metabólica, na ramificação, desenvolvimento das gemas, maturação dos frutos, no sistema radicular, na retenção de folhas e formação de proteínas (GUIMARÃES; MENDES; SOUZA, 2002; MATIELLO et al., 2002; TAIZ; ZIEGER, 2004).

Tem função estrutural na planta, pois é um dos principais integrantes da parede celular, onde os pectatos de cálcio existentes na lamela média são essenciais para o fortalecimento da parede celular e dos tecidos da planta (MARSCHNER, 1995). A plasticidade da parede celular depende do fornecimento adequado de cálcio para a formação de ligações cálcio-pectina (TING, 1982).

É considerado imóvel quanto à redistribuição na planta, fazendo com que os sintomas de deficiência surjam primeiramente nas folhas novas da planta, apresentando bordas amareladas, da ponta para a base, permanecendo o centro da folha com coloração esverdeada. A cor amarela das bordas passa a esbranquiçada,

atingindo toda a folha, ficando a nervura central ainda verde. Em casos mais severos pode ocorrer a desfolha, seca de ramos e morte das extremidades das raízes (MATIELLO et al., 2002).

Esse macronutriente também exerce inúmeras funções no crescimento e desenvolvimento vegetal. O atraso no amadurecimento de frutos e na senescência e abscisão foliar, a melhoria da qualidade dos frutos e hortaliças e as alterações na resposta geotrópica, na fotossíntese e em outros processos como divisão celular, movimentos citoplasmáticos e aumento do volume celular são algumas funções do cálcio nas plantas (MENGEL; KIRKBY, 2001).

A absorção de cálcio é menor quando existem altas concentrações de Mg, K e  $\text{NH}_4$  ou a planta encontra-se em solos ácidos, associados à toxidez de alumínio e manganês (GUIMARÃES; MENDES; SOUZA, 2002; MATIELLO et al., 2002).

As raízes ou folhas absorvem o magnésio como íon  $\text{Mg}^{+2}$ . Durante o ciclo de vida a curva de acumulação do Mg em função do tempo (dias, meses e ano) é comumente uma sigmóide que acompanha a produção da matéria seca. A falta de Mg inibe a fixação do  $\text{CO}_2$ , porque além de fazer parte da clorofila ele é exigido em reações de fotofosforilação (MALAVOLTA, 1994).

O papel mais conhecido do magnésio em plantas relaciona-se à ocorrência como elemento central da molécula de clorofila. Porém, apenas de 15 a 20% do total de magnésio presente na planta está relacionado com esta função (MENGEL; KIRKBY, 2001).

Segundo Malavolta (2006) o magnésio ativa mais enzimas do que qualquer outro nutriente. É também cofator de quase todas as enzimas fosforiladas, formando uma ponte entre o pirofosfato do trifosfato de adenosina (ATP) ou do difosfato de adenosina (ADP) e a molécula da enzima. A transferência de energia desses dois compostos é fundamental nos processos de fotossíntese, respiração, reação de síntese dos compostos orgânicos, absorção iônica e trabalho mecânico realizado pela planta. A falta de Mg inibe a fixação do  $\text{CO}_2$ , porque além de fazer parte da clorofila ele é exigido em reações de fotofosforilação (MALAVOLTA, 1986).

Tem alta mobilidade na planta tendo clorose internerval como sintoma de deficiência inicial, expandindo gradualmente para as margens das folhas, sendo os sintomas muito semelhantes em arábica e robusta (ALMEIDA; GARCIA, 1980; MARSCHNER, 1995)

A quantidade de Mg extraída pelas folhas no momento do florescimento corresponde a 52% do total extraído pelas flores, folhas e ramos. Nos frutos, a maior concentração de Mg ocorre após o florescimento. A concentração começa a declinar a partir da expansão rápida, em razão do grande acúmulo de matéria (LAVIOLA et al., 2007).

Quanto ao Enxofre (S), embora seja o macronutriente freqüentemente presente em menor concentração no tecido vegetal, o enxofre atua em diversas rotas bioquímicas e fisiológicas que controlam o aproveitamento dos demais nutrientes, especialmente o nitrogênio (KOPRIVA; RENNENBERG, 2004).

É constituinte dos aminoácidos (cisteína, metionina, taurina), proteínas, vitaminas, sulfatos de colina, flavonoides e outras funções estruturais. Além de participar de processos como fotossíntese, fixação não fotossintética do CO<sub>2</sub>, respiração, síntese de gorduras e proteínas, fixação do N<sub>2</sub> (MALAVOLTA, 1986). A exigência nutricional da maioria das plantas é atendido com concentrações de enxofre na massa seca vegetal entre 1 e 5 g kg<sup>-1</sup> (MARSCHNER, 1995).

A deficiência apresenta sintomas que começam nas folhas mais jovens com clorose em uma faixa larga que compreende a nervura principal estendendo-se até o meio da lamina foliar (FRANCO; INFORZATO, 1946). Este amarelecimento é resultado a falta de clorofila nos cloroplastos (ACCORSI; HAAG, 1959).

O Cobre (Cu) é componente do ácido ascórbico oxidase, uricase, citocromo oxidase, tirosinase, monoamina oxidase, fenolase, lacase e plastocianina, atua na transferência de elétrons, síntese de plastoquinona e lignina e na formação e fertilização do pólen, participa também como catalisador nos processos de respiração e de oxidação e no metabolismo de carboidratos e proteínas (TAIZ; ZIEGER, 2004).

A deficiência pode ser provocada pelo excesso de matéria orgânica e/ou adubação fosfatada, excesso de N na adubação, calagem excessiva e/ou encharcamento do solo (GUIMARÃES; MENDES; SOUZA, 2002) além de excesso de íons ferrosos (MATIELLO et al., 2002). A deficiência ocorre inicialmente nas folhas mais jovens, apresentando-se com nervuras salientes, onduladas na parte superior, encurvando-se para baixo. No agravamento dos sintomas, a deficiência passa para as folhas mais velhas, que além de encurvadas para baixo, apresentam a nervura central e a faixa próxima mais clara, um pouco esbranquiçada, podendo levar também ao depauperamento da planta e à morte de raízes (MATIELLO et al., 2002).

Em casos de toxidez há um pequeno desenvolvimento e morte de raízes, clorose secamento e queda das folhas. O excesso de Cu ocorre geralmente devido a varias pulverizações à base de fungicidas cúpricos para o controle de ferrugem. (GUIMARÃES; MENDES; SOUZA, 2002; MALAVOLTA et al., 1993).

O Ferro (Fe) é importante na formação da clorofila e na respiração, está envolvido com o transporte de elétrons, é constituinte de vários metabólitos, participa da redução do nitrato e do sulfato e da produção de enzimas (TAIZ; ZIEGER, 2004).

A elevação do pH, muitas vezes causada pelo excesso de calagem, prejudica a absorção de Fe (GUIMARÃES; MENDES; SOUZA, 2002). Pode ocorrer deficiência por efeito de má drenagem, excesso de matéria orgânica (MATIELLO et al., 2002) e em solos com pH muito ácido o teor de Mn pode ficar muito alto, dificultando a absorção do Fe (MALAVOLTA, 1986).

Sua deficiência provoca alterações na estrutura e na função de todo o aparato fotossintético, ocorrendo um decréscimo na quantidade de pigmentos verdes das plantas afetadas, e um relativo enriquecimento de pigmentos amarelos em decorrência do aumento de alguns carotenóides nos cloroplastos. Conseqüentemente, os sintomas de deficiência ocorrem primeiro em folhas jovens, que apresentam clorose generalizada, de tamanho menor, porém mantendo as nervuras verdes mais escuras, formando um reticulado fino (MATTOS JÚNIOR; BATAGLIA; QUAGGIO, 2005).

Folhas afetadas severamente podem apresentar coloração amarelo-palha, com pouca ou nenhuma nervura verde, podendo mostrar queimaduras nas margens ou na extremidade da lâmina foliar. Seca dos galhos e ramos pode ocorrer em situação de deficiência aguda. Há também alterações nos lipídeos e no conteúdo estromático dos cloroplastos e das folhas, o que afeta o teor de nutrientes minerais, a produção e a qualidade dos frutos do cafeeiro (ABADÍA et al., 2002; BAÑULS et al., 2003; RÖMHELD, 2001).

O manganês (Mn) é um micronutriente que desempenha funções importantes na planta, como na atividade de algumas desidrogenases, quinases, oxidases, descarboxilases e peroxidases, atua na clivagem da água no processo fotossintético, está envolvido em processos de oxidação e redução no sistema de transporte de elétrons e como ativador de muitas enzimas (TAIZ; ZIEGER, 2004). A deficiência do Mn causa amarelecimentos intensos, chegando a esbranquiçar a folha

e ocasionar ligeira redução do tamanho das folhas jovens, que ficam mais lisas, apresentando manchas verdes irregulares. Esta deficiência é provocada por excesso de calagem e falta d'água, ocorrendo, principalmente, em solos arenosos (MATIELLO et al., 2002).

O Mn geralmente é mais prejudicial pela sua toxidez, que está associada à solos ácidos, onde, ocorrendo redução do tamanho e pequenas pontuações cloróticas nas folhas, havendo diminuição na produtividade, podendo ocorrer também amarelecimento e queda das folhas mais velhas e frutos, podendo levar à morte os ramo e própria planta (GUIMARÃES; MENDES; SOUZA, 2002).

O efeito da toxidez de manganês nas plantas é difícil de ser estudado isoladamente, por causa das interações existentes com outros elementos, tais como Al, Fe, Si e Ca (FOY; CHANEY; WHITE, 1978). Segundo informam os autores, essas interações podem ser responsáveis pela diversidade de sintomas e pelos diferentes graus de redução no crescimento das plantas. Na prática, a toxidez de manganês é corrigida pela calagem que, eleva o pH e precipita o excesso de Mn disponível, reduzindo sua absorção pela planta (KUPPER; SACCHETTO; RAIJ, 1968).

O Zinco (Zn) é constituinte da álcool desidrogenase, desidrogenase glutâmica, anidrase carbônica e outras. Atua no controle da expressão de gen, integridade da membrana e na regulação da absorção do P (MARSCHNER, 1995; TAIZ; ZIEGER, 2004).

Atua principalmente na síntese de proteínas e no crescimento meristemático, participa como "catalisador" na formação do triptofano, é precursor do ácido indol acético, hormônio este responsável pelo crescimento meristemático, influenciando, assim, diretamente no crescimento da parte aérea do cafeeiro (MATIELLO et al., 2002; TAIZ; ZIEGER, 2004).

Os sintomas de deficiência do micronutriente são: a redução da altura de plantas, internódios, folhas e produtividade. Em folhas há uma clorose do limbo foliar, permanecendo apenas as nervuras verdes (FAQUIN, 2005).

Quando a carência é mais severa, as folhas especialmente as mais novas, ficam quebradiças e têm aspecto coriáceo, os ramos ficam com menor número de folhas (MALAVOLTA, 1986, 1993). Os internódios foliares na extremidade dos ramos ficam curtos, pode ocorrer morte dos ramos e as brotações formam rosetas, ficando as plantas cinturadas e os frutos pequenos (MATIELLO et al., 2002).

Esta deficiência é induzida por calagem excessiva, alto teor de Mn, N, Cu e P. Em excesso as folhas mais velhas ficam amareladas quase de cor de gema de ovo (MALAVOLTA et al., 1993), provoca também redução na produtividade (MATIELLO et al., 2002).

A função fisiológica do boro difere da dos outros micronutrientes, pois este ânion não foi identificado em qualquer composto ou enzima específica. As principais funções são atribuídas ao boro são: metabolismo de carboidratos e transporte de açúcares através das membranas; síntese de ácidos nucleicos (DNA e RNA) e de fitohormônios; formação de paredes celulares; divisão celular. O B permeabiliza as paredes celulares, facilitando a absorção de nutrientes e aumenta a resistência da planta à seca (GAUCH; DUGGER JUNIOR, 1953; PILBEAM; KIRKBY, 1983).

Uma das mais rápidas respostas à deficiência de boro é a inibição ou paralização do crescimento dos tecidos meristemáticos da parte aérea e das raízes, considera-se que é necessário um contínuo suprimento de B para a manutenção da atividade meristemática. A razão para esta exigência em B não é conhecida, mais tem sido mostrado que ele é necessário para a síntese de bases nitrogenadas como a uracila a qual é componente essencial do RNA e, se ausente, afetará a síntese de proteínas (MALAVOLTA, 1997).

Plantas deficientes em boro podem apresentar grãos leves, bem como maior queda de florada e formação de sementes, seca dos ponteiros com morte de gema terminal. As plantas apresentam atrofia e posterior necrose das pontas de ramos, podendo ocorrer ou não excesso de brotações laterais, logo abaixo da gema atrofiada, formação de manchas necróticas internervais e nos bordos das folhas (ALBERT, 1968).

A base fisiológica da deficiência de B nas plantas tem sido ligada à concentração de ascorbato (vitamina C) nos ápices da raiz, o que resulta em taxas extremamente lentas de crescimento. Observou-se um acúmulo de Fe e Cu na raiz nas plantas deficientes em B, suspeitando que o  $Fe^{+3}$  possa reagir com o P e formar um tipo de placa que inibe a eficiência de absorção da raiz (MALAVOLTA, 1997).

## 2.9 ESTÔMATOS

O complexo estomático é uma estrutura epidérmica responsável pelas trocas gasosas e de vapor de água entre a planta e o meio. É constituído pelas células anexas ou subsidiárias, pelas células-guarda ou oclusoras e pelo poro estomático, ocorrendo principalmente nas folhas (RODRIGUES; AMANO; ALMEIDA, 2010).

São estruturas fundamentais para a sobrevivência das plantas, pois maior parte do dióxido de carbono absorvido na fotossíntese, bem como a água transpirada pelas plantas terrestres, passa através dos poros estomáticos, também denominados fendas estomáticas ou ostíolos (JONES, 1992).

Regulando trocas gasosas com o ambiente, principalmente dióxido de carbono e vapor de água, os estômatos permitem à planta balancear e otimizar a performance fotossintética com a disponibilidade e uso de água (CHAERLE; SAIBO; VAN DER STRAETEN, 2005).

O sistema estomático é constituído por duas células-guarda pareadas que circundam o ostíolo. Abaixo deste encontra-se a câmara subestomática. As células-guarda podem ainda ser acompanhadas de células companheiras ou subsidiárias. Conforme o número de células subsidiárias ou ausência das mesmas, os estômatos são classificados como anomocíticos, paracíticos, anisocíticos ou tetracíticos quando há ausência, duas, três ou quatro células subsidiárias, respectivamente (ROELFSEMA; HEDRICH, 2005).

São os maiores reguladores de trocas gasosas na planta, controlando, simultaneamente, a saída de água e a entrada de CO<sub>2</sub>; conseqüentemente, controlam também a transpiração e o processo fotossintético. A resistência estomática é diretamente influenciada pela abertura dos poros: quanto maior a abertura, menor a resistência. Esta é controlada pela diferença de turgência entre as células-guarda e as células epidérmicas adjacentes, controladas pelo transporte ativo de íons de potássio das células adjacentes para as células-guarda, que resulta no consumo da energia fornecida pelo ATP (JONES, 1997).

Os estômatos apresentam um comportamento dinâmico, sendo capaz de aumentar ou diminuir a resistência à passagem dos gases através do controle do potencial hídrico ( $\Psi_w$ ) das células-guarda (ROELFSEMA; HEDRICH, 2005). Outra estratégia empregada pelas plantas para adaptar as constantes mudanças ambientais é modular a frequência na qual os estômatos se desenvolvem em novos órgãos (CASSON; GRAY, 2008).

Mudanças na frequência podem ser expressas como índice estomático (razão, expressa em porcentagem, entre número de estômatos e número de estômatos mais número de células epidérmicas) ou na forma de densidade estomática (DE) (número de estômatos por unidade de área). A mudança no índice estomático ou na densidade estomática pode ser considerada um evento de longo termo, pois é um processo no nível estrutural e irreversível. Alterações na frequência do desenvolvimento de estômatos em novos órgãos são reguladas por um mecanismo que envolve órgãos maduros, funcionando como sensores das condições ambientais e enviando sinais para os órgãos em desenvolvimento (COUPE et al., 2006; LAKE et al., 2001; MIYAZAWA; LIVINGSTONE; TURPIN, 2006; SCHOCH; ZINSOU; SIBI, 1980).

O controle estomático é muito estudado, por sua alta relação com a fixação de carbono (e as altas interferências sofridas pelo estresse hídrico e nutricional), com a irradiação, com o potencial hídrico da planta, com o déficit de pressão de vapor e com a concentração de CO<sub>2</sub> (LANDSBERG; SANDS, 2011; TAIZ; ZEIGER, 2004).

As trocas gasosas são importantes no controle do funcionamento da planta como um todo, alterando diversas respostas no espaço e no tempo. A alteração na frequência, em que os estômatos se desenvolvem em um novo órgão é um processo que registra o comportamento da planta conforme as variações ambientais, no intervalo de tempo no qual o órgão se desenvolve. Esse registro, o qual pode ser medido e expresso como densidade estomática é de valor em avaliações ecológicas e fisiológicas, por ser inerente essas duas grandes áreas da botânica. (POOLE et al., 1996).

Sabe-se que a única porta de entrada do CO<sub>2</sub>, assim como a única saída de água pela transpiração, nas plantas, são os estômatos, uma vez que as folhas se revestem de uma cutícula impermeável, o que reforça a importância do controle estomático. Em ambientes extremamente úmidos, as taxas de perda d'água são maiores que a absorção de CO<sub>2</sub>; o fato poderia ser ainda mais intenso em ambientes secos, caso não existisse a resistência da abertura estomática (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Todas as folhas completamente expandidas de uma mesma planta exibem um gradiente ontogênico e espacial da densidade estomática (TICHÁ, 1982). Esse atributo também é fortemente afetado pelas condições de crescimento:

influenciadas pela intensidade e qualidade da radiação (GAY; HURD, 1975), disponibilidade de nutrientes no solo (HSAIO; FISCHER, 1975), disponibilidade de água (GINDEL, 1969) e níveis de dióxido de carbono (WOODWARD; BAZZAZ, 1998). Mesmo quando folhas com equivalentes estágios de desenvolvimento de uma mesma espécie são estudadas, deve ser estabelecido se há diferença na densidade estomática ao longo da superfície foliar, em qualquer desses níveis, ontogênico e fenotípico (WEYERS; MEIDNER, 1990).

Como há variações das condições ambientais no intervalo de tempo em que o órgão (folha) se desenvolve devido à heterogeneidade da distribuição dos estômatos, há necessidade de se estabelecer a existência de diferenças na densidade estomática ao longo da superfície foliar (POOLE et al., 1996).

O crescimento das folhas em Monocotiledôneas ocorre unidirecionalmente, com células sendo constantemente produzidas na região meristemática, próximo à base da folha, e são afastadas do meristema pela subsequente divisão e alongação das células, resultando em um nítido padrão de distribuição dos estômatos longitudinalmente na folha (FRASER; SILK; ROST, 1990; SKINNER; NELSON, 1994). Devido a essa característica é possível deduzir processos temporais, através de características espaciais em folhas de Monocotiledôneas (POOLE et al., 1996).

No entanto, o mesmo não é possível em Dicotiledôneas, pois essas apresentam um crescimento bidirecional das folhas, ocorrendo divisões celulares em todo o limbo foliar. Esse fato provoca uma aparente aleatoriedade da distribuição espacial dos estômatos (GRANIER; TARDIEU, 1998).

## REFERÊNCIAS

ABADIA, J.; LÓPEZ-MILLÁN, A.; ROMBOLÀ, A.; ABADÍA, A. Organic acids and Fe deficiency: a review. **Plant and Soil**, The Hague, v. 241, n. 1, p. 75-86, 2002.

ABCSEM. Associação Brasileira do Comércio de Sementes e Mudanças. **Projeto para levantamento dos dados socioeconômicos da cadeia produtiva de hortaliças no Brasil**, 2010/2011. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso em: 22 maio 2015.

ACCORSI, W. R.; HAAG, H. P. Alterações morfológicas e citológicas do cafeeiro cultivado em solução nutritiva, decorrentes das deficiências e excessos de macronutrientes. In: ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA "LUIZ DE QUEIROS", 16., 1959, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ESALQ, 1959. p. 17-36.

AIDAR, H.; KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F. Aspectos conjunturais da produção de feijão. In: \_\_\_\_\_. **Produção do feijoeiro comum em várzeas tropicais**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. p. 272-287.

ALBERT, L. S. Induction and antagonism of boron-like deficiency symptoms of tomato plants by selected nitrogen-bases. **Plant Physiology**, Lancaster, v. 43, n. 1, p. 51-54, 1968.

ALMEIDA, S. R.; GARCIA, A. W. R. Nota sobre novos sintomas de deficiência de fósforo e magnésio em cafeeiros em condições de campo, no sul de Minas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 8., 1980, Campos do Jordão. **Anais...** Campos do Jordão, 1980. p. 323-325.

ALVES, B. J. R.; ZOTARELLI, L.; JANTALIA, C. P.; BODDEY, R. M. & URQUIAGA, S. Emprego de isótopos estáveis para o estudo do carbono e nitrogênio no sistema solo planta. In: AQUINO, A. M. & ASSIS, R. L., orgs. **Processos biológicos no sistema solo-planta: Ferramentas para uma agricultura sustentável**. Brasília, Embrapa/Informação Tecnológica, 2005. v.1. p.343-368.

AMARAL, C.; LAGE, D. A. **Nutrição vegetal**: funções e deficiências. 2010. Disponível em: <[http://www.aquahobby.com/articles/b\\_nutricao\\_vegetal.php](http://www.aquahobby.com/articles/b_nutricao_vegetal.php)>. Acesso em: 1 out. 2010.

ANDRADE, F. A.; GONÇALVES, L. S. A.; MIGLIORANZA, E.; RUAS, C. F.; RUAS, P. M.; TAKAHASHI, L. S. A. AFLP analysis of genetic diversity in determinate and indeterminate snap bean accessions. **Acta Scientiarum**. Agronomy, Maringá, v. 38, n. 1, p. 29-34, jan./mar. 2016.

ARAÚJO, D. F. S.; SILVA, A. M. R. B.; LIMA, L. L. A.; VASCONCELOS, M. A. S.; ANDRADE, S. A. C.; SARUBBO, L. A. The concentration of minerals and physicochemical contaminants in conventional and organic vegetables. **Food Control**, Guildford, v. 44, p. 242- 248, oct. 2014.

BALDANI, J.I.; TEIXEIRA, K.R.S.; SCHWAB, S.; OLIVARES, F.L.; HEMERLY, A.S.; SEGUNDO URQUIAGA; REIS, V.M.; NOGUEIRA, E.M.; ARAUJO, J.L.S.; BORGES, L.E.; SOARES, L.H.B.; VINAGRE, F.; BALDANI, V.L.D.; CARVALHO, T.L.G.;

ALVES, B.J.R.; JAMES, E.K; JANTALIA, C.P.; FERREIRA, P.C.G.; VIDAL, M.S.; BODDEY, R.M. Fixação Biológica de Nitrogênio em Plantas da Família Poaceae (Antiga Gramínea) In: ALVAREZ, V.H.; SCHAEFER, C.E.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V.; COSTA, L.M. (Eds.). **Tópicos em Ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.6, p.203-271, 2009

BARBOSA FILHO, M.P.; FAGERIA, N.K., SILVA, O.F. Fontes, doses e parcelamento da adubação nitrogenada em cobertura para feijoeiro comum irrigado. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 1, p. 69-76, jan/fev., 2005a.

BARBOSA FILHO, M.P.; FAGERIA, N.K.; SILVA, O.F. **Aplicação de nitrogênio em cobertura no feijoeiro irrigado**. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA Arroz e Feijão, 2001. 8 p. (Circular Técnica,49).

BARBOSA FILHO, M.P.; SILVA, O.F. Adubação e calagem para o feijoeiro irrigado em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n.7, p. 1317- 1324, 2000.

BARROS, R.L.N. Interação entre inoculação com rizóbios e adubação nitrogenada de plantio, na produtividade do feijoeiro comum. Seropédica: UFRRJ, 2013. 47p. (Dissertação de Mestrado em Agronomia/Fitotecnia).

BHADORIA, P. S.; EL DESSOUGI, H.; LIEBERSBACH, H.; CLAASSEN, N. Phosphorus uptake kinetics, size of root system and growth of maize and groundnut in solution culture. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 262, p. 327-336, 2004.

BINNING, L.K. BOERBOOM, C.M. **Commercial vegetable Production in Wisconsin(A3422)**. Updated Annually. University of Wisconsin-Extension. 2017

BLANCO MCSG; GROPPA GA; TESSARIOLI NETO J. **Feijão-vagem**. Manual Técnico das Culturas, Campinas 8: 63-65. 1997.

BOARETTO, A.E.; TRIVELIN, P.C.O; MURAOKA, T. Uso de isótopos como traçadores em fertilidade do solo e nutrição de plantas. Centro de Energia Nuclear na Agricultura – USP. **Resumos expandidos... FERTBIO**, 2004.

BODDEY RM, PEOPLES MB, PALMER B, DART PJ. Use of <sup>15</sup>N natural abundance technique to quantify biological nitrogen fixation by woody perennials. **Nutr Cycl Agroecosyst**. 2000;57:235-70. doi:10.1023/A:1009890514844

BODDEY, R.M.; POLIDORO, J.C.; RESENDE, A.S.; ALVES, B.J.R. & URQUIAGA, S. Use of the <sup>15</sup>N natural abundance technique for the quantification of the contribution of N<sub>2</sub> fixation to sugar cane and other grasses. **Australian Journal Plant Physiology**, v.28, p.889- 895, 2001.

BRANDÃO, R. A. P. **Avaliação da qualidade das vagens e sementes de feijão-vagem (Phaseolus vulgaris L.), cvs. UEL-1 e AG-274, em função da idade e época de cultivo**. 2001. 22 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2001.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. **Perfil do feijão no Brasil**. 2015. Disponível em:

<<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/feijao/saiba-mais>>. Acesso em: 22 ago. 2015.

BRITO, L.F. **Iniciação da nodulação em cultivares de feijoeiro**. Seropédica: UFRRJ, 2013. 56p. (Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo).

BROUGHTON, W. J.; HERNANDEZ, G.; BLAIR, M.; BEEBE, S.; GEPTS, P.; VANDERLEYDEN, J. Beans (*Phaseolus* spp.): model food legumes. **Plant Soil**, Dordrecht, v.252, p.55-128, 2003.

CASTELLANE, P. D.; VIEIRA, R. D.; CARVALHO, N. M. **Feijão-de-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.)**: cultivo e produção de sementes. Jaboticabal: FUNEP/FCAV-UNESP, 1988. 60 p.

COLEMAN, ELIOT. **The New Organic Grower**, Chelsea Green Publishing, second edition, 1995.

DEBOUCK, D. G. **Diversity in Phaseolus species in relation to the common bean**. In: SINGH, S. P. Common bean improvement in the twenty-first century. Dordrecht: Kluwer, 1999. p. 25-52.

DEBOUCK, D. G. **Phaseolus germplasm exploration**. In: GEPTS, P. Genetic resources of Phaseolus beans. Dordrecht: Kluwer, 1986. p. 3-29.

DEBOUCK, D. G. **Systematics and morphology**. In: SCHOONHOVEN, A.; VOYSEST, O. Common beans: research for crop improvement. Cáli: CIAT, 1991. p. 55-118.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

DOURADO NETO, D.; FANCELLI, A. L. **Produção de feijão**. Guaíba: Agropecuária, 2000.

FAGERIA, N. K.; BARBOSA FILHO, M. P.; STONE, L. F. Nutrição de fósforo na produção de feijoeiro. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. e. **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafós, 2004. p. 435- 455.

FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. **Advances in Agronomy**, v.88, p. 97-185, 2005.

FAO. 2015, 20 de junho. **Statistical databases** - Agriculture. Rome: FAO. Available in: <http://www/apps.fao.org>. Acesso em: 12 ago. 2017.

FAO 2018. **Low cost, high impact solutions for improving the quality and shelf-life of snap beans in local markets**. Available in: <http://www/apps.fao.org>. Acesso em: 10 ago. 2018.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005.

FERNANDES, D. R. **Cultura de café no Brasil**: novo manual de recomendações. Rio de Janeiro: MAPA/SARC/PROCAFÉ, 2002.

FERNANDES, M.F.; FERNANDES, R.P.M.; HUNGRIA, M. Seleção de rizóbios para guandu, caupi e feijão-de-porco nos tabuleiros costeiros de Sergipe. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.7, p. 835-842, julho de 2003.

FERREIRA, A.N.; ARF, O.; CARVALHO, M.A.C.; ARAUJO, R.S.; SÁ, M.E.; BUZETTI, S.. Estirpes de *Rhizobium tropici* na inoculação do feijoeiro. **Scientia Agrícola**, v.57, n.3, p.507-512, 2000.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura**: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 3. ed. Viçosa: UFV, 2003.

FILGUEIRA, F.A.R. **Novo Manual de Olericultura**: Agrotecnologia moderna na produção de hortaliças. Viçosa: UFV, 2000. p. 309-313.

FOY, C. D.; CHANEY, R. L.; WHITE, M. C. The physiology of metal toxicity in plants. **Annual Review of Plant Physiology**, Lancaster, v. 29, p. 511-566, 1978.

FRANCO, A.A.; PEREIRA, J.C.; NEYRA, C.A. Seasonal patterns of nitrate reductase and nitrogenase activities in *Phaseolus vulgaris* L.. **Plant Physiology**, v.63, p.421-424, 1979.

FRANCO, C. M.; INFORZATO, R. O sistema radicular do cafeeiro nos principais tipos de solo do Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 6, p. 443-478, 1946.

FREITAS, F. O. Evidências genético-arqueológicas sobre a origem do feijão comum no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 7, p. 1199-1203, jul. 2006.

FREITAS, F. O.; BENDEL, G.; ALLABY, R. G.; BROWN, T. A. DNA from primitive maize landraces and archaeological remains: implications for the domestication of maize and its expansion into South America. **Journal of Archaeological Science**, New York, v. 30, n. 7, p. 901-908, jul. 2003.

GARRITY, G.M.; HOLT, J.G. The road map to the Manual. In: GARRITY, G.M.; BOONE, D.R.; CASTENHOLZ, R.W. (Ed). **Bergey's manual of systematic bacteriology**. 2ed. New York. Springer-Verlag, v.1, p.119-154, 2001.

GAUCH, H. G.; DUGGER JUNIOR, W. M. The role of boron in the translocation of sucrose. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 28, p. 457-466, 1953.

GEPTS, P.; BLISS, F. A. Phaseolin variability among wild and cultivated common beans (*Phaseolus vulgaris*) from Colombia. **Economic Botany**, New York, v. 40, n. 4, p. 469-478, oct./dec. 1986.

GEPTS, P.; DEBOUCK, D. G. Origin, domestication, and evolution of the common bean (*Phaseolus vulgaris*). In: SCHOONHOVEN, A. van.; VOYSEST, O. **Common beans: research for crop improvement**. Cáli: CIAT, 1991. p. 7-53.

GEPTS, P.; OSBORN, T. C.; RASCA, K.; BLISS, F. A. Phaseolin-protein variability in wild forms and landraces of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.): evidence for multiple centers of domestication. **Economic Botany**, New York, v. 40, n. 4, p. 451-468, out./dec. 1986.

GRAHAM, P.H.; ROSAS, J.C.; DE JENSEN, C.E.; PERALTA, E.; TLUSTY, B.; ACOSTA GALLEGOS, J.; PEREIRA, P.A.A. Addressing edaphic constraints to bean production: the Bean/Cowpea CRSP project in perspective. **Field Crops Research**, v.82, p.179-192, 2003.

GRANT, C. A.; FLATEN, D. N.; TOMASIEWICZ, D. J.; SHEPPARD, S. C. **A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta**. Piracicaba: POTAFOS, 2001. (Informações agrônômicas, 95).

GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L.; SANTOS, G. A.; FERNANDES, M. S. Conteúdo de fósforo orgânico em amostras de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, p. 291-299, 1996.

GUIMARÃES, C. M. Relações hídricas. In: ARAÚJO, R. S.; RAVA, C. A.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M. J. O. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Associação Brasileira de Pesquisa da Potassa e Fosfato, 1996. p. 139-167.

GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G. **Nutrição mineral do cafeeiro**. 1997. 70 f. Monografia (Pós Graduação "Lato Sensu") - UFLA/FAEPE, Lavras, 1997.

GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G.; SOUZA, C. A. S. Nutrição do cafeeiro: extração de nutrientes, calagem e gessagem nas fazes de plantio, formação e produção. In: \_\_\_\_\_. **Cafeicultura**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2002. p. 194-234.

HAAG, H.P., MALAVOLTA, E., GARGANTINI, H. *et al.* Absorção de nutrientes pela cultura do feijoeiro. **Bragantia**. Campinas, v. 26, n. 30, p. 381-91, 1967.

HAESBAERT, F. M.; SANTOS, D.; LÚCIO, A. D. C.; BENZ, V.; ANTONELLO, B. I.; RIBEIRO, A. L. P. Tamanho de amostra para experimentos com feijão-de-vagem em 19 diferentes ambientes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 1, p. 38-44, jan. 2011.

HARDARSON, G.; DANSO, S.K.A. & ZAPATA, F. Dinitrogen fixation measurements in alfalfa-ryegrass swards using nitrogen-15 and influence of the reference crop. **Crop Sci.**, 28:101-105, 1988.

HUBER, D. M. The role of mineral nutrition in defense. In: HORSFALL, J. G.; COWLING, E. B. (Ed.). **And advanced treatise: how plants defend themselves**. New York: Academic, 1980. v. 5, p. 381-406.

HUNGRIA, M. et al. **Fixação biológica do nitrogênio em soja**. In: ARAUJO, R.S.; HUNRIA, M. (Eds). **Microrganismos de importância agrícola**. Brasília: Embrapa-spi, 1994. p.9-90.

HUNGRIA, M.; BARRADAS, C.A.; WALLSGROVE, R.M. Nitrogen fixation, assimilation and transport during the initial growth stages of *Phaseolus vulgaris*. **Journal of Experimental Botany**, v.42, p.839-844, 1991.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R.J.; MENDES, I.C. Benefits of inoculation of the common bean (*Phaseolus vulgaris*) crop with efficient and competitive Rhizobium strains. **Biology and Fertility of Soils**, v.39, p.88-93, 2003.

HUNGRIA, M.; VARGAS, M.A.T. Environmental factors affecting N<sub>2</sub> fixation in grain legumes in the tropics, with emphasis on Brazil. **Field Crops Research**, v.65, p.151-164, 2000.

KAISER, C. AND M. ERNST. **Snap Beans**. CCD-CP-118. Lexington, KY: Center for Crop Diversification, University of Kentucky College of Agriculture, Food and Environment. Available: <http://www.uky.edu/ccd/sites/www.uky.edu/ccd/files/snapbeans.pdf>, 2017.

KIKUTI, H.; ANDRADE, M.J.B.; CARVALHO, J.G.; MORAIS, A.R. Nitrogênio e fósforo em feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) variedade cultivada BRS MG Talismã. **Acta Scientiarum**. Maringá, v27, n.3, p. 415-422, July/Sept., 2005.

KIST, S. L. **Suprimento de potássio em argissolo com histórico de adubação potássica**. 2005. 68f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

KOPRIVA, S.; RENNENBERG, H. Control of sulphate assimilation and glutathione synthesis: interaction with N and C metabolism. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 55, p. 1831-1842, 2004.

KRAISER, T.; GRAS, D. E.; GUTIÉRREZ, A. G.; GONZÁLEZ, B.; GUTIÉRREZ, R. A. A holistic view of nitrogen acquisition in plants. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 62, p.1455-1466, 2011.

KUPPER, A.; SACCHETTO, M. T. D.; RAIJ, B. Formas e níveis de manganês em alguns solos com e sem calagem. **Bragantia**, Campinas, v. 27, n. 15, p. 15-17, 1968.

KUROZAWA, C. **Feijão-vagem**. 2007. Disponível em: <<http://globo.ruraltv.globo.com/GRural/0,27062,LTP0-4373-0-L-F,00.html>>. Acesso em: 14. jul. 2015.

LAING, D.R., P.G. JONES & J.H.C. DAVIS. Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). pp. 305-352. In P.R. Goldsworthy & N. Fisher (eds.), **The Physiology of Tropical Field Crops**. Wiley, New York, U.S.A. 1984.

LAVIOLA, B. G.; MARTINEZ, H. E.; SALOMÃO, L. C. C.; CRUZ, C. D.; MENDONÇA, S. M. Acúmulo de nutrientes em frutos de cafeeiro em quatro altitudes de cultivo: cálcio, magnésio e enxofre. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1451-1462, 2007.

LEIDI, E.O.; RODRÍGUEZ-NAVARRO, D.N. Nitrogen and phosphorus availability limit N<sub>2</sub> fixation in bean. **New Phytologist**, v.147, p.337-346, 2000.

MAITI, R.K. **Phaseolus spp. : Bean Science**. Science Publishers, Enfield, U.S.A. 1997.

MALAVOLTA, E. Importância da adubação na qualidade dos produtos/função dos nutrientes na planta. In: SÁ, M. E. de; BUZZETI, S. **Importância da adubação na qualidade dos produtos agrícolas**. São Paulo: Ícone, 1994. p. 19-43.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006.

MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação do cafeeiro**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1993.

MALAVOLTA, E. Nutrição, adubação e calagem para o cafeeiro. In: RENA, A. B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Ed.). **Cultura do cafeeiro**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Patafos, 1986. p. 165-274.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: Princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: Patafos, 1997. 319p.

MARCO, K.; DALLACORT, R.; FARIA JÚNIOR, C. A.; FREITAS, P. S. L.; VILLELA, T. G. Aptidão agroclimática e características agronômicas do feijão-comum semeado na safra das águas em Tangará da Serra – MT. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 8, n. 15, p. 160- 170, nov. 2012.

MARIOT, E. J. **Aptidões climáticas, ideótipos e épocas de cultivo do feijoeiro no Paraná**. In: IAPAR. Feijão: tecnologia e produção. Londrina: IAPAR, 2000. p. 5-13. (Informe de Pesquisa, 135).

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. New York: Academic Press, 1995.

MARTINEZ, P. F. **Manejo de substratos para horticultura**. In: ENCONTRO

MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A. W. R.; ALMEIDA, S. R.;

MATTOS JÚNIOR, D.; BATAGLIA, O. C.; QUAGGIO, J. A. Nutrição dos citros. In: MATTOS JÚNIOR, D.; DE NEGRI, J. D.; PIO, R. M.; POMPEU JÚNIOR, J. **Citros**. Campinas: Instituto Agronômico e Fundag, 2005.

MEIRA, F.A.; SÁ, M.E.; BUZZETTI, S.; ARF, O. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio no feijoeiro irrigado cultivado em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n.4, p. 383-388, abr., 2005.

MELLO, F. A. F.; BRASIL SOBRINHO, M. O. C.; ARZOLLA, S. **Fertilidade do solo**. São Paulo: Nobel, 1989.

MELO, P. C. T. **Panorama atual da cadeia de produção de hortaliças no Brasil**. REUNIÃO ORDINÁRIA DA CÂMARA SETORIAL DA CADEIA PRODUTIVA DE HORTALIÇAS, 6., 2006, Brasília. Palestra proferida.... Brasília: CNPA/MAPA, 2006.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. Dordrechth: Kluwer Academic Publishers, 2001.

MIKLAS, P. N.; COYNE, D. P.; GRAFTON, K. F.; MUTLU, N.; REISER, J.; LINDGREN, D. T.; SINGH, S. P. A major QTL for common bacterial blight resistance derives from the common bean great northern landrace cultivar Montana No. 5. **Euphytica, Netherlands**, v. 131, n. 1, p. 137-146, may. 2003.

MINTEL, **Food and Drink Report: UK Fresh Fruit and Vegetables**, May. 2002.

MIRANDA, C. H. B.; VIEIRA, A.; CADISCH, G. Determinação da Fixação Biológica de Nitrogênio no Amendoim Forrageiro (*Arachis spp.*) por Intermédio da Abundância Natural de  $^{15}\text{N}$ . **R. Bras. Zootec.** v.32, n.6, p.1859-1865, 2003 (Supl. 2)

MORAES, S. R. G.; POZZA, E. A.; ALVES, E.; POZZA, A. A. A.; CARVALHO, J. G.; LIMA, P. H.; BOTELHO, A. O. Efeitos de fontes de silício na incidência e na severidade da antracnose do feijoeiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 31. p. 69-75, 2006.

MORAIS, R. F.; QUESADA, D. M.; REIS, V. M.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Contribution of biological nitrogen fixation to Elephant grass (*Pennisetum purpureum Schum.*). **Plant and soil**, DOI 10.1007/s11104-011-0944-2, 2011

MOREIRA, R. M. P.; FERREIRA, J. M.; TAKAHASHI, L. S. A.; VASCONCELOS, M. E. C.; GEUS, L. C.; BOTTI, L. **Potencial agrônômico e divergência genética entre genótipos de feijão-vagem de crescimento determinado**. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v.30, n. 1, p. 1051-1060, 2009.

MUÑOZ, G.; GIRALDO, G.; SOTO, J. F. **Descriptorios varietales: arroz, frijol, maíz, sorgo**. Colômbia: CIAT, 1993.

NACIONAL DE SUBSTRATOS PARA PLANTAS, v.3, 2002, Campinas. **Anais...**

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Ceres, 1981.

PEIXOTO, N.; THUNG, M. D. T.; SILVA, L. O.; FARIAS, J. G.; OLIVEIRA, E. B.; BARBEDO, A. S. C.; SANTOS, G. **Avaliação de cultivares arbustivas de feijão-vagem em diferentes ambientes do Estado de Goiás**. Goiânia: EMATER – GO, 1997. 20 p. Boletim de Pesquisa 01.

PELEGRIN, R.; MERCANTE, F.M.; OTSUBO, I. M.N.; OTSUBO, A.A. Resposta da cultura do feijoeiro à adubação nitrogenada e à inoculação com rizóbio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.219-226, 2009.

PEÑA-CABRIALES, J.J.; GRAGEDA-CABRERA, O.A.; KOLA, V.; HARDARSON, G. Time course of  $\text{N}_2$  fixation in common bean (*Phaseolus vulgaris L.*). **Plant and Soil**, v.152, p.115-121, 1993.

PEREIRA, V. G. C.; GRIS, D. J.; MARANGONI, T.; FRIGO, J. P.; AZEVEDO, K. D.; GRZESIUCK, A. E. Exigências agroclimáticas para a cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris L.*). **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, Palotina, v. 3, n. 1, p. 32-42, jan./mar. 2014.

PILBEAM, D.J.; KIRKBY, E.A. The physiological role of boron in plants. **Journal of Plant Nutrition**, v.6, p.363-382, 1983.

- PORTES, T. A. **Ecofisiologia**. In: ZIMMERMANN, M. J. O.; ROCHA, M.; YAMADA, T. *Cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade*. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1988. p. 125-156.
- PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. São Paulo: UNESP, 2008. 407 p.
- QUEIROGA, J. L.; ROMANO, E. D. U.; SOUZA, J. R. P.; MIGLIORANZA, E. Estimativa da área foliar do feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) por meio da largura máxima do folíolo central. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 1, p. 64-68, jan./mar. 2003.
- RENNIE, R.J.; KEMP, G.A. N<sub>2</sub> fixation in field beans quantified by <sup>15</sup>N isotope dilution. II. Effect of cultivars of beans. **Agronomy Journal**, v.75, p.645-649, 1983.
- ROSOLEM, C.A.; MARUBAYASHI, O.M. Seja doutor do seu feijoeiro. **Informações Agronômicas**, n.68, 1994. Encarte Arquivo do Agrônomo, n.7, p.1-16. SOUZA, J.L.; RESENDE, P. **Manual de Horticultura Orgânica**, 2° ed. Viçosa, 2006.
- ROUACHED, H.; ARPAT, A. B.; POIRIER, Y. Regulation of phosphate starvation responses in plants: signaling players and cross-talks. **Molecular Plant**, Berkeley, v. 3, n. 2, p. 288-299, 2010.
- RYLE, G. J. A.; POWELL, C. E.; GORDON, A. C. The respiratory costs of nitrogen fixation in soyabean, cowpea, and white clover. II. Comparisons of the cost of nitrogen fixation and the utilization of combined nitrogen. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 30, p. 145-153, 1979.
- SANTOS, A.B. dos; SILVA, O.F. da. Manejo do nitrogênio. In: AIDAR, H.; KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L.F. (Ed.). **Produção do feijoeiro comum em várzeas tropicais**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. p.207-216.
- SANTOS, C. O.; SOUZA, R. M. Agricultura orgânica em Sergipe: alternativa à sustentabilidade?. **Revista Geonorte**, Manaus, v. 3, n. 4, p. 449-462, jun. 2012.
- SANTOS, J. B.; GAVILANES, M. L. Botânica. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. **Feijão**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2006. p. 41-65.
- SANTOS, L. A.; REIS, V.M. **A formação de nódulos e leguminosas**. Documentos. EMBRAPA Agrobiologia, 2008.
- SHEARER, G.; KOHL, D H. Natural Abundance of <sup>15</sup>N: Fractional Contribution of Two Sources to a Common Sink and Use of Isotope Discrimination. In: KNOWLES, R.; BLACKBURN, T.H.; **Nitrogen Isotope Techniques**. London: Academic Press, 1992. P. 89- 122.
- SHEARER, G.; KOHL, D. H. N<sub>2</sub>-fixation in field settings: estimations based on natural <sup>15</sup>N abundance. **Australian Journal of Plant Physiology**, 13: 699–756. 1986.
- SHONNARD, G. C.; GEPTS, P. Genetics of heat tolerance during reproductive development in common bean. **Crop Science**, Madison, v. 34, n. 5, p. 1168-1175, Sep./Oct. 1994.

SILBERNAGEL, M. J. Snap bean breeding. In: BASSETT, M.J. (Ed.). **Breeding vegetable crops**. Westport: The AVI, 1996. p. 243-282.

SILVA, S. C. da; STEINMETZ, S. Clima. In: AIDAR, H. (Ed.). **Cultivo do feijoeiro comum**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2003. (Embrapa Arroz e Feijão. Sistemas de Produção, 2). Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/CultivodoFeijoeiro/clima.htm>>. Acesso em: 22 ago. 2015.

SINGH, S. P. Broadening the genetic base of common bean cultivars: a review. **Crop Science**, Madison, v. 41, n. 6, p. 1659-1675, nov. 2001.

SINGH, S. P.; GUTIERREZ, J. A.; MOLINA, A.; URREA, C.; GEPTS, P. Genetic diversity in cultivated common bean. II. Marker-based analysis of morphological and agronomic traits. **Crop Science**, Madison, v. 31, n. 1, p. 23-29, jan./feb. 1991.

SINGH, SHREE P. 1981. **A key for identification of different growth habits of Phaseolus vulgaris L.**. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, CO. 4 p.

STACEY, G.; BURRIS, R.H.; EVANS, H.J. **Biological Nitrogen Fixation**. New York: Chapman and Hall, 1992. 943p

STAUFFER, M, D.; SULEWSKI, G. Fósforo – nutriente essencial para a vida. In: SIMPÓSIO DESTACA A ESSENCIALIDADE DO FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2003, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Potafós, 2003. (Informações Agronômicas, 102).

STEVENSON, F.J.; COLE, M.A. **Cycles of soil: Carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients**. 2.ed. NewYork, John Wiley & Sons, 1999.

STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A. Resposta do feijoeiro ao nitrogênio em cobertura, sob diferentes lâminas de irrigação e preparos do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n.3, p. 473-481, mar., 2001.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2013.

TEIXEIRA, I. R.; ANDRADE, M. J. B. de.; CARVALHO, J. G. de.; MORAIS, A. R. de.; CORRÊA, J. B. D. Resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Pérola) a diferentes densidades de semeadura e doses de nitrogênio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, n. 4, p. 399-408, abr./jun. 2000.

TORO, O.; TOHME, J.; DEBOUCK, D. G. **Wild bean (Phaseolus vulgaris L.): description and distribution**. Cáli: CIAT, 1990.

TRIVELIN, P. C. O. Técnicas com <sup>15</sup>N em estudos de fixação biológica do nitrogênio (FBN). Apostila do Programa de Pós-Graduação em Energia Nuclear na Agricultura, **CENA/USP**, Piracicaba, outubro de 2001.

USDA 2016. **Snap bean production**. <https://www.ams.usda.gov>

VAVILOV, N. I. Linnaeus species as a system. **Bulletin Applied Botanic Genetic**, Saint Louis, v. 26, n. 3, p. 109-134, 1931.

VENTURINI, S.F.; ANTONIOLLI, Z.I.; VENTURINI, E.F.; GIRACCA, E.M.N. **Efeito da inoculação com rhizobium e aplicação de nitrogênio em cobertura na cultura do feijoeiro**. UFSM, CCR, Departamento de Solos, Santa Maria-RS. 4p. 2002

VIEIRA C.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. **Feijão**. Viçosa: UFV, 2006.

VIEIRA, A. R. R.; SCHNEIDER, L.; MARQUES JÚNIOR, S.; JUSTINO, R. G. B.; VONZUCCALMAGLIO, G.; SILVA, J. G. Caracterização térmica e hídrica da cultura do feijão-vagem na região da grande Florianópolis. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 6, p. 929-936, jun. 1998.

VIEIRA, C. **Perspectiva da cultura do feijão e de outras leguminosas de grãos no país e no mundo**. In: ZIMMERMANN, M. J. O.; ROCHA, M.; YAMADA, T. Cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Associação Brasileira da Potassa e do Fosfato, 1988. p. 2–19.

VIEIRA, C.; BORÉM, A.; RAMALHO, M. A. P. Melhoramento do feijão. In: BORÉM, A. **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: UFV, 1999. p. 273-349.

VITTI, G. C.; FAVARIN, J. L.; RESENDE, L. O.; TREVISAN, W. **Manejo do nitrogênio em diversos sistemas de produção agrícola**. Piracicaba: Serrana/FEALQ/GAPE, 1999.

WATANABE, I.; YONEYAMA, T.; PADRE, B.; LADHA, J.K. Difference in natural abundance of  $^{15}\text{N}$  in several rice (*Oriza sativa* L.) varieties: Application for evaluating  $\text{N}_2$  fixation. **Soil Science Plant Nutrition**, v. 33, p.407-415., 1987.

WILCOX, G.E., FAGERIA, N.K. **Deficiências nutricionais do feijão, sua identificação e correção**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1976. 22 p. (Boletim Técnico, 5).

WUTKE, E. B.; BRUNINI, O.; BARBANO, M. T.; CASTRO, J. L. de.; GALLO, P. B.; KANTHACK, R. A. D.; MARTINS, A. L. M.; PEREIRA, J. C. V. N. A.; BORTOLETTO, N.; PAULO, E. M.; SAKAI, M.; SAES, L. A.; AMBROSANO, E. J.; CARBONELL, S. A. M.; SILVEIRA, L. C. P. Estimativa de temperatura base e graus-dia para feijoeiro nas diferentes fases fenológicas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 55-61, 2000.

XAVIER, G. R.; MARTINS, L. M.; RUMJANEK, N. G.; NEVES, M. C. P. Tolerância de rizóbio de feijão-caupi à salinidade e à temperatura em condição in vitro. **Caatinga** (Mossoró, Brasil), v. 20, n. 4, p. 01-09, 2007.

YONEYAMA, T.; MURAOKA, T. KIM, T.H.; DACANAY, E.V. & NAKANISHI, Y. The natural  $^{15}\text{N}$  abundance of sugarcane and neighbouring plants in Brazil, the Philippines and Miyako (Japan). **Plant and Soil, Dordrecht**, v. 189, p.239-244, 1997.

ZILLI, J. É. PERREIRA, G. M. D.; FRANÇA JUNIOR, I.; SILVA, K.; HUNGRIA, M.; ROUWS, J. R. C. Dinâmica de rizóbios em solo do cerrado de Roraima durante o período de estiagem. **Acta Amazônica**, vol. 43(2) 2013: p.153 – 160.

ZIMMERMANN, M. J. O.; TEIXEIRA, M. G. Origem e evolução. In: ZIMMERMANN, M. J. O.; ROCHA, M.; YAMADA, T. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Associação Brasileira da Potassa e do Fosfato. 1996. p. 57-68.

### **3 ARTIGO A: DOSES DE NITROGÊNIO NA PRODUTIVIDADE DE FEIJÃO VAGEM NÃO NODULÍFERO**

#### **3.1 RESUMO**

Pouco se sabe sobre as doses de N ideais para feijão vagem não nodulífero, as taxas de remoção de outros macronutrientes (P, K, S, Ca, Mg) e micronutrientes (B, Zn, Mn, Cu) e a produtividade na região de Central Sands-Wisconsin, EUA. O objetivo deste trabalho foi verificar a influência do aumento de doses de N para feijão-vagem não nodulífero. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro repetições, em parcelas subdivididas, com doses de N de 20, 50, 80, 110, 140 e 170 lb-N ac<sup>-1</sup> (22,4; 56,0; 89,6; 123,2; 156,9 e 190,4 Kg-N ha<sup>-1</sup>). As parcelas foram colhidas mecanicamente e determinados a produtividade e o teor total de N, P, K, S, Ca, Mg, B, Zn, Mn, Cu. Os resultados do estudo foram submetidos à análise de variância e as médias à regressão polinomial até segundo grau para determinar a dose ideal de fertilizante nitrogenado, além de as diferentes épocas serem comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Os resultados mostraram aumento linear da produtividade, conforme o incremento das doses de N e diferenças nas épocas de cultivo devido à sazonalidade climática.

**Palavras-chave:** Ureia; Rendimento; Época de semeadura; Fertilização.

## NITROGEN DOSES IN NUODULIFEROUS BEAN PRODUCTION

### 3.2 ABSTRACT

Little is known about the ideal N rates for non-nodular bean beans, rates of removal of other macronutrients (P, K, S, Ca, Mg) and micronutrients (B, Zn, Mn, Cu ) and productivity in Central Sands-Wisconsin, USA. The objective of this work was to verify the influence of the increase of nitrogen doses for non-noduliferous bean. The experimental design was a randomized complete block design with four replications, in split plots, with N doses of 20, 50, 80, 110, 140 and 170 lb-N ac<sup>-1</sup>) or (22,4; 56,0; 89,6; 123,2; 156,9 and 190,4 Kg-N ha<sup>-1</sup>). The plots were mechanically harvested and productivity and the total content of N, P, K, S, Ca, Mg, B, Zn, Mn, Cu were determined. The results of the study were submitted to analysis of variance and the means to the polynomial regression until second degree to determine the ideal nitrogen fertilizer dose, in addition to the different periods being compared by the Tukey test at 5% probability. The results showed a linear increase in productivity, according to the increase of N rates and differences in crop seasons due to climatic seasonality.

**Keywords:** Urea; Yield; Sowing time; Fertilization.

### 3.3 INTRODUÇÃO

O feijão-de-vagem é consumido em diversos países, com a produção mundial estimada em 6,5 milhões de t ano<sup>-1</sup>, sendo a China o maior produtor, seguida por Indonésia e Turquia (FAO, 2018).

Pertencente à mesma família e espécie botânica do feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma hortaliça da qual são consumidas as vagens ainda imaturas (FILGUEIRA, 2003). A maior produtividade dessa hortaliça é favorecida por temperaturas do ar entre 18 a 30°C, não tolerando temperaturas elevadas, tampouco geadas ou baixas temperaturas. No período entre a diferenciação dos botões florais até o enchimento dos grãos nas vagens, as altas temperaturas reduzem o número de vagens por planta, devido à esterilização do grão de pólen com consequente queda das flores (PRELA; RIBEIRO, 2002).

O manejo da adubação nitrogenada é de extrema importância, visto ser o nutriente absorvido em maior quantidade pela cultura e de grande influência na produtividade. De acordo com Barbosa Filho e Silva (2001), a uréia e o sulfato de amônio são duas fontes com pouca eficiência de utilização pelas culturas, dificilmente superiores a 50%; sendo, porém, as fontes mais utilizadas, provavelmente devido ao menor custo e à disponibilidade no mercado. Enquanto outras fontes de N não estiverem disponíveis no mercado em condições competitivas, a estratégia para a maximização da eficiência de uso de N ainda deverá ser feita pelo aperfeiçoamento de seu próprio manejo.

Há pesquisas que têm mostrado o efeito positivo da aplicação de doses de nitrogênio no feijoeiro (BARBOSA FILHO; SILVA, 2000; STONE; MOREIRA, 2001; BARBOSA FILHO et al., 2005; KIKUTI et al., 2005; MEIRA et al., 2005), sendo essas maiores que as atuais recomendadas.

Devido à pouca exigência inicial, possibilidade de perdas por lixiviação e índice salino, aplica-se apenas uma fração da dose ideal na semeadura, sendo o restante aplicado em cobertura nos períodos de maior exigência que são os estágios de florescimento (R2) e enchimento de grãos (R5). Em alguns trabalhos com feijoeiro cultivado com irrigação, entretanto, a aplicação de todo o nitrogênio na semeadura obteve produtividade semelhantes às aquelas nos tratamentos com

parcelamento desse nutriente (CARVALHO et al. 2001; VALÉRIO et al., 2003; BINOTTI et al., 2007).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a produtividade e o teor nutricional de duas cultivares de feijão vagem não nodulíferas submetidas a seis doses de nitrogênio em cobertura.

### 3.4 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada na Estação Experimental Agrícola Hancock nos anos safras, 2016 e 2017. O clima do local é classificado segundo Koppen como Dfb: temperado frio sem estação seca e com verão temperado.

O solo é classificado como Entisol segundo Soil Survey Staff (1975) e foi analisado antes da instalação dos experimentos, determinando-se os valores de pH, MO, P, K, S, Ca, Mg e micronutrientes nos dois anos (tabela 1).

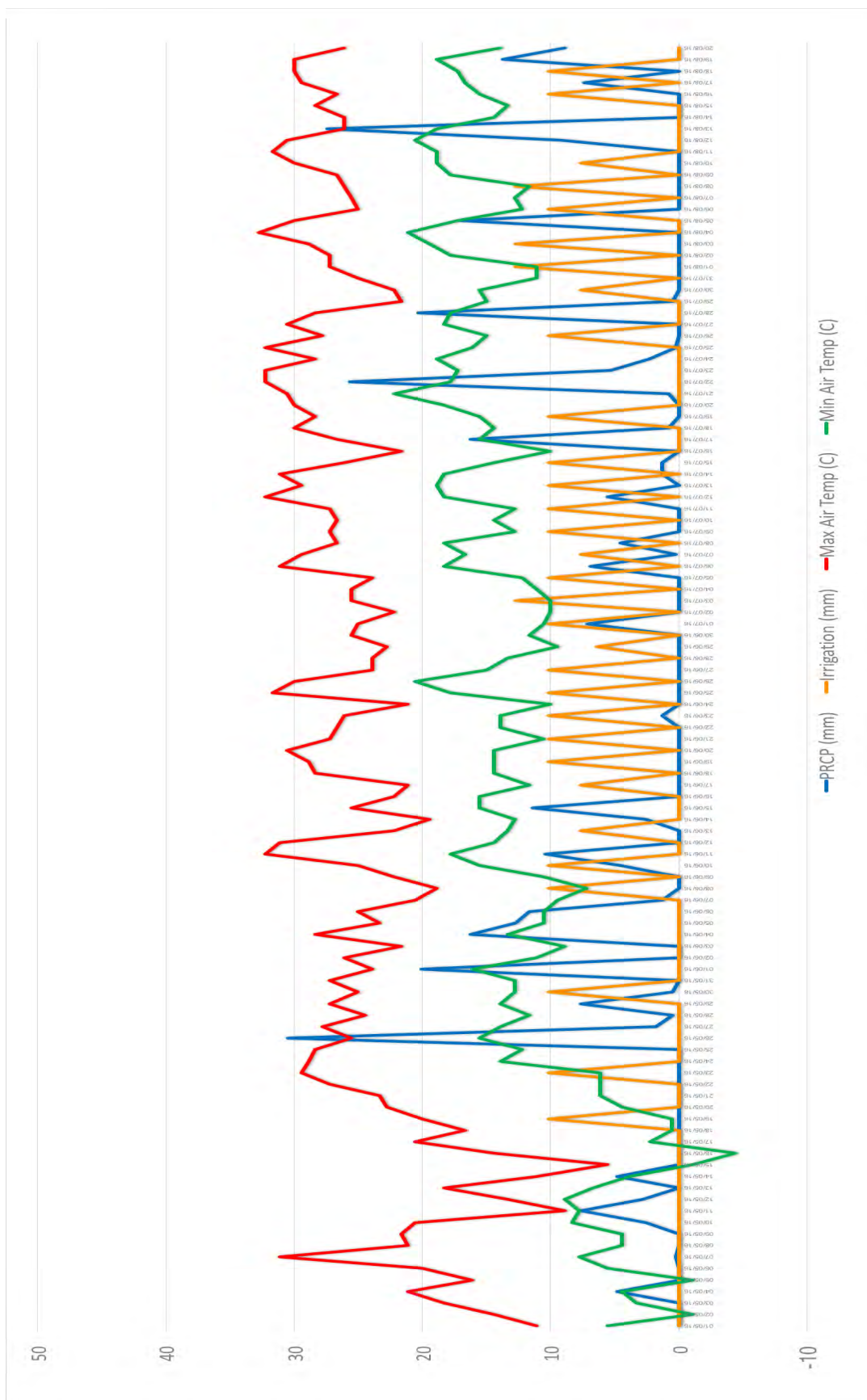
**Tabela 1:** Análise química de solo antes da instalação dos experimentos nos anos de 2016 e 2017.

<i>ANO</i>	<i>pH</i>	<i>P</i> <i>mg dm<sup>-3</sup></i>	<i>MO%</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i> <i>cmolc dm<sup>-3</sup></i>	<i>Mg</i>	<i>B</i>	<i>Mn</i> <i>mg dm<sup>-3</sup></i>	<i>Zn</i> <i>mg dm<sup>-3</sup></i>	<i>S</i>
2016	5,60	100,50	0,70	0,31	1,04	0,61	0,10	17,50	0,73	2,60
2017	5,85	94,00	0,80	0,29	0,95	0,32	0,20	13,00	1,45	0,75

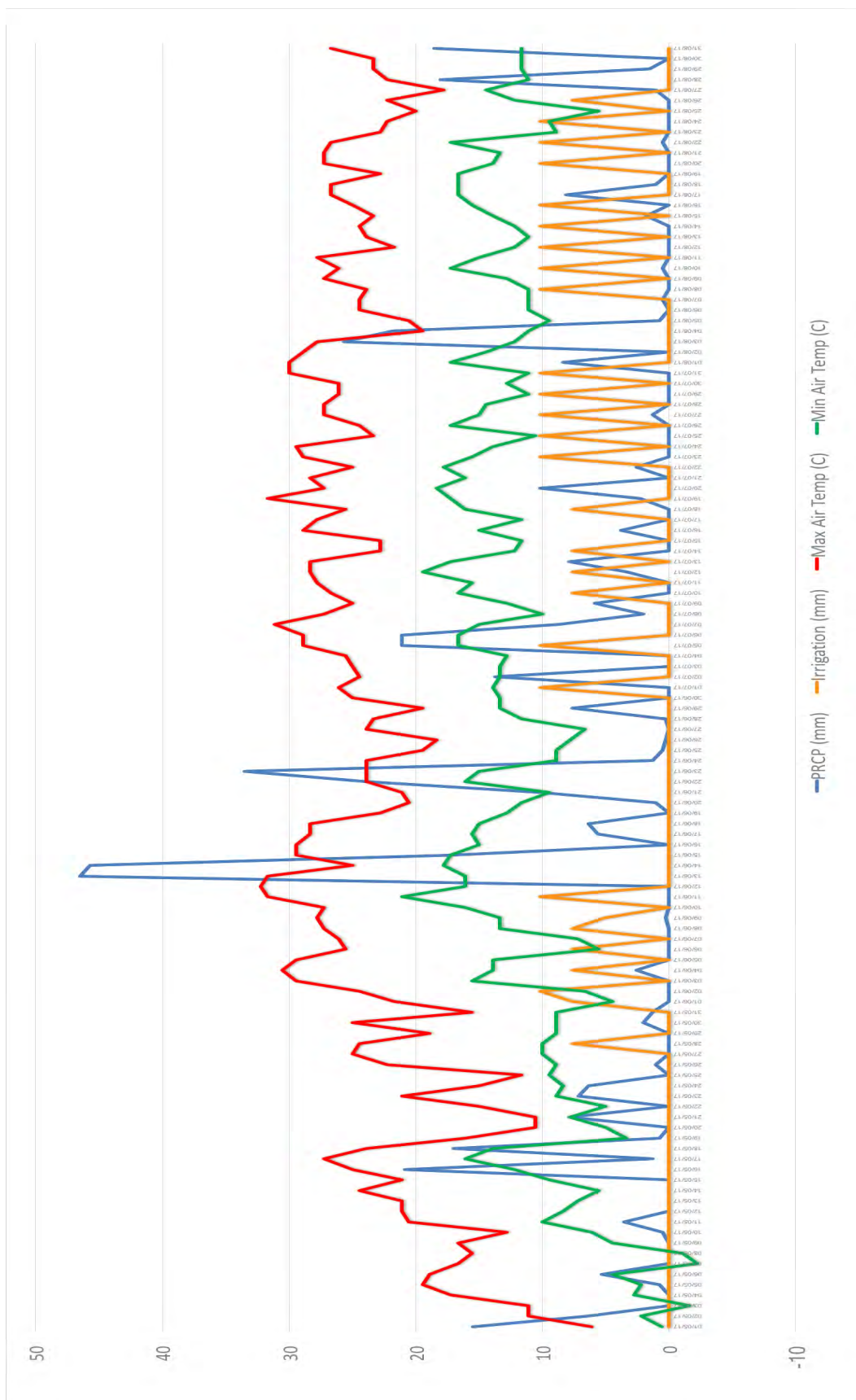
Também foram determinadas as temperaturas máximas e mínimas diárias, precipitação e volume de irrigação durante a condução dos experimentos durante os dois anos conforme as Figuras 1a e 1b.

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, em parcelas subdivididas com quatro repetições a campo. O estudo foi replicado duas vezes por ano safra e comparou duas épocas de semeadura diferentes (26 de maio e 14 de junho) de 2016 e (31 de maio e 19 de Junho) de 2017 para avaliar o efeito da época de semeadura, bem como para obter dados de mais de uma safra.

**Figura 1a** - Dados de temperatura máxima e mínima, pluviosidade e irrigação diários da safra de 2016.



**Figura 1b** - Dados de temperatura máxima e mínima, pluviosidade e irrigação diários da safra de 2017.



Foram utilizadas variedades de feijão-vagem publicamente disponíveis (não propriedade de empresas específicas, embora sejam variedades utilizadas por todos os agricultores de Wisconsin) denominadas Huntington e Pismo (não-nodulíferas).

As sub-parcelas foram as doses de N de 20, 50, 80, 110, 140 e 170 lb-N ac<sup>-1</sup> (22,4; 56,0; 89,6; 123,2; 156,9 e 190,4 Kg-N ha<sup>-1</sup>). A fertilização na semeadura é uma prática comum (com uma dose de 20 lb-N ac<sup>-1</sup>) (22,42 Kg-N ha<sup>-1</sup>), portanto não houve uma dose zero verdadeira de N no estudo. Assim, o experimento foi uma avaliação das doses de N de cobertura com a dose de 20 lb-N ac<sup>-1</sup> na semeadura para todos os tratamentos.

As doses de N foram aplicadas da seguinte forma: 20 lb-N ac<sup>-1</sup> juntamente com a semeadura e o N restante aplicado 50% no 3º trifólio (estádio de crescimento V3) e 50% de 7 a 10 dias após a primeira aplicação.

Cada parcela foi formada por quatro linhas com 20 pés (609,6 cm) de comprimento, um pé (30,48 cm) de espaçamento entre linhas, com feijões-vagem semeados a uma densidade de 130.000 sementes ac<sup>-1</sup> (321.237 sementes ha<sup>-1</sup>).

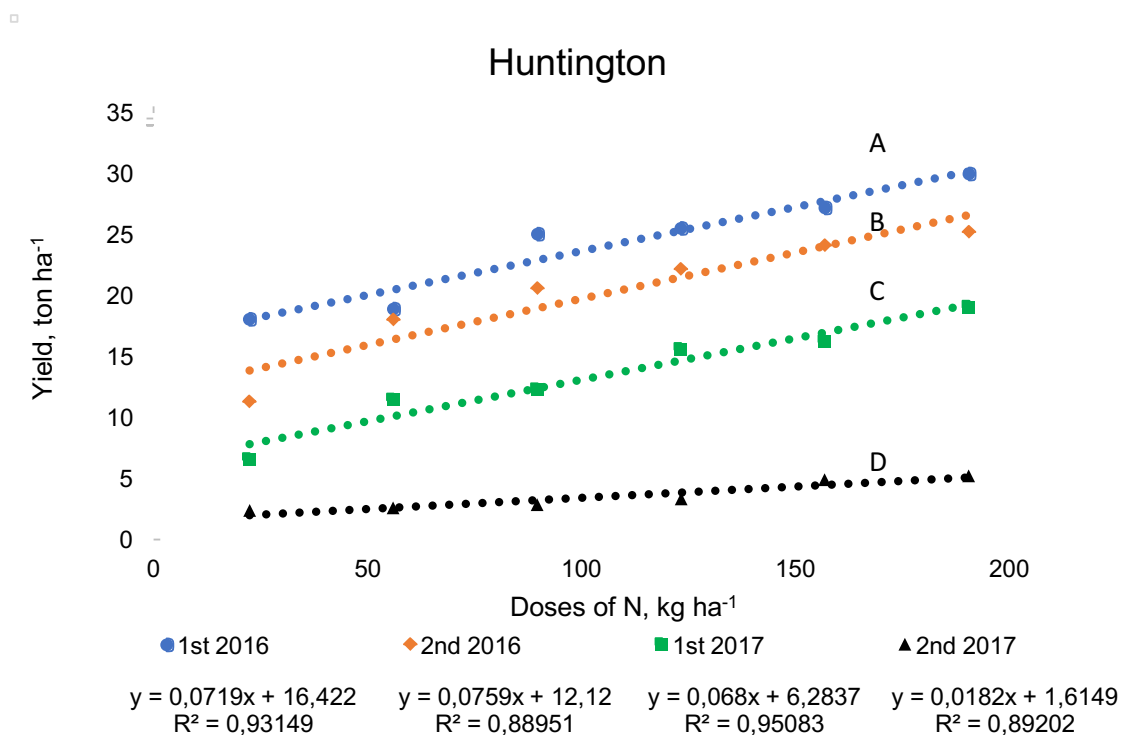
As vagens foram colhidas mecanicamente nas duas linhas centrais para a obtenção do peso fresco. Uma sub-amostra de vagens foi recolhida para determinar a umidade, qualidade e concentração total de nutrientes. Seis amostras de plantas inteiras foram coletadas antes da colheita, separadas em vagens e biomassa vegetal e posteriormente secas, moídas e analisadas para determinar o teor de N total.

A concentração total de nutrientes foi analisada pelo laboratório de solos e análises de plantas da Universidade de Wisconsin. O teor de nutrientes das vagens foi calculado com o peso da matéria seca das vagens multiplicado pela concentração de nutrientes.

Os dados foram submetidos a análise de variância e as médias à regressão polinomial até segundo grau a 1%. As épocas de semeadura e anos de cultivo foram comparados pelo teste Tukey e o teor de nutrientes nas vagens pelo teste Duncan, ambos a 5% de significância.

## 3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

**Figura 2** - Produtividade do híbrido Huntington na primeira e segunda época de semeadura nos anos de 2016 e 2017.



\* Letras acima das curvas diferem estatisticamente as épocas de semeadura pelo teste Tukey a 5% de significância.

\*\* Equações das curvas, submetidas à regressão, abaixo das legendas.

O aumento da produtividade para o híbrido Huntington em função das doses de nitrogênio é altamente significativo para a primeira e segunda épocas de semeadura nos dois anos de cultivo. Em 2016, na primeira época de semeadura (1st 2016) o aumento da produtividade ajustou-se à equação de primeiro grau, obtendo na dose de 20 lb ac<sup>-1</sup> (22,4 kg ha<sup>-1</sup>) uma produtividade de 7,31 t ac<sup>-1</sup> (18,06 t ha<sup>-1</sup>), chegando a 12,11 t ac<sup>-1</sup> (29,92 t ha<sup>-1</sup>) na dose de 170 lb ac<sup>-1</sup> (190,4 kg ha<sup>-1</sup>).

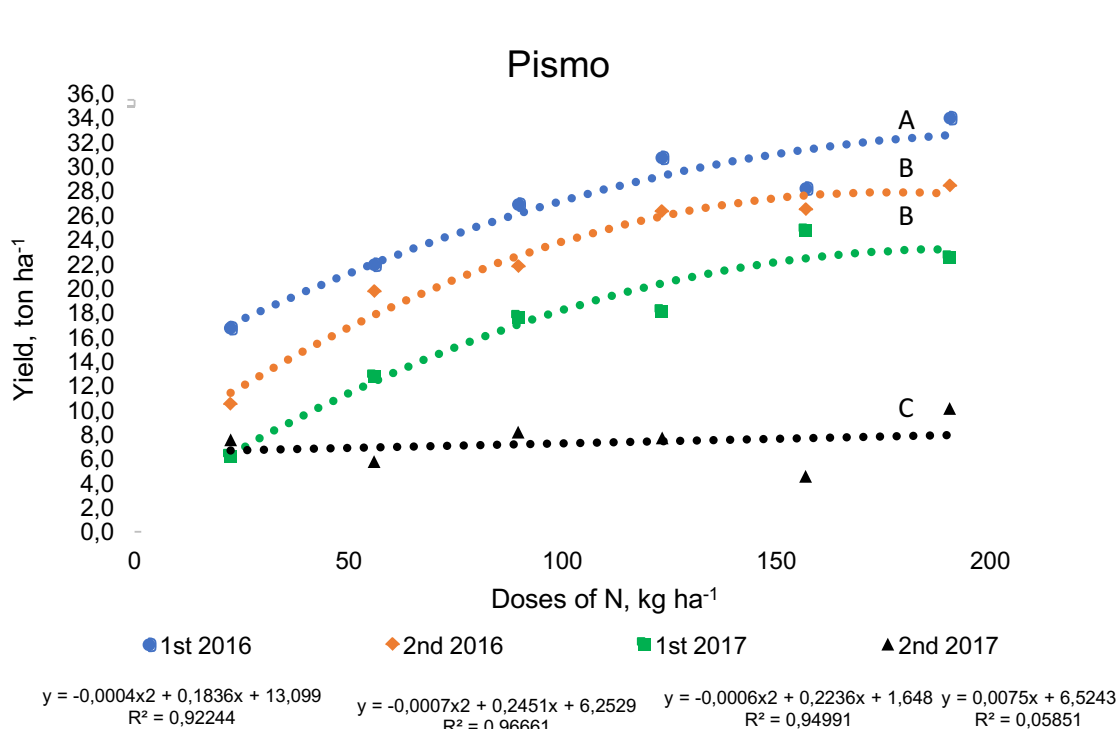
A segunda época de semeadura de 2016 (2nd 2016) também se ajustou ao modelo linear, obtendo na dose de 20 lb ac<sup>-1</sup> (22,4 kg ha<sup>-1</sup>) uma produtividade de 4,57 t ac<sup>-1</sup> (11,28 t ha<sup>-1</sup>), atingindo 10,19 t ac<sup>-1</sup> (25,16 t ha<sup>-1</sup>) na dose de 170 lb ac<sup>-1</sup> (190,4 kg ha<sup>-1</sup>).

No ano de 2017, na primeira época de semeadura (1st 2017) o aumento da produtividade ajustou-se à equação linear e obteve na dose de 20 lb ac<sup>-1</sup>

(22,4 kg ha<sup>-1</sup>) uma produtividade de 2,66t ac<sup>-1</sup> ( 6,57 t ha<sup>-1</sup>), chegando a 7,71 t ac<sup>-1</sup> ( 19,03 t ha<sup>-1</sup>) na dose de 170 lb ac<sup>-1</sup> (190,4 kg ha<sup>-1</sup>)

A segunda época de semeadura de 2017 (2nd 2017) também ajustou-se à equação linear, obtendo na dose de 20 lb ac<sup>-1</sup> (22,4 kg ha<sup>-1</sup>) uma produtividade de 0,97 t ac<sup>-1</sup> (2,40 t ha<sup>-1</sup>), chegando a 2,12 t ac<sup>-1</sup> (5,22 t ha<sup>-1</sup>) na dose de 170 lb ac<sup>-1</sup> (190,4 kg ha<sup>-1</sup>).

**Figura 3** - Produtividade do híbrido Pismo na primeira e segunda época de semeadura nos anos de 2016 e 2017.



\* Letras acima das curvas diferem estatisticamente as épocas de semeadura pelo teste Tukey a 5% de significância.

\*\* Equações das curvas, submetidas à regressão, abaixo das legendas.

A produtividade do híbrido Pismo teve comportamento altamente significativo, quadrático, conforme o aumento das doses de nitrogênio, para a primeira e segunda épocas de 2016 e primeira época de 2017. Na primeira época de semeadura de 2016 obtiveram-se 6,76 t ac<sup>-1</sup> (16,69 t ha<sup>-1</sup>) na dose de 20 lb ac<sup>-1</sup> (22,4 kg ha<sup>-1</sup>), chegando a 13,75 t ac<sup>-1</sup> (33,07 t ha<sup>-1</sup>) na dose de 170 lb ac<sup>-1</sup> (190,4 kg ha<sup>-1</sup>). De acordo com a equação proposta o ponto máximo de produção foi obtido na dose de 229,5 Kg ha<sup>-1</sup>. Na segunda época de semeadura de 2016 a produtividade na dose de 20 lb ac<sup>-1</sup> (22,4 kg ha<sup>-1</sup>) foi de 4,24 t ac<sup>-1</sup> (10,47 t ha<sup>-1</sup>), chegando a 11,5 t ac<sup>-1</sup> (28,41

t ha<sup>-1</sup>) na dose de 170 lb ac<sup>-1</sup> (190,4 kg ha<sup>-1</sup>), tendo máximo de produtividade na dose de 175,07 Kg ha<sup>-1</sup> de N.

No ano de 2017 a primeira época de semeadura teve comportamento quadrático de 2,51 t ac<sup>-1</sup> (2,81 t ha<sup>-1</sup>) na dose de 20 lb ac<sup>-1</sup> (22,4 kg ha<sup>-1</sup>), atingindo 10,01 t ac<sup>-1</sup> (24,70 t ha<sup>-1</sup>) na dose de 140 lb ac<sup>-1</sup> (156,9 kg ha<sup>-1</sup>) chegando a 9,11 t ac<sup>-1</sup> (22,51 t ha<sup>-1</sup>) na dose de 170 lb ac<sup>-1</sup> (190,4 kg ha<sup>-1</sup>), tendo máximo de produtividade na dose de 186,33 Kg ha<sup>-1</sup> de N.

Já a segunda época de 2017 verificou-se ajuste linear crescente de 3,06 t ac<sup>-1</sup> (7,56 t ha<sup>-1</sup>) na dose de 20 lb ac<sup>-1</sup> (22,4 kg ha<sup>-1</sup>), chegando a 4,105 t ac<sup>-1</sup> (10,13 t ha<sup>-1</sup>) na dose de 170 lb ac<sup>-1</sup> (190,4 kg ha<sup>-1</sup>).

O aumento das doses de N proporcionou um incremento na produtividade, corroborando com resultados de Buzetti et al. (1992); Chidi et al. (2002) e Silva (2010), os quais mencionam que o feijoeiro requer um suprimento adequado de N tanto para o atendimento do seu crescimento como para a formação de vagens.

Tais resultados evidenciam que há elevada demanda de N pelo feijoeiro, conforme observado por Bordin et al. (2003) e Silveira et al. (2005), justificando-se pela quantidade insuficiente do nutriente fornecido pelo solo às plantas, resultado da intensa imobilização de N pelos microrganismos e lixiviação no perfil do solo, o que está de acordo com os relatos de Ceretta et al. (2002).

Silva (2002) e Carvalho et al. (2003), obtiveram resposta linear da produtividade até a dose máxima estudada: 100, 140 e 150 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente, aplicados na forma de uréia. O aumento da produtividade com o incremento da adubação nitrogenadas também foi observado por Silveira e Damasceno (1993), Teixeira et al. (2000), Chidi et al. (2002), Silva et al. (2004), Alvarez et al. (2005), Binotti et al. (2005) e Teixeira et al. (2005).

Quando comparadas as épocas de semeadura do híbrido Hungtington pelo teste Tukey, houve diferença significativa entre as quatro épocas, sendo os maiores rendimentos obtidos na primeira época de 2016, seguido pela segunda de 2016, primeira de 2017 e finalmente pela segunda época de 2017 (Figura 2).

No caso do híbrido Pismo, também houve diferença significativa, com a primeira época de 2016 alcançando maiores produtividades que a segunda, a qual não diferiu significativamente da primeira época de 2017, seguida da menor produtividade na segunda época de 2017 (Figura 3).

As diferenças de produtividade de acordo com as épocas de cultivo devem-se primeiramente ao fato de nas primeiras épocas de semeadura, dos dois anos, as condições climáticas terem sido mais favoráveis para o desenvolvimento do feijão-vagem, com temperaturas mais elevadas, por volta de (20 °C), e precipitações mais regulares (Figuras 1a e 1b). O ano de 2016 foi superior a 2017 pois no segundo ano houveram precipitações mais intensas e frequentes, com maior quantidade de dias nublados, o que diminuiu a capacidade produtiva das plantas.

De acordo com Chidi et al. (2002), cultivares e variações de clima também podem influenciar a resposta da cultura à aplicação do nitrogênio. Outro fator foi a área onde as duas safras de 2017 foram conduzidas apresentar um perfil de solo mais raso, o que em conjunto com as intensas precipitações, provocou acúmulo de água no perfil, o que limitou o desenvolvimento das plantas e conseqüentemente a produtividade.

Segundo Rosolem (1996), as condições de resposta ao N estão relacionadas com o solo do local de semeadura (cultura anterior, teor de matéria orgânica, textura do solo e irrigação).

Binotti et al. (2009) verificaram aumento na produção de vagens por planta, com até 160 kg ha<sup>-1</sup>. Silveira et al. (2003) obtiveram resposta linear de até 120 kg ha<sup>-1</sup> de N, ao passo que a produtividade máxima foi estimada com 62 kg ha<sup>-1</sup> do nutriente. Carvalho et al. (2001), estudando o efeito de fontes e diferentes parcelamentos do N em feijoeiro, concluíram que a aplicação de 75 kg ha<sup>-1</sup> de N proporcionou, em média, incremento de 38% na produtividade da cultura.

De uma forma geral, são diversos os resultados de resposta do feijoeiro à adubação nitrogenada quanto à produtividade de grãos, uma vez que alguns resultados mostraram resposta da cultura a doses de N acima de 100 kg ha<sup>-1</sup> (CARVALHO et al., 2003; STONE, 2011; MOREIRA, 2001). É provável que a adubação nitrogenada tenha aumentado a capacidade de compensação dos feijoeiros, o que pode ser confirmado pelo acréscimo no número de vagens por planta. No entanto, autores como Chidi et al. (2002) e Bordin et al. (2003) constataram resposta da produtividade do feijoeiro com a aplicação de 50 a 75 kg ha<sup>-1</sup> de N.

**Tabela 2:** Teor de nitrogênio em g kg<sup>-1</sup> dos dois híbridos, nas duas épocas, no ano de 2016.

Huntington					Pismo			
Primeira Época		Segunda Época			Primeira Época		Segunda Época	
Folha	Vagem	Folha	Vagem		Folha	Vagem	Folha	Vagem
kg ha <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>
22,4	19,25	23,07	15,24	21,35	18,34	21,65	13,42	20,83
56	17,61	24,21	17,67	23,45	17,01	23,85	16,68	22,97
89,6	20,88	23,83	20,93	25,44	18,15	24,43	24,02	28,04
123,2	29,88	30,60	22,85	27,32	23,52	29,27	24,68	27,40
156,9	30,76	32,21	26,61	28,38	28,35	29,08	25,04	28,03
190,4	26,58	29,32	28,56	29,48	28,89	30,93	26,09	29,44
	***	***	***	***	***	***	***	***
	A	B	A	B	A	B	A	B
CV%	11,21	21,00	8,14	10,19	19,55	15,16	8,02	12,55

\*Significativo através da análise de regressão polinomial até segundo grau.

Aa- Diferença entre letras maiúsculas e minúsculas representa diferenças significativas entre as médias pelo teste t.

**Tabela 3:** Teor de nitrogênio em g kg<sup>-1</sup> dos dois híbridos, nas duas épocas, no ano de 2017.

Huntington					Pismo			
Primeira Época		Segunda Época			Primeira Época		Segunda Época	
Folha	Vagem	Folha	Vagem		Folha	Vagem	Folha	Vagem
kg ha <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>
22,4	15,55	23,51	13,41	22,89	15,00	23,53	12,00	25,36
56	18,66	23,87	18,49	30,23	19,28	24,18	17,43	23,45
89,6	23,95	25,58	21,70	30,81	26,63	25,88	21,37	31,84
123,2	30,33	28,96	21,45	34,22	26,67	27,01	25,06	33,92
156,9	37,76	32,31	28,65	36,32	33,34	29,74	25,65	32,31
190,4	31,84	31,69	30,91	36,76	36,35	30,18	33,70	37,61
	***	***	***	***	***	***	***	***
	A	B	a	b	A	B	a	b
CV%	31,50	14,41	28,92	16,41	29,78	10,07	32,5	18,35

\*Significativo através da análise de regressão polinomial até segundo grau.

Aa- Diferença entre letras maiúsculas e minúsculas representa diferença significativa entre as médias pelo teste t.

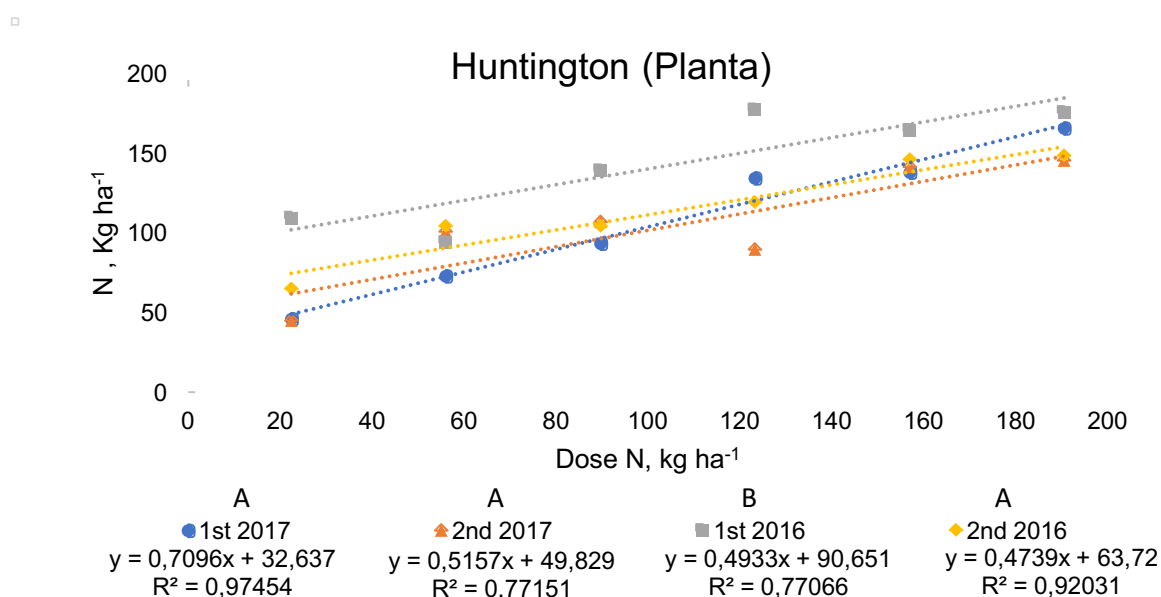
Nos dois híbridos, tanto as folhas quanto as vagens tiveram resposta altamente significativa diante do aumento das doses de N quando submetidas à análise de regressão, nas quatro épocas cultivadas.

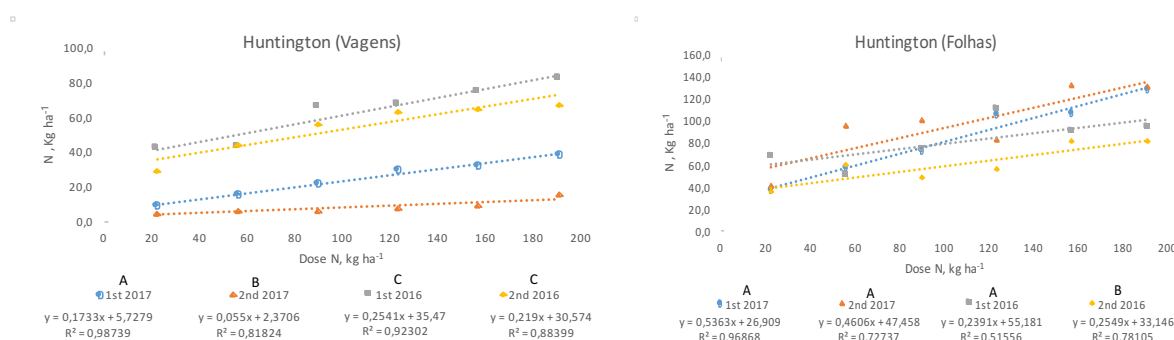
Como são híbridos que não realizam FBN, são totalmente dependentes do Nitrogênio presente no solo e aplicado através de fertilizantes. O solo onde foi conduzido o experimento é altamente arenoso (95% de areia), tendo baixo teor de matéria orgânica e conseqüentemente baixo teor de N para disponibilizar para as plantas. Assim o N proveniente do fertilizante é fundamental para o desenvolvimento da cultura, resultando no aumento dos teores conforme o incremento de doses, encontrados no presente trabalho (Tabelas 2 e 3).

Kikuti et al. (2006) também observaram que o aumento da dose de N proporcionou incremento nos teores de N nas folhas e que tais doses influenciaram nos teores de macronutrientes do feijoeiro sem resultar em alterações muito expressivas, dado que os valores permaneceram nas faixas adequadas.

Rodrigues (2001) em estudo de adubação utilizando ureia como fonte de N, em duas cultivares de feijão, obteve resposta linear nos teores de N. Resultados semelhantes foram encontrados por Souza (2006). Entretanto, é importante salientar que os teores de nitrogênio obtidos em todos os tratamentos encontraram-se na faixa recomendada para cultura de acordo com Ambrosano et al. (1997), que é de 30 a 50 g kg<sup>-1</sup> (folha) ou 30-50 g kg<sup>-1</sup>, conforme Malavolta et al. (1997).

**Figura 4-** Teor de N em kg ha<sup>-1</sup> do híbrido Huntington na primeira e segunda épocas de semadura nos anos de 2016 e 2017. \* Letras acima da legenda diferem estatisticamente as épocas de semadura pelo teste Tukey a 5% de significância.





Quando analisado o teor de nitrogênio em  $\text{kg ha}^{-1}$  nas plantas do híbrido Huntington (Figura 4) nas quatro épocas de semeadura na planta, observou-se diferença significativa conforme o aumento das doses de N, com comportamento linear crescente em todas as épocas de semeadura. Obtiveram-se  $109,36 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $64,73 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $45,80 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $44,79 \text{ kg ha}^{-1}$  na dose de  $22,4 \text{ kg ha}^{-1}$  chegando até  $175,62 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $148,22 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $165,59 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $145,31 \text{ kg ha}^{-1}$  na dose de  $190,4 \text{ kg ha}^{-1}$  para a primeira época de 2016, segunda época de 2016, primeira época de 2017 e segunda época de 2017 respectivamente.

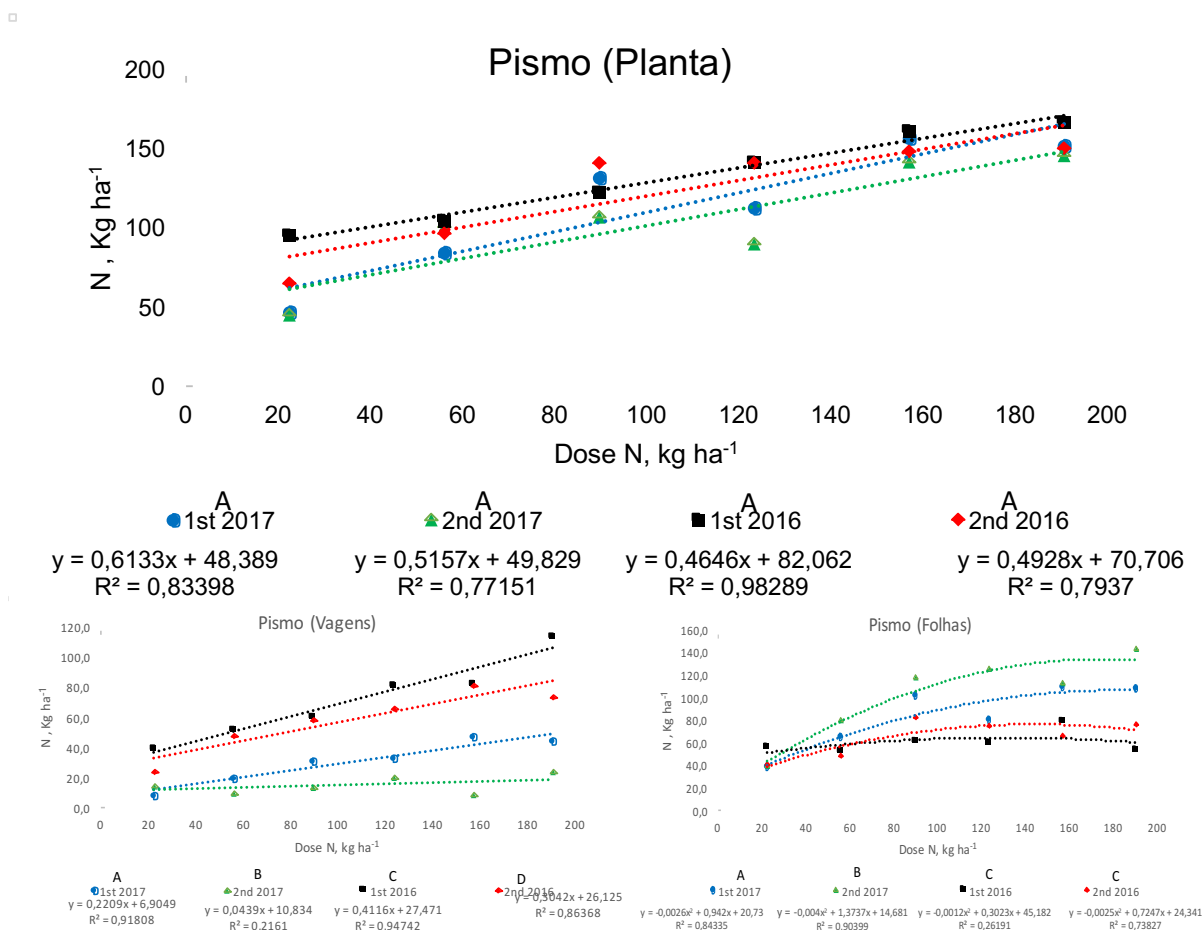
A primeira época de 2016, que obteve o maior teor de N em plantas, foi a única que diferiu estatisticamente das demais, as quais não diferiram entre si.

No teor exportado nas vagens em  $\text{kg ha}^{-1}$  também houve aumento significativo linear, partindo de  $42,04 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $29,24 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $8,77 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $4,47 \text{ kg ha}^{-1}$  na dose de  $22,4 \text{ kg ha}^{-1}$ , chegando até  $82,43 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $67,03 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $38,21 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $15,32 \text{ kg ha}^{-1}$  na dose de  $190,4 \text{ kg ha}^{-1}$  para a primeira época de 2016, segunda época de 2016, primeira época de 2017 e segunda época de 2017 respectivamente.

Comparando-se as épocas de semeadura foi constatada diferença estatística entre as duas épocas de 2016, equivalentes entre si, em relação às de 2017. O maior teor de N foi obtido na primeira época de 2016, seguido pela segunda data do mesmo ano, primeira de 2017 e segunda de 2017 (Figura 4).

No teor exportado nas folhas em  $\text{kg ha}^{-1}$  também houve aumento significativo linear partindo de  $67,31 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $35,49 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $37,02 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $40,31 \text{ kg ha}^{-1}$  na dose de  $22,4 \text{ kg ha}^{-1}$ , chegando até  $93,18 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $81,19 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $127,38 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $129,99 \text{ kg ha}^{-1}$  na dose de  $190,4 \text{ kg ha}^{-1}$  para a primeira época de 2016, segunda época de 2016, primeira época de 2017 e segunda época de 2017 respectivamente. As épocas de semeadura não apresentaram diferença significativa entre si.

**Figura 5** - Teor de N em  $\text{kg ha}^{-1}$  do híbrido Pismo na primeira e segunda épocas de semadura nos anos de 2016 e 2017. \* Letras acima da legenda diferem estatisticamente as épocas de semadura pelo teste Tukey a 5% de significância.



Quando analisado o teor de nitrogênio em  $\text{kg ha}^{-1}$  no híbrido Pismo nas quatro épocas de semadura na planta, observou-se diferença significativa conforme o aumento das doses de N, com comportamento linear crescente em todas as épocas de semadura. Observaram-se 94,80  $\text{kg ha}^{-1}$ , 64,74  $\text{kg ha}^{-1}$ , 46,70  $\text{kg ha}^{-1}$  e 54,24  $\text{kg ha}^{-1}$  na dose de 22,4  $\text{kg ha}^{-1}$ , chegando até 166,53  $\text{kg ha}^{-1}$ , 149,66  $\text{kg ha}^{-1}$ , 151,53  $\text{kg ha}^{-1}$  e 167,98  $\text{kg ha}^{-1}$  na dose de 190,4  $\text{kg ha}^{-1}$  para a primeira época de 2016, segunda época de 2016, primeira época de 2017 e segunda época de 2017 respectivamente. Não houve diferença significativa entre as épocas de cultivo.

No teor exportado nas vagens em  $\text{kg ha}^{-1}$  também houve aumento significativo linear de 39,12  $\text{kg ha}^{-1}$ , 24,15  $\text{kg ha}^{-1}$ , 8,44  $\text{kg ha}^{-1}$  e 14,96  $\text{kg ha}^{-1}$  para a dose de 22,4  $\text{kg ha}^{-1}$ , chegando até 113,52  $\text{kg ha}^{-1}$ , 73,82  $\text{kg ha}^{-1}$ , 43,70  $\text{kg ha}^{-1}$  e 24,41  $\text{kg ha}^{-1}$  para a dose de 190,4  $\text{kg ha}^{-1}$  para a primeira época de 2016, segunda época

de 2016, primeira época de 2017 e segunda época de 2017 respectivamente. Houve diferença entre todas as épocas de cultivo.

Nas folhas, o teor de N exportado em  $\text{kg ha}^{-1}$  teve aumento significativo para as quatro épocas, mas com comportamento quadrático, sendo os maiores valores na segunda época de 2017 de  $39,28 \text{ kg ha}^{-1}$  na dose de  $22,4 \text{ kg ha}^{-1}$ , alcançando  $125,68 \text{ kg ha}^{-1}$  na dose  $123,2 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $143,56 \text{ kg ha}^{-1}$  na dose de  $190,4 \text{ kg ha}^{-1}$ . O segundo maior teor foi na primeira época de 2017, de  $38,26 \text{ kg ha}^{-1}$  na dose de  $22,4 \text{ kg ha}^{-1}$ , alcançando  $109,21 \text{ kg ha}^{-1}$  na dose  $156,9$  e  $107,82 \text{ kg ha}^{-1}$  na dose de  $190,4$ . O terceiro maior teor foi na segunda época de 2016 de  $64,74 \text{ kg ha}^{-1}$  na dose de  $22,4 \text{ kg ha}^{-1}$ , alcançando  $147,77 \text{ kg ha}^{-1}$  na dose  $156,9 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $149,66 \text{ kg ha}^{-1}$  na dose de  $190,4 \text{ kg ha}^{-1}$ . O pior resultado dentre as três épocas foi na primeira de 2016 de  $55,68 \text{ kg ha}^{-1}$  na dose de  $22,4 \text{ kg ha}^{-1}$ , alcançando  $78,42 \text{ kg ha}^{-1}$  na dose  $123,2 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $53,00 \text{ kg ha}^{-1}$  na dose de  $190,4 \text{ kg ha}^{-1}$ . As diferenças encontradas entre as épocas de semeadura foram significativas pelo teste Tukey a 5% de significância conforme letras apresentadas na Figura 5.

Estes resultados mostram concordância com a produtividade, pois quanto maior a produção de matéria seca por hectare também será maior teor de N por área.

Magalhaes (2017) verificou acúmulo de N muito próximo ao dos híbridos estudados  $101,1 \text{ kg ha}^{-1}$ . A maior produtividade de vagens e o maior número de vagens por planta, além do aumento nos teores de N na planta conforme o incremento das doses, favoreceram o acúmulo do nutriente por hectare.

Analisando o teor de nutrientes nas vagens nos dois anos, nos dois híbridos, foi observada diferença significativa apenas para o teor de Cu no ano de 2016, não havendo diferença para os outros nutrientes conforme o aumento das doses de N. Este comportamento se deve à textura arenosa do solo, pois evita o acúmulo de N próximo a planta, não provocando excesso deste elemento. Além disso, as doses de N aplicadas não interferiram na absorção dos outros nutrientes por competição ou antagonismo (Tabela 4).

Quanto ao teor de cobre, no ano de 2016, as duas safras foram as que apresentaram melhores resultados para produtividade, ou seja, quando as plantas puderam expressar seu máximo potencial. Assim a variação deste micronutriente não prejudicou o desenvolvimento das plantas.

**Tabela 4** - Macro e micro Nutrientes nas vagens de 2016.

	<b>DOSE</b> <b>Kg ha<sup>-1</sup></b>	<b>P</b> <b>g Kg<sup>-1</sup></b>		<b>K</b> <b>g Kg<sup>-1</sup></b>		<b>Ca</b> <b>g Kg<sup>-1</sup></b>		<b>Mg</b> <b>g Kg<sup>-1</sup></b>		<b>S</b> <b>g Kg<sup>-1</sup></b>	
Huntington	22,42	4,64	A	26,39	A	5,55	A	2,76	A	1,91	A
Huntington	89,67	4,33	A	24,36	A	5,75	A	2,84	A	2,10	A
Huntington	156,92	4,59	A	25,57	A	6,03	A	3,01	A	2,00	A
	*	ns		ns		ns		ns		ns	
	cv%	7,07		11,07		21,59		10,74		13,26	
Pismo	22,42	4,54	A	27,57	A	5,80	A	2,91	A	1,94	A
Pismo	89,67	4,34	A	25,50	A	6,11	A	2,97	A	2,06	A
Pismo	156,92	4,52	A	25,33	A	6,20	A	3,04	A	2,00	A
	*	ns		ns		ns		ns		ns	
	cv%	5,45		5,87		21,62		6,05		6,24	

	<b>DOSE</b> <b>Kg ha<sup>-1</sup></b>	<b>Zn</b> <b>mg Kg<sup>-1</sup></b>		<b>Mn</b> <b>mg Kg<sup>-1</sup></b>		<b>B</b> <b>mg Kg<sup>-1</sup></b>		<b>Fe</b> <b>mg Kg<sup>-1</sup></b>		<b>Cu</b> <b>mg Kg<sup>-1</sup></b>	
Huntington	22,42	38,75	A	60,78	A	36,40	A	79,05	A	12,13	A
Huntington	89,67	35,76	A	62,82	A	35,43	A	65,71	A	6,48	B
Huntington	156,92	37,07	A	63,47	A	39,56	A	73,91	A	7,54	B
	*	ns		ns		ns		ns		*	
	cv%	13,71		32,21		15,00		18,63		15,86	
Pismo	22,42	37,18	A	78,53	A	36,12	A	70,17	A	11,85	A
Pismo	89,67	36,71	A	67,59	A	39,98	A	75,56	A	7,93	B
Pismo	156,92	40,06	A	72,81	A	39,01	A	67,92	A	7,46	B
	*	ns		ns		ns		ns		*	
	cv%	13,49		16,26		8,94		16,64		13,19	

\*. Significativo pelo teste Duncan a 5%.

ns. Não significativo pelo teste Duncan a 5%.

Uma vez que o N neste experimento foi extraído fundamentalmente do solo e, além disso, o fertilizante ter sido de fonte amoniacal, houve uma competição com o Cu, o que acarretou em uma diminuição de absorção deste micronutriente. Este antagonismo pode ocorrer por efeito competitivo no transporte em longas distâncias na planta ou resultar de uma absorção não-seletiva na presença de altas concentrações de íons no meio radicular.

**Tabela 5** - Macro e micronutrientes nas vagens de 2017.

	<b>DOSE</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>S</b>					
	<b>Kg ha<sup>-1</sup></b>	<b>g Kg<sup>-1</sup></b>	<b>g Kg<sup>-1</sup></b>	<b>g Kg<sup>-1</sup></b>	<b>g Kg<sup>-1</sup></b>	<b>g Kg<sup>-1</sup></b>					
Huntington	22,42	4,02	A	24,50	A	5,34	A	2,81	A	1,89	A
Huntington	89,67	4,35	A	26,47	A	6,41	A	3,29	A	2,03	A
Huntington	156,92	4,06	A	23,96	A	5,86	A	2,94	A	1,83	A
	*	ns	ns	ns	ns	ns	Ns				
	cv%	9,78	11,85	19,30	7,51	10,61					
Pismo	22,42	4,34	A	27,88	A	5,63	A	3,03	A	2,01	A
Pismo	89,67	4,06	A	24,21	B	6,01	A	3,05	A	1,85	A
Pismo	156,92	4,12	A	25,03	B	6,01	A	2,99	A	1,89	A
	*	ns	0,00	ns	ns	ns					
	cv%	6,77	3,37	25,16	5,84	5,72					
	<b>DOSE</b>	<b>Zn</b>	<b>Mn</b>	<b>B</b>	<b>Fe</b>	<b>Cu</b>					
	<b>Kg ha<sup>-1</sup></b>	<b>mg Kg<sup>-1</sup></b>	<b>mg Kg<sup>-1</sup></b>	<b>mg Kg<sup>-1</sup></b>	<b>mg Kg<sup>-1</sup></b>	<b>mg Kg<sup>-1</sup></b>					
Huntington	22,42	35,47	A	63,02	A	31,80	A	81,43	A	7,52	A
Huntington	89,67	39,93	A	64,18	A	32,75	A	89,27	A	7,61	A
Huntington	156,92	36,74	A	45,18	A	33,55	A	80,54	A	6,92	A
	*	ns	ns	ns	ns	ns					
	cv%	14,64	20,46	15,07	14,79	13,43					
Pismo	22,42	38,99	A	64,50	A	35,11	A	81,34	A	8,57	A
Pismo	89,67	36,62	A	55,75	A	34,25	A	75,85	A	7,28	A
Pismo	156,92	35,66	A	51,91	A	32,96	A	82,59	A	6,73	A
	*	ns	ns	ns	ns	ns					
	cv%	12,63	37,78	14,09	6,61	12,75					

\*. Significativo pelo teste Duncan a 5%.

ns. Não significativo pelo teste Duncan a 5%.

O mesmo mecanismo foi observado por Blanco e Folegatti (2008) estudando os efeitos de doses e N aplicadas no tomateiro via fertirrigação com água salina e por Bosco et al. (2009), trabalhando com a cultura da berinjela em condições de estresse salino. Neste contexto, é cabível dizer que o equilíbrio entre os nutrientes proporciona maiores produtividades do que maiores quantidades de macronutrientes isoladamente (PRIMAVESI, 1990)

### 3.6 CONCLUSÕES

O aumento das doses de nitrogênio proporcionou maiores produtividades e teores de N nas plantas, sem exercer influência nos outros nutrientes.

As épocas e anos de semeadura mostraram diferença significativa entre si, com os melhores resultados encontrados no ano de 2016.

## 3.7 REFERENCIAS

ALMEIDA, C. et al. Ureia em cobertura e via foliar em feijoeiro. **Scientiae Agricola**, v. 57, p. 293-298, 2000.

ALVAREZ, A.C.C.; ARF, O.; ALVAREZ, R.C.F.; PEREIRA, J.C.R. Resposta do feijoeiro a aplicação de doses e fontes de nitrogênio em cobertura no sistema de plantio direto. **Acta Scientiarum**. Maringá, v.27, n.1, p. 69-75, jan/march, 2005.

AMBROSANO, E.J.; TANAKA, R.T.; MASCARENHAS, H.A.A.; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H. Leguminosas e oleaginosas. In: RAIJ Van, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas : IAC, 1997, p. 187-203 (Boletim Técnico,100).

BARBOSA FILHO, M.P.; FAGERIA, N.K., SILVA, O.F. Fontes e métodos de aplicação de nitrogênio em feijoeiro irrigado submetido a três níveis de acidez do solo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.28, n.4, p.785-792, 2004.

BARBOSA FILHO, M.P.; FAGERIA, N.K., SILVA, O.F. Fontes, doses e parcelamento da adubação nitrogenada em cobertura para feijoeiro comum irrigado. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.29, n.1, p.69-76, 2005.

BARBOSA FILHO, M.P.; SILVA, O.F. Adubação e calagem para o feijoeiro irrigado em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.7, p.1317-1324, 2000.

BINOTTI, F. F. S. et al. Fontes e doses de nitrogenio em cobertura no feijoeiro de inverno irrigado no sistema de plantio direto. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 5, p. 770-778, 2010.

BINOTTI, F. F. S.; ARF, O.; ROMANINI JUNIOR, A.; FERNANDES, F. A.; SÁ, M. E.; BUZETTI, S. Manejo do solo e da adubação nitrogenada na cultura de feijão de inverno e irrigado. **Bragantia**, Campinas, v.66, n.1, p.121-129, 2007.

BINOTTI, F.F.S.; ROMANINI JUNIOR, A.; ARF, O; COSTA, R.S.S.; SÁ, M.E. Época de aplicação e fontes de nitrogênio em cobertura, na cultura do feijão em sistema plantio direto. In: **FERTBIO 2004**, Lages. Monferrer, Lages, 2004. (CD-ROM).

BUZETTI, S.; ROMEIRO, P.J.M.; ARF, O.; SÁ, M.E. de; GUERREIRO NETO, G. Efeito da adubação nitrogenada em componentes da produção do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivado em diferentes densidades. **Cultura Agronômica**, v.1, p.11-19, 1992.

BLANCO, F. F.; FOLEGATTI, M. V. Doses de N e K no tomateiro sob estresse salino: III. Produção e qualidade de frutos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 2, p. 122-127, 2008.

BORDIN, L. et al. Sucessão de cultivo de feijão com doses de adubação nitrogenada após adubação verde, em semeadura direta. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 3, p. 417-428, 2003.

BORDIN, L.; FARINELLI, R.; PENARIOL, F.G. & FORNASIERI FILHO, D. Sucessão de cultivo de feijão- arroz com doses de adubação nitrogenada após adubação verde, em semeadura direta. **Bragantia**, 62:417-428, 2003.

BOSCO, A. R. O. *et al.* Influência do estresse salino na composição mineral da berinjela. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, n. 2, p.157-164, 2009.

CARVALHO, M. A. C. et al. Doses e época de aplicação de nitrogênio e teores foliares deste nutriente e de clorofila em feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 27, n. 3, p. 445-450, 2003.

CARVALHO, M. A. C. et al. Produtividade e qualidade de sementes de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) sob influência de parcelamento e fontes de nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 25, n. 3, p. 617-624, 2001.

CARVALHO, M. A. C. et al. Produtividade e qualidade de sementes de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) sob influência de parcelamentos e fontes de nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 617-624, 2001.

CARVALHO, M.A.C.; ARF, O.; SÁ, M.E.; BUZETTI, S.; SANTOS, N.C.B.; BASSAN, D.A.Z. Produtividade e qualidade de sementes de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) sob influência de parcelamento e fontes de nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.3, p.617-624, 2001.

CARVALHO, M.A.C.; FURLANI JÚNIOR, E.; ARF, O.; SÁ, M.E.; PAULINO, H.B. & BUZETTI, S. Doses e época de aplicação de nitrogênio e teores foliares deste nutriente e de clorofila em feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:445-450, 2003.

CERETTA, C.A.; BASSO, C.J.; HERBES, M.G.; POLETTO, N. & SILVEIRA, M.J. Produção e decomposição de fitomassa de plantas invernais de cobertura de solo e milho, sob diferentes manejos da adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, 32:49-54, 2002.

CHIDI, S. N. et al. Nitrogênio via foliar e em cobertura em feijoeiro irrigado. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 24, p. 1391-1395, 2002.

CHIDI, S. N. et al. Nitrogênio via foliar e em cobertura em feijoeiro irrigado. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 24, p. 1391-1395, 2002.

FAO (2018). **Produção mundial de Feijão Vagem**.  
[http://www.fao.org/index\\_en.htm](http://www.fao.org/index_en.htm). Página mantida pela FAO.

FARINELLI, R. et al. Adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro, em plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 307-312, 2006.

Filgueira, F.A.R. (2003). **Novo manual de olericultura: Agrotecnologia Moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa. Editora UFV, 412p.

KIKUTI, H. et al. Teores de macronutrientes na parte aérea do feijoeiro em função de nitrogênio e de fósforo. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 2, p. 347-354, 2006.

KIKUTI, H.; ANDRADE, M.J.B.; CARVALHO, J.G.; MORAIS, A.R. Nitrogênio e fósforo em feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) variedade cultivada BRS MG Talismã. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.27, n.3, p. 415-422, 2005.

MAGALHAES, et al. Produtividade e exportação de nutrientes em feijão-vagem adubado com esterco de galinha. **Rev. Ceres** [online]. 2017, vol.64, n.1, pp.98-107.

MALAVOLTA, E. et al. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa de Potassa e do Fosfato, 1997.

MEIRA, F.A.; SÁ, M.E.; BUZETTI, S.; ARF, O. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio no feijoeiro irrigado cultivado em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.4, p.383-388, 2005.

MERCANTE, F. M.; OTSUBO, A. A.; LAMAS, F. M. Inoculação de *Rhizobium tropici* e aplicação de adubo nitrogenado na cultura do feijoeiro. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DE SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 27.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 11.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 9.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 6., 2006. **Anais...** Bonito, MS. Fertbio, 2006: A busca das raízes. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. CD-ROM.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2002. 626 p.

PRELA, A., RIBEIRO, A.M.A. (2002) Determinação de graus-dia acumulados e sua aplicação no planejamento do cultivo de feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) para Londrina-PR. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. 10(1): 83-86.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: agricultura em regiões tropicais**. 8.ed. São Paulo: Nobel, 1990. 542p.

RODRIGUES, J. R. M. **Resposta do feijoeiro (cvs. Carioca e Pérola) a doses de nitrogênio e fósforo**. 2001. 124 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.

ROSOLEM, C.A. Calagem e adubação mineral. In: ARAÚJO, R.S.; RAVA, C.A.; STONE, L.F.; ZIMMERMANN, M.J. de O. (Coord.). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafos, 1996. p.353-390.

SILVA, M. P. **Espaçamentos entrelinhas e doses de nitrogênio em dois cultivares de feijoeiro irrigado no sistema plantio direto**. 2010. 64 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Sistemas de Produção)-Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2010.

SILVA, M.G.; ARF, O.; SÁ, M.E.; RODRIGUES, R.A.F.; BUZETTI, S. Manejo do solo e adubação nitrogenada em feijoeiro de inverno. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, maio/jun., v.61, n.3, p.307-312, 2004.

SILVA, T.R.B. Adubação nitrogenada e resíduos vegetais no desenvolvimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em sistema plantio direto. Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, 2002. 56p. (Tese de Mestrado).

SILVEIRA, P. M.; BRAZ, A. J. B. P.; DIDONET, A. D. Uso de clorofilômetro como indicador da necessidade de adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília-DF, v. 38, n. 9, p. 1083- 1087, 2003.

SILVEIRA, P.M.; BRAZ, A.J.B.P.; KLIEMANN, H.J. & ZIMMERMANN, F.J.P. Adubação nitrogenada no feijoeiro cultivado sob plantio direto em sucessão de culturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 40:377-381, 2005.

SILVEIRA, P.M.; DAMASCENO, M.A. Doses e parcelamento de K e de N na cultura do feijoeiro irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 11, p. 1269- 1276, 1993.

SOIL SURVEY STAFF, 1990, **Keys to soil taxonomy**, 4th edition: Soil Management Support Services Technical Monograph 19: Blacksburg. Virginia, Virginia Polytechnic Institute and State University.

SOUZA, E.D. **Efeito de fontes, doses e épocas da adubação nitrogenada sobre os componentes de produção e a produtividade do feijoeiro irrigado em plantio direto**. 2006. 26f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2006.

STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A. Resposta do feijoeiro ao nitrogênio em cobertura, sob diferentes lâminas de irrigação e preparos do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília-DF, v. 36, n. 3, p. 473-481, 2001.

TEIXEIRA, C.M.; CARVALHO, G.J.; ANDRADE, M.J.B.; FURTINI NETO, A.E.; MARQUES, E.L.S. Palhadas e doses de nitrogênio no plantio direto do feijoeiro. **Acta Scientiarum**. Maringá, v.27, n.3, p. 499-505, july/sept., 2005.

TEIXEIRA, I.R.; ANDRADE, M.J.B.; CARVALHO, J.G.; MORAIS, A.R.; CORRÊA, J.B.D. Resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Pérola) a diferentes densidades de semeadura e doses de nitrogênio. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, n. 2, p. 399-408, 2000.

VALÉRIO, C.R.; ANDRADE, M.J.B.; FERREIRA, D.F.; REZENDE, P.M. Resposta do feijoeiro comum a doses de nitrogênio no plantio e em cobertura. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.27, Edição Especial, p.1560-1568, 2003.

## **4 ARTIGO B: Otimização das aplicações de fertilizantes nitrogenados para a produção de feijão-vagem e sua influência na FBN, objetivando melhorar a qualidade da água.**

### 4.1 RESUMO

O feijão vagem é uma leguminosa e algumas cultivares têm a capacidade de realizar fixação biológica do nitrogênio (FBN) da atmosfera. Resultando em diferentes curvas de resposta ao nitrogênio (N) e talvez diferentes recomendações de N. Pouco se sabe sobre as compensações entre aplicação de N e nodulação em feijão-vagem, as taxas de remoção de outros macronutrientes (P, K, S, Ca, Mg) e micronutrientes (B, Zn, Mn, Cu) e a produtividade. O objetivo deste projeto foi desenvolver recomendações de N para feijão-vagem nodulíferos submetidos a doses de N. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro repetições, sendo o fator de parcelas subdivididas a taxa de N (20, 50, 80, 110, 140 e 170 lb-N ac<sup>-1</sup>) ou (22,4; 56,0; 89,6; 123,2; 156,9 e 190,4 Kg-N ha<sup>-1</sup>). As parcelas foram colhidas mecanicamente e determinados a produtividade e o teor total de N, P, K, S, Ca, Mg, B, Zn, Mn, Cu. Também foi determinada a concentração de <sup>15</sup>N e utilizado para quantificar o equilíbrio entre aplicação e a fixação de N. Os resultados do estudo foram submetidos à análise de regressão polinomial até segundo grau e teste Tukey para comparar as épocas de semeadura, a 5%. O aumento das doses de N incrementou a produtividade e os teores de N no tecido vegetal. Em contraponto, inibiu a FBN e também resultou em excesso de fertilizante não utilizado, lixiviado para o lençol freático.

**Palavras-chave:** Doses de nitrogênio; Macro nutrientes; Ureia; Nodulação; N<sub>15</sub>; Fixação biológica de Nitrogênio.

## **Optimizing nitrogen fertilizer applications for snap bean production to improve water quality**

### 4.2 ABSTRACT

Snap bean is a legume and some have the ability to perform biological nitrogen fixation (BNF) of the atmosphere. This will result in different nitrogen response (N) curves and perhaps different recommendations of N. Little is known about the compensations between N application and nodulation in bean-pod, removal rates of other macro-nutrients (P, K, S, Ca, Mg) and micronutrients (B, Zn, Mn, Cu) and productivity. The objective of this project was to develop N recommendations for noduliferous and non-noduliferous bean pods submitted to N doses. The experimental design was in a randomized complete block with four replications, with the split factor being the N rate (20, 50, 80, 110, 140 and 170 lb-N ac<sup>-1</sup>) or (22,4; 56,0; 89,6; 123,2; 156,9 and 190,4 Kg-N ha<sup>-1</sup>). The plots were mechanically harvested and determined the productivity and the total content of N, P, K, S, Ca, Mg, B, Zn, Mn, Cu. The <sup>15</sup>N concentration was also determined and used to quantify the balance between application and N fixation. The results of the study were submitted to polynomial second degree regression analysis and Tukey test to compare sowing times, at 5%. Increasing N doses increased productivity and N levels in plant tissue. In counterpoint, it inhibited BNF and also resulted in excess of unused fertilizer leached into the water table.

**keywords:** Nitrogen doses; Macro nutrients; Urea; Nodulation; N15; Biological fixation of nitrogen.

### 4.3 INTRODUÇÃO

O feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma hortaliça pertencente à mesma espécie do feijão comum, diferindo apenas no estágio de colheita das suas vagens, que ocorrem ainda imaturas, e podem ser consumidas frescas ou de forma industrializada (HAESBAERT et al., 2011).

As três fontes de fornecimento de nitrogênio (N) são: do solo, principalmente pela decomposição da matéria orgânica; via fertilizante, forma mais comumente utilizada para a obtenção de N pelo feijoeiro tendo em vista que é a mais rapidamente assimilada pelas plantas apesar do seu custo energético elevado; e a fixação biológica de nitrogênio (FBN) (FRANCO, 1997; VIEIRA, 1998).

Segundo Fernandes et al. (1998) o principal agravante na utilização dos fertilizantes nitrogenados reside na baixa eficiência de sua utilização pelas plantas, raramente ultrapassando 50%. Várias pesquisas realizadas em diferentes regiões do Brasil e do mundo relataram que, normalmente, com o aumento das doses de N aplicadas ocorre um decréscimo no seu aproveitamento, em função da disponibilidade de N ultrapassar a necessidade da cultura. Isso significa que a metade dos fertilizantes nitrogenados aplicados na agricultura são perdidos por lixiviação (lavagem no perfil do solo), pela desnitrificação (transformação do  $\text{NO}_3^-$  em  $\text{N}_2$  e  $\text{NO}_2$ ) e pela volatilização do  $\text{NH}_3$ .

Para a cultura de feijão, a FBN é realizada por algumas bactérias específicas (*Azorhizobium*, *Bradyrhizobium* e *Rhizobium*), denominadas genericamente de rizóbios, que habitam livremente no solo ou podem ser inoculadas nas plantas. Tais microrganismos são de fundamental importância para evitar gastos desnecessários com fertilizantes e danos ao meio ambiente por sua lixiviação.

As atuais diretrizes de extensão da Universidade de Wisconsin – Madison-Wi- EUA, recomendam  $60 \text{ lb N ac}^{-1}$  (libras de N por acre) ( $67,5 \text{ kg ha}^{-1}$ ) para a cultura do feijão-vagem cultivado em solos com menos de 2% de matéria orgânica, os quais correspondem à maioria dos solos da região de Central Sands de Wisconsin (WI). No entanto, a dose típica que os produtores de feijão aplicam é muito maior do que essa.

Realizadas na cidade de Plover, WI, pesquisas anteriores sobre a resposta de feijão-vagem ao N com variedades de alto rendimento proporcionaram resultados interessantes, mas não esclareceram se são aplicáveis a todos os cultivos de feijão-vagem.

Os resultados sugerem 100 lb-N ac<sup>-1</sup> (112,9 kg ha<sup>-1</sup>) como a dose ótima (20 lb-N ac<sup>-1</sup> na semeadura e 80 lb-N ac<sup>-1</sup> de cobertura) (22,42 kg ha<sup>-1</sup> na semeadura e 89,67 kg ha<sup>-1</sup> de cobertura), para a qual os rendimentos são superiores a nove ton ac<sup>-1</sup> (22239,48 kg ha<sup>-1</sup>). No entanto, para os rendimentos típicos de feijão-vagem, que estão na faixa de quatro a cinco ton ac<sup>-1</sup> (resultados apresentados por agricultores na reunião anual dos produtores de hortaliças), não há uma exigência de 100 lb N ac<sup>-1</sup> (recomendações atuais são de 60 lb N ac<sup>-1</sup> para os rendimentos acima a 6,5 ton ac<sup>-1</sup>).

Além disso, pesquisas anteriores também indicaram que para as variedades não-nodulíferas (ou seja, variedades que não permitem a infecção da raiz por rizóbios, e, portanto, não fixam N diretamente da atmosfera), a eficiência da utilização de N é de 68%, quando aplicada a dose de 100 lb N ac<sup>-1</sup>.

Para variedades nodulíferas (neste caso as variedades de alto rendimento) a análise adicional usando concentrações de isótopos estáveis <sup>15</sup>N é necessária para determinar a verdadeira eficiência de remoção, pois não se sabe como a adição de fertilizante nitrogenado inibe a quantidade de N que é fixado.

Análises preliminares dos resultados indicam que a dose de 100 lb ac<sup>-1</sup> (112 kg ha<sup>-1</sup>) inibe completamente a fixação de N em feijão-vagem. Apesar de parecer contra intuitivo isto é realmente benéfico para a qualidade da água, pois significa que o N aplicado substitui o fixado da atmosfera e não é perdido por lixiviação. Se a aplicação de fertilizantes nitrogenados não inibisse completamente a fixação de N, a maior parte do N aplicado não seria utilizado e, portanto, seria lixiviado para a água subterrânea.

Assim, a inibição integral da fixação de N ocorreu na dose de 100 lb ac<sup>-1</sup> (112 kg ha<sup>-1</sup>), com menores doses de N inibindo uma menor porcentagem de fixação. Logo, se as variedades mais utilizadas normalmente requerem menos insumos nitrogenados (na faixa de 50 a 80 lb-N ac<sup>-1</sup>) ou (56 a 89,6 Kg ha<sup>-1</sup>), é importante saber a verdadeira eficiência de uso de N e de que maneira menores teores de N em variedades de rendimento inferior podem ser menos eficientes do que maiores teores deste adubo em variedades de maior rendimento. Com todas as

questões relativas à concentração de nitrato nas águas da região de Central Sands, sabe-se muito pouco sobre o destino real do N (ou pelo menos a utilização do N aplicado) em sistemas de produção de feijão-vagem.

O outro grande problema na produção de feijão-vagem é a falta de medições modernas das taxas de remoção de todos os nutrientes do solo. Há recomendações na A2809 (LABOSKI; PETERS, 2012), mas não está claro como essas recomendações foram desenvolvidas, possivelmente obtidas a partir de estimativas de plantas semelhantes e/ou de pesquisas em outros estados.

Diante do exposto o objetivo deste estudo foi desenvolver recomendações de doses de N para cultivares de feijão-vagem nodulíferas e avaliar o impacto do sistema de cultivo na qualidade da água subterrânea.

#### 4.4 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada na Estação Experimental Agrícola Hancock, pertencente à Universidade de Wisconsin-Madison, Wisconsin, E.U.A, nos anos de 2016 e 2017. O clima do local é classificado segundo Koppen como Dfb: temperado, frio sem estação seca e com verão temperado.

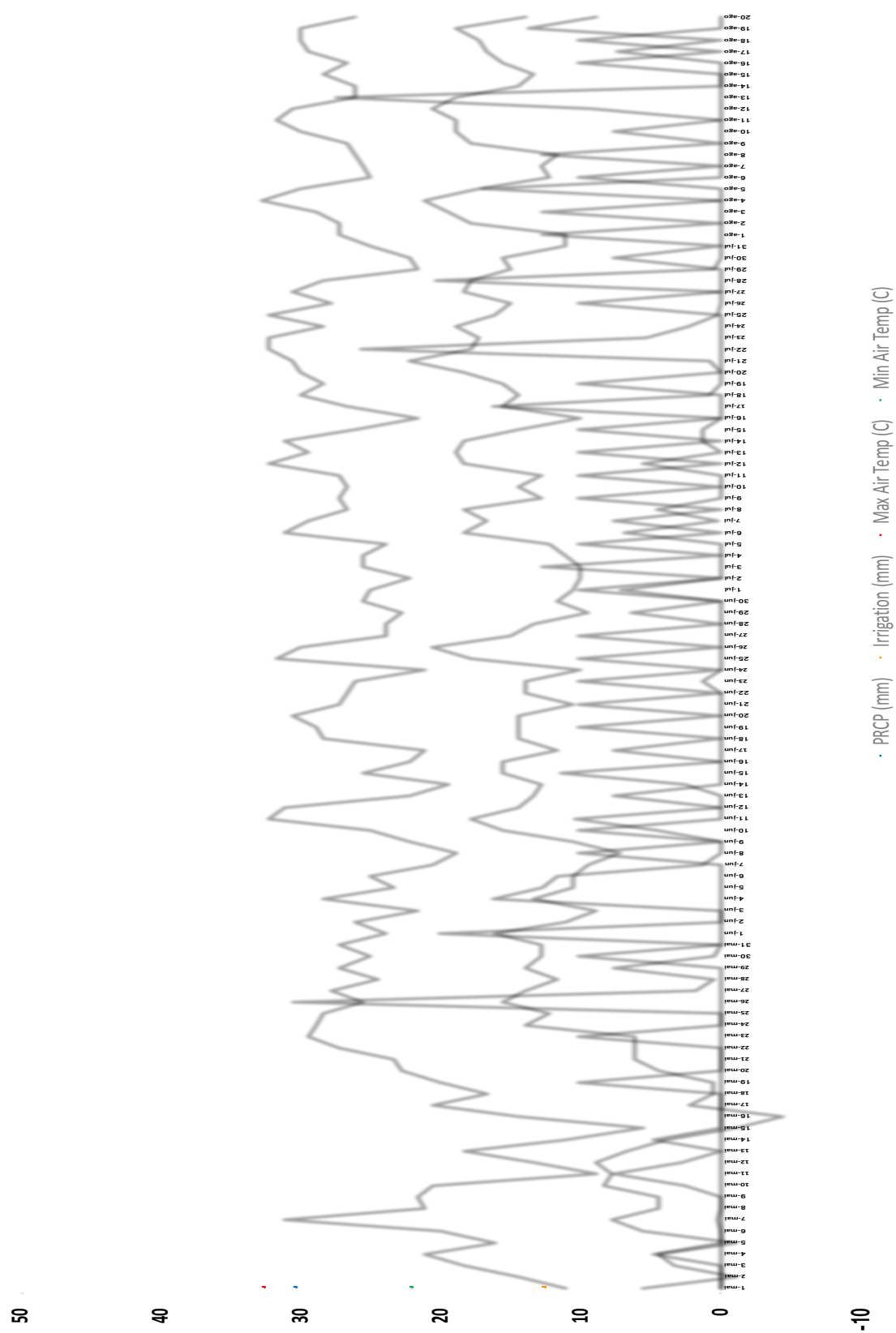
O solo é classificado como Entisol segundo Soil Survey Staff (1975) e foi analisado antes da instalação dos experimentos. Os valores de pH, MO, P, K, S, Ca, Mg e micronutrientes para os dois anos de cultivo foram determinados antes da instalação dos ensaios e encontram-se na tabela 1.

Também foram determinadas as temperaturas máximas e mínimas diárias, precipitação e volume de irrigação durante a condução dos experimentos durante os dois anos conforme as Figuras 1a e 1b.

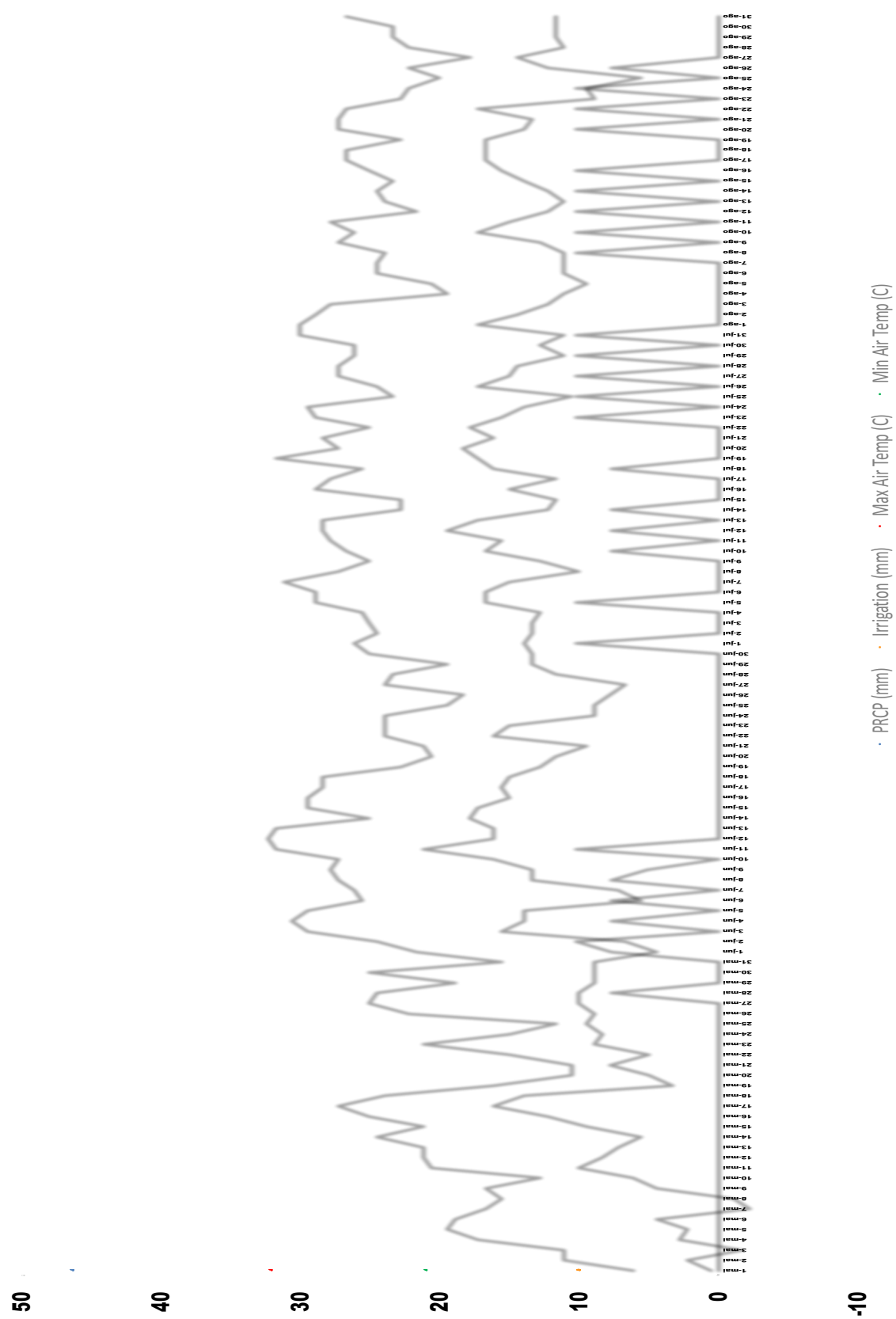
**Tabela 1:** Análise química de solo antes da instalação dos experimentos nos anos de 2016 e 2017.

<i>ANO</i>	<i>pH</i>	<i>P</i> <i>mg dm<sup>-3</sup></i>	<i>MO%</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i> <i>cmolc dm<sup>-3</sup></i>	<i>Mg</i>	<i>B</i>	<i>Mn</i> <i>mg dm<sup>-3</sup></i>	<i>Zn</i> <i>mg dm<sup>-3</sup></i>	<i>S</i>
2016	5,60	100,50	0,70	0,31	1,04	0,61	0,10	17,50	0,73	2,60
2017	5,85	94,00	0,80	0,29	0,95	0,32	0,20	13,00	1,45	0,75

**Figura 1a** - Dados de temperatura máxima e mínima, pluviosidade e irrigação diárias da safra de 2016.



**Figura 1b** - Dados de temperatura máxima e mínima, pluviosidade e irrigação diárias da safra de 2017.



O delineamento experimental foi o de blocos casualizados em parcelas subdivididas com quatro repetições em campo. O estudo foi replicado duas

vezes por estação de crescimento, comparando duas épocas de semeadura diferentes (26 de maio e 14 de junho) de 2016 e (31 de maio e 19 de junho) de 2017 a fim de avaliar o efeito da época de semeadura e obter dados de mais de uma safra.

Foram utilizadas cultivares de feijão-vagem publicamente disponíveis (não propriedade de empresas específicas, embora sejam utilizadas por todos os agricultores de Wisconsin) Caprice e DM 04-88 (nodulíferas) e também Huntington (não-nodulífera), a qual serviu de referência para os cálculos de  $^{15}\text{N}$ .

As sub-parcelas foram as doses de N de 20, 50, 80, 110, 140 e 170 lb-N  $\text{ac}^{-1}$  ou (22,4; 56,0; 89,6; 123,2; 156,9 e 190,4 Kg-N  $\text{ha}^{-1}$ ). A fertilização na semeadura com uma dose de 20 lb-N  $\text{ac}^{-1}$  é uma prática comum, portanto não houve uma dose zero verdadeira de N no estudo. Consequentemente, o experimento avaliou as doses de N de cobertura, com a dose de 20 lb-N  $\text{ac}^{-1}$  na semeadura aplicada a todos os tratamentos.

As doses de N foram aplicadas da seguinte forma: 20 lb-N  $\text{ac}^{-1}$  juntamente com a semeadura e o N restante aplicado 50% no 3º trifólio (estádio de crescimento V3) e 50% de 7 a 10 dias após a primeira aplicação.

Cada parcela foi formada por quatro linhas com 20 pés de comprimento, um pé de espaçamento entre linhas, (1 pé equivale a 30,48 cm) com feijões-vagem semeados a uma densidade de 130.000 sementes  $\text{ac}^{-1}$  (321.237 sementes  $\text{ha}^{-1}$ ).

Ao atingir o ponto de colheita as vagens foram colhidas mecanicamente nas duas linhas centrais para a obtenção do peso fresco. Uma sub-amostra de vagens foi recolhida para determinação da umidade, qualidade e concentração total de nutrientes. Seis amostras de plantas inteiras foram coletadas antes da colheita, separadas entre vagens e biomassa vegetal e posteriormente secas, moídas e analisadas para determinação do teor de N total e a concentração de  $^{15}\text{N}$ .

A concentração total de nutrientes foi analisada pelo laboratório de solos e análises de plantas da Universidade de Wisconsin e a concentração de  $^{15}\text{N}$  determinada pela Universidade da Califórnia-Davis, laboratório Stable Isotope Facility. O teor de nutrientes das vagens foi calculado com o peso de sua matéria seca multiplicado pela concentração de nutrientes.

A partir dos resultados foram calculados: O fator de produtividade parcial (rendimento / N aplicado) e o balanço de nutrientes parciais (N removido / N aplicado) para todas

as doses de N. Também foram calculadas as porcentagens com que a FBN, o solo e o fertilizante participam do teor de N final das plantas e o teor de N proveniente do fertilizante, que não foi utilizado pelas plantas, podendo ser lixiviado para o lençol freático.

Podemos determinar a verdadeira eficiência de absorção de N através do conhecimento da concentração de  $^{15}\text{N}$  das plantas de referência (variedades não-nodulíferas) e de variedades nodulíferas. Como planta de referência foi utilizado o híbrido Hugtington (não nodulífero), que tem características morfofisiológicas mais próximas dos híbridos estudados. Para ser claro, esta é uma abordagem de abundância natural em vez de uma abordagem com isótopo marcador. Uma vez que as concentrações de  $^{15}\text{N}$  de plantas nodulíferas e não-nodulíferas são conhecidos, o cálculo para a porcentagem de N na nodulação das plantas que é derivado da atmosfera (% Nda) é calculado como:

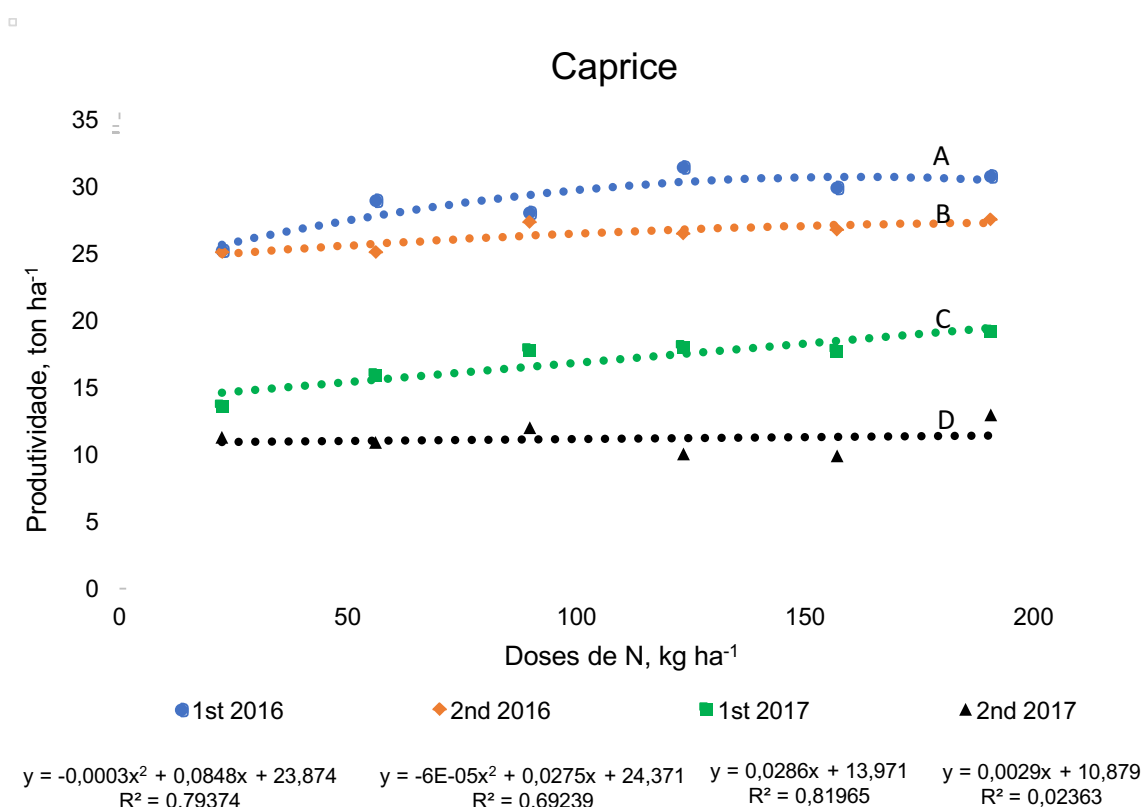
$$(\text{N}^{15} \text{ da planta referência} - \text{N}^{15} \text{ de plantas fixadoras de N}) / (\text{N}^{15} \text{ da planta referência})$$

Os resultados da avaliação de todos os nutrientes nas plantas, de  $^{15}\text{N}$  (porcentagem de N fixado), produtividade e nitrogênio lixiviado foram submetidos à análise de variância e as médias submetidas à análise de regressão polinomial até segundo grau. As diferenças entre as épocas de cultivo foram submetidas ao teste Tukey a 5% de significância.

#### 4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o híbrido Caprice, quando submetidos à análise de regressão os valores de produtividade apresentaram diferença significativa em todas as épocas de semeadura, conforme o aumento das doses de nitrogênio (Figura 2).

**Figura 2** - Produtividade do híbrido Caprice nas duas safras, nos anos de 2016 e 2017, em função do aumento das doses de nitrogênio.



\*-Equação da análise de regressão abaixo da legenda

AB-Médias de comparação entre as épocas de cultivos, acima das curvas

Os melhores resultados de produtividade ocorreram na primeira época de semeadura de 2016 (1st 2016), as quais exibiram comportamento quadrático conforme o aumento das doses. As produtividades obtidas foram de 25,23 t ha<sup>-1</sup> na dose de 22,4 kg ha<sup>-1</sup>; 31,41 t ha<sup>-1</sup> na dose de 123,2 kg ha<sup>-1</sup>; 30,77 t ha<sup>-1</sup> na dose de 190,4 kg ha<sup>-1</sup> sendo que o ponto máximo da curva foi obtido na dose de 158,29 kg ha<sup>-1</sup>, a qual atingiu 29,86 t ha<sup>-1</sup> de acordo com a equação proposta.

Para a segunda época de 2016 (2nd 2016), os valores de produtividade também mostraram comportamento quadrático de acordo com o aumento das doses nitrogenadas, de 25,07 t ha<sup>-1</sup> na dose de 22,4 kg ha<sup>-1</sup>, 27,33 t ha<sup>-1</sup>

<sup>1</sup> na dose de 89,6 kg ha<sup>-1</sup>, 27,50 t ha<sup>-1</sup> na dose de 190,4 kg ha<sup>-1</sup> e o ponto máximo da curva obtido na dose de 256,65 kg ha<sup>-1</sup> com produtividade de 27,31 t ha<sup>-1</sup>, adequando-se a equação contida na Figura 2.

Por sua vez, os números obtidos na primeira época de 2017 (1st 2017) apresentaram um comportamento linear crescente com o aumento de doses de N, obtendo-se 11,27 t ha<sup>-1</sup> na dose de 22,4 kg ha<sup>-1</sup> e chegando até 12,94 t ha<sup>-1</sup> na dose de 190,4 kg ha<sup>-1</sup>. O mesmo tipo de resposta ocorreu na segunda época de 2017 (2nd 2017), obtendo-se 13,56 t ha<sup>-1</sup> na dose de 22,4 kg ha<sup>-1</sup> e atingindo 19,13 t ha<sup>-1</sup> na dose de 190,4 kg ha<sup>-1</sup>.

Quando comparadas as épocas de semeadura pelo teste Tukey também houve diferença significativa entre todas as épocas, representada pelas letras na Figura 2, revelando que o ano de 2016 teve melhores produtividades que o de 2017 e que a primeira época de semeadura foi a melhor em ambos os anos.

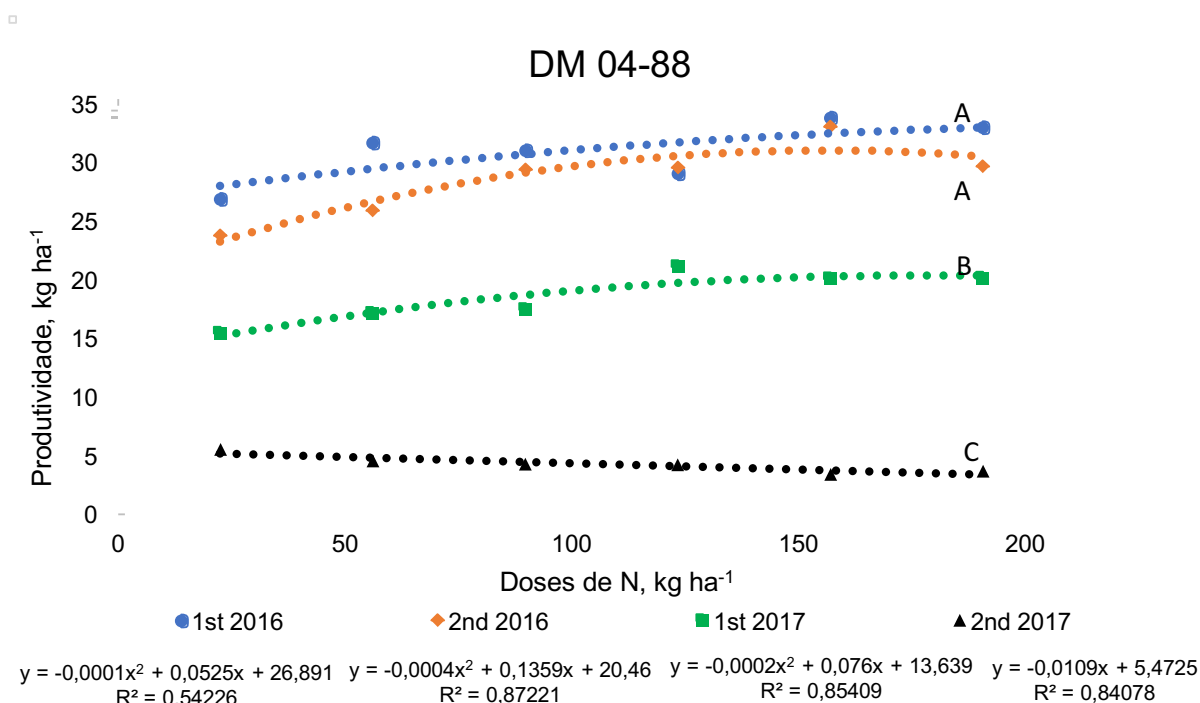
Tal qual para o híbrido Caprice, quando submetidos à análise de regressão, os dados de produtividade do híbrido DM 04-88 exibiram diferenças significativas em todas as épocas de semeadura conforme o aumento das doses de nitrogênio (Figura 3).

As melhores respostas ocorreram na primeira época de semeadura de 2016 (1st 2016) e tiveram comportamento quadrático de acordo com o aumento das doses, obtendo-se 26,86 t ha<sup>-1</sup> na dose de 22,4 kg ha<sup>-1</sup>, 33,84 t ha<sup>-1</sup> na dose de 156,9 kg ha<sup>-1</sup>, 32,99 t ha<sup>-1</sup> na dose de 190,4 kg ha<sup>-1</sup> com ponto máximo na dose de 294 kg ha<sup>-1</sup> atingindo 33,78 t ha<sup>-1</sup>, de acordo com a equação (Figura 3).

Resultados semelhantes foram obtidos para a segunda época de 2016 (2nd 2016), com valores de produtividade mostrando comportamento quadrático com o aumento das doses, de 23,78 t ha<sup>-1</sup> na dose de 22,4 kg ha<sup>-1</sup>, chegando a 33,03 t ha<sup>-1</sup> na dose de 156,9 kg ha<sup>-1</sup>, até 29,65 t ha<sup>-1</sup> na dose de 190,4 kg ha<sup>-1</sup> com ponto máximo na dose de 190,25 kg ha<sup>-1</sup>, atingindo 32 t ha<sup>-1</sup>.

As produtividades obtidas durante a primeira época de 2017 (1st 2017) igualmente tiveram um comportamento quadrático, verificando-se 15,50 t ha<sup>-1</sup> na dose de 22,4 kg ha<sup>-1</sup>, 21,13 t ha<sup>-1</sup> na dose de 123,2 kg ha<sup>-1</sup>, 20,17 t ha<sup>-1</sup> na dose de 190,4 kg ha<sup>-1</sup> e o ponto máximo da curva atingido na dose de 212,8 kg ha<sup>-1</sup>, com 20,86 t ha<sup>-1</sup>.

**Figura 3** - Produtividade do híbrido DM 04-88 nas duas safras, nos anos de 2016 e 2017, em função do aumento das doses de nitrogênio.



\*-Equação da análise de regressão abaixo da legenda

AB-Médias de comparação entre as épocas de cultivos, acima das curvas

Em contrapartida, resposta linear decrescente foi constatada na segunda época de 2017 (2st 2017) conforme o aumento de doses de N, obtendo-se 5,58 t ha<sup>-1</sup> na dose de 22,4 kg ha<sup>-1</sup>, chegando até 3,69 t ha<sup>-1</sup> na dose de 190,4 kg ha<sup>-1</sup>.

Quando comparadas as épocas de semeadura pelo teste Tukey não houve diferença significativa entre as épocas de semeadura em 2016, diferindo com a produtividade obtida no ano de 2017 que apresentou diferença entre as épocas.

Os experimentos do ano de 2017 apresentaram rendimento abaixo do esperado, comparando-se com 2016 e também com a literatura. O solo onde os ensaios foram implantados não era tão profundo, principalmente na região do experimento de segunda época.

Associado a isso, maior volume e intensidade de chuvas ocorreram em 2017, o que não é comum para a região de Central Sands. O alto volume de precipitação associado com a baixa profundidade do perfil do solo provocaram um grande acúmulo de água na área onde foi conduzido o experimento, o que prejudicou a produtividade final.

Diante desta perspectiva, o comportamento quadrático do híbrido Caprice nas duas épocas do ano de 2016 deve-se à cultura ter expressado o seu máximo potencial produtivo, conforme a adição de nitrogênio, atingindo um ponto onde este nutriente passou a ser prejudicial ao desenvolvimento.

No ano de 2017, por sua vez, o híbrido obteve comportamento linear crescente para o parâmetro nas duas épocas de cultivo, dadas as condições ambientais de altas precipitações e acúmulo de água no perfil do solo. Tais fatores impediram a cultura de desenvolver seu máximo potencial produtivo, não necessitando de maiores quantidades de nitrogênio. O alto volume de chuvas pode, também, ter propiciado a lixiviação de uma maior quantidade de N, impedindo seu pleno aproveitamento pela cultura.

Em resumo, assim como no híbrido Caprice, o comportamento quadrático mostrado para as duas épocas de semeadura de 2016 e a primeira de 2017 para o material DM 04-88 é oriundo da influência negativa do N na produção da planta assim que esta atinge seu máximo potencial produtivo. Na segunda época de 2017 o desenvolvimento da cultura foi muito prejudicado pela alta concentração de água no perfil do solo, respondendo negativamente às doses de N.

Andrade et al. (2001) afirmam que a adubação mineral de cobertura resultou em um maior número de vagens por planta.

Pelegrin et al. (2009) não obtiveram efeito significativo da inoculação e da adubação nitrogenada na produção, assim como Soares (2011) ao avaliar o efeito de doses suplementares de N em feijoeiro quando submetidos à inoculação. Em contrapartida, Oliveira (2013) obteve efeito significativo ao aplicar doses suplementares de N em plantas inoculadas comparadas às plantas apenas inoculadas, a testemunha (que não recebeu aplicação de N e nem inoculação) e quando aplicado apenas 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura, quanto às doses suplementares avaliadas, não obteve diferença estatística ao aplicar N em cobertura e com o aumento da dosagem de N de cobertura.

Soares (2011) sugere que apenas a dosagem de 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura em conjunto com a inoculação sejam suficientes para a manutenção de boa produtividade, tendo em vista a ausência diferença estatística para a aplicação de N em cobertura em seus experimentos. O mesmo resultado foi observado com o aumento da dosagem, o que possibilitaria uma redução da dose de adubação nitrogenada e um aumento da receita líquida.

Trabalhando com doses de nitrogênio (0, 224 e 448 kg ha<sup>-1</sup>), Lawn & Brun (1974) evidenciaram que a produção foi incrementada com a adição de nitrogênio. Imansade & Schmidt (1999) também encontraram efeito positivo da adição de nitrogênio na produção de grãos e consideraram importante a adição de N e formas de manejo que proporcionem maior disponibilidade do nutriente.

Thies et al. (1995), estudando a fenologia, crescimento e produção de soja e feijão em função de formas de nutrição mineral, observaram efeito marcante da adição de N na produção de fitomassa de soja.

Por outro lado, Koutroubas et al. (1998) constataram que a produtividade esteve positivamente correlacionada com o acúmulo de fitomassa seca nos estágios de florescimento (R2) e enchimento de grãos (R5). Visto que esses são os estágios que apresentam a maior intensidade metabólica o intervalo entre os estágios corresponde ao subperíodo chave onde a planta deve estar bem suprida de nitrogênio e fotoassimilados.

Não houve diferença no teor dos demais nutrientes com o aumento das doses de N para os dois híbridos nas quatro épocas cultivadas (Tabelas 2 e 3). Esse fato deve-se principalmente aos dois híbridos estudados serem fixadores de nitrogênio. Conseqüentemente, não houve deficiência drástica deste nutriente, o que poderia acarretar disfunções na planta que se refletiriam no teor dos outros nutrientes. Além disso, o solo onde foi realizado o experimento é de textura arenosa e qualquer excesso de nitrogênio é facilmente lixiviado, o que não prejudica a absorção dos outros elementos, os quais dificilmente competiriam entre si. Segundo Portes (1996), plantas de feijão bem nutridas produzem mais flores e, portanto, mais vagens por planta.

**Tabela 2** - Teor de macro e micro nutrientes nas vagens dos dois híbridos no ano de 2016 ( $\text{g kg}^{-1}$ ).

	<b>DOSE</b> $\text{Kg ha}^{-1}$	<b>P</b> $\text{g Kg}^{-1}$		<b>K</b> $\text{g Kg}^{-1}$		<b>Ca</b> $\text{g Kg}^{-1}$		<b>Mg</b> $\text{g Kg}^{-1}$		<b>S</b> $\text{g Kg}^{-1}$	
Caprice	22,42	4,79	A	28,52	A	4,64	A	2,77	A	1,98	A
Caprice	89,67	4,34	A	25,86	A	4,32	A	2,77	A	1,94	A
Caprice	156,92	4,70	A	26,18	A	4,58	A	2,95	A	1,86	A
	*	ns		ns		ns		ns		ns	
	cv%	5,45		5,87		21,62		6,05		6,12	
DM 04-88	22,42	4,88	A	22,85	A	5,98	A	3,15	A	2,08	A
DM 04-88	89,67	4,69	A	23,88	A	5,72	A	3,06	A	2,19	A
DM 04-88	156,92	5,15	A	24,67	A	5,67	A	3,30	A	2,20	A
	*	ns		ns		ns		ns		ns	
	cv%	5,08		4,5		6,84		9,78		8,79	
	<b>DOSE</b> $\text{Kg ha}^{-1}$	<b>Zn</b> $\text{mg Kg}^{-1}$		<b>Mn</b> $\text{mg Kg}^{-1}$		<b>B</b> $\text{mg Kg}^{-1}$		<b>Fe</b> $\text{mg Kg}^{-1}$		<b>Cu</b> $\text{mg Kg}^{-1}$	
Caprice	22,42	39,32	A	50,55	A	36,91	A	73,01	A	8,00	A
Caprice	89,67	43,04	A	58,25	A	28,07	B	66,18	A	6,42	A
Caprice	156,92	39,44	A	62,49	A	38,22	A	66,75	A	6,07	A
	*	ns		ns		*		ns		ns	
	cv%	13,00		14,10		7,90		7,41		24,67	
DM 04-88	22,42	37,25	A	56,67	A	36,73	A	66,12	A	10,44	A
DM 04-88	89,67	35,47	A	59,82	A	36,37	A	66,59	A	6,96	A
DM 04-88	156,92	42,14	A	69,88	A	42,37	A	65,57	A	7,56	A
	*	ns		ns		ns		ns		ns	
	cv%	14,56		31,55		18,49		22,5		23,3	

\*Significativo através do teste Duncan.

AB- Diferença entre letras representa diferença significativas entre médias pelo teste Duncan.

**Tabela 3** - Teor de macro e micro nutrientes nas vagens dos dois híbridos no ano de 2017 ( $\text{g kg}^{-1}$ ).

	<b>DOSE</b> <b>Kg ha<sup>-1</sup></b>	<b>N</b> <b>g Kg<sup>-1</sup></b>		<b>P</b> <b>g Kg<sup>-1</sup></b>		<b>K</b> <b>g Kg<sup>-1</sup></b>		<b>Ca</b> <b>g Kg<sup>-1</sup></b>		<b>Mg</b> <b>g Kg<sup>-1</sup></b>		<b>S</b> <b>g Kg<sup>-1</sup></b>	
Caprice	22,42	31,53	A	3,72	A	25,17	A	4,77	A	2,72	A	1,63	A
Caprice	89,67	29,64	A	3,97	A	26,55	A	5,04	A	2,96	A	1,67	A
Caprice	156,92	33,49	B	4,16	A	25,81	A	5,47	A	3,08	A	1,80	A
	*	**		ns		ns		ns		ns		ns	
	cv%	10,00		5,94		8,91		9,20		5,59		7,89	
DM 04-88	22,42	32,74	A	4,24	A	22,96	A	6,00	A	3,36	A	2,03	A
DM 04-88	89,67	38,15	B	4,38	A	24,98	A	5,65	A	3,23	A	2,03	A
DM 04-88	156,92	36,57	B	4,55	A	26,12	A	6,02	A	3,29	A	2,23	A
	*	**		ns		ns		ns		ns		ns	
	cv%	8,46		15,47		11,51		11,45		11,56		14,46	

	<b>DOSE</b> <b>Kg ha<sup>-1</sup></b>	<b>Zn</b> <b>mg Kg<sup>1</sup></b>		<b>Mn</b> <b>mg Kg<sup>1</sup></b>		<b>B</b> <b>mg Kg<sup>1</sup></b>		<b>Fe</b> <b>mg Kg<sup>1</sup></b>		<b>Cu</b> <b>mg Kg<sup>1</sup></b>	
Caprice	22,42	34,51	A	50,80	A	29,38	A	68,78	A	5,25	A
Caprice	89,67	37,24	A	57,34	A	31,96	A	69,02	A	5,95	A
Caprice	156,92	31,68	A	38,04	A	30,69	A	71,35	A	6,15	A
	*	ns		ns		ns		ns		ns	
	cv%	8,01		15,98		17,53		8,71		9,37	
DM 04-88	22,42	34,57	A	56,90	A	32,85	A	66,23	A	6,97	A
DM 04-88	89,67	36,74	A	65,44	A	34,35	A	75,51	A	6,58	A
DM 04-88	156,92	36,87	A	69,27	A	39,28	A	74,93	A	7,19	A
	*	ns		ns		ns		ns		ns	
	cv%	24,53		27,74		25,87		23,55		22,25	

\*Significativo através do teste Duncan.

AB- Diferença entre letras representa diferença significativas entre médias pelo teste Duncan.

Para o híbrido Caprice, no ano de 2016 não houve diferença significativa pela análise de regressão para o teor de N em  $\text{g kg}^{-1}$  nas folhas e vagens da primeira época e também nas folhas da segunda época. Houve diferença significativa apenas para vagens na segunda época de semeadura, tendo

comportamento linear crescente de 28,67 g kg<sup>-1</sup> na dose de 22,4 kg ha<sup>-1</sup> até 33,62 g kg<sup>-1</sup> na dose de 190,4 kg ha<sup>-1</sup> (Tabela 4).

**Tabela 4** - Teor de nitrogênio em g kg<sup>-1</sup> dos dois híbridos, nas duas épocas, no ano de 2016.

Dose kg ha <sup>-1</sup>	Caprice				DM 04-88			
	Primeira Época		Segunda Época		Primeira Época		Segunda Época	
	Folha g kg <sup>-1</sup>	Vagem g kg <sup>-1</sup>	Folha g kg <sup>-1</sup>	Vagem g kg <sup>-1</sup>	Folha g kg <sup>-1</sup>	Vagem g kg <sup>-1</sup>	Folha g kg <sup>-1</sup>	Vagem g kg <sup>-1</sup>
22,4	31,48	33,13	27,34	28,67	33,62	32,29	28,77	29,85
56	27,31	31,15	25,68	29,50	31,19	34,45	25,63	33,33
89,6	31,75	31,20	24,26	29,15	31,78	32,95	29,17	34,02
123,2	26,20	30,03	29,40	32,10	29,87	33,54	27,40	31,42
156,9	27,93	34,49	30,09	30,17	32,68	34,55	30,57	33,65
190,4	29,88	33,91	28,35	33,62	33,84	34,81	33,19	35,01
	ns	ns	ns	*	ns	ns	**	ns
	A	B	A	b	A	B	a	B
CV%	27,8	12,92	20,52	19,5	13,73	15,91	10,37	12,97

\*Significativo através da análise de regressão polinomial até segundo grau.

Aa- Diferença entre letras maiúsculas e minúsculas representa diferença significativa entre as médias pelo teste t.

Na segunda época as plantas não encontraram condições ambientais para expressar o seu máximo potencial produtivo. Do mesmo modo, a FBN igualmente não chegou ao seu máximo, fazendo do aumento das doses de N um fator importante para o incremento deste nutriente nas vagens. Esta diferença também é comprovada quando o teor de N nas vagens, entre épocas de semeadura, comparado estatisticamente, apresentou diferença significativa.

Para DM 04-88, assim como visto em Caprice, conforme o aumento de doses de N, os teores do nutriente presente nas folhas do cultivo de segunda época de 2016 diferiram significativamente pela análise de regressão. Em contrapartida, DM 04-88 translocou o N proveniente da FBN para as vagens em detrimento das folhas, o que proporcionou à adubação nitrogenada ter comportamento linear crescente no período.

No ano de 2017 as duas épocas sofreram com a grande intensidade de chuvas e acúmulo de água no solo, devido à baixa profundidade do perfil. Assim, ambos os híbridos não expressaram seu máximo potencial produtivo e de FBN, o que

resultou na influência significativa do aumento das doses de N, principalmente para a segunda época (Tabela 5).

No híbrido Caprice, o aumento das doses de N exibiu comportamento quadrático e teve influência significativa no teor de nutrientes nas folhas da primeira época de cultivo de 2017. Estas apresentaram 28,51 g kg<sup>-1</sup> na dose de 22,4 kg ha<sup>-1</sup>, aumentando até 33,31 g kg<sup>-1</sup> na dose de 156,9 kg ha<sup>-1</sup> e diminuindo para 30,56 g kg<sup>-1</sup> na dose de 190,4 kg ha<sup>-1</sup>. As folhas da segunda época tiveram comportamento linear crescente partindo de 29,11 g kg<sup>-1</sup> na dose de 22,4 kg ha<sup>-1</sup> até 31,55 g kg<sup>-1</sup> na dose de 190,4 kg ha<sup>-1</sup>, comportamento semelhante ao das vagens, com teores de 31,53 g kg<sup>-1</sup> na dose de 22,4 kg ha<sup>-1</sup> e aumento linear até 33,99 g kg<sup>-1</sup> na dose de 190,4 kg ha<sup>-1</sup>.

**Tabela 5** - Teor de nitrogênio em g kg<sup>-1</sup> dos dois híbridos, nas duas épocas, no ano de 2017.

	Caprice				DM 04-88			
	Primeira Época		Segunda Época		Primeira Época		Segunda Época	
	Folha	Vagem	Folha	Vagem	Folha	Vagem	Folha	Vagem
kg ha <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	
22,4	28,51	29,75	29,11	31,53	29,66	29,41	25,81	32,74
56	28,80	27,98	23,93	27,42	31,26	32,92	26,32	34,28
89,6	29,59	22,03	25,32	29,64	32,33	30,43	27,09	38,15
123,2	31,09	28,28	24,52	29,29	30,78	32,75	27,87	36,38
156,9	33,31	29,25	30,17	33,49	35,27	34,69	33,77	36,57
190,4	30,56	30,22	31,55	33,99	34,17	34,12	33,91	40,84
	*	ns	*	**	**	ns	**	**
	A	B	a	b	A	B	a	b
CV%	8,21	18,65	12,00	10,00	10,85	10,29	13,19	8,46

\*Significativo através da análise de regressão polinomial até segundo grau.

Aa- Diferença entre letras maiúsculas e minúsculas representa diferença significativa entre as médias pelo teste t.

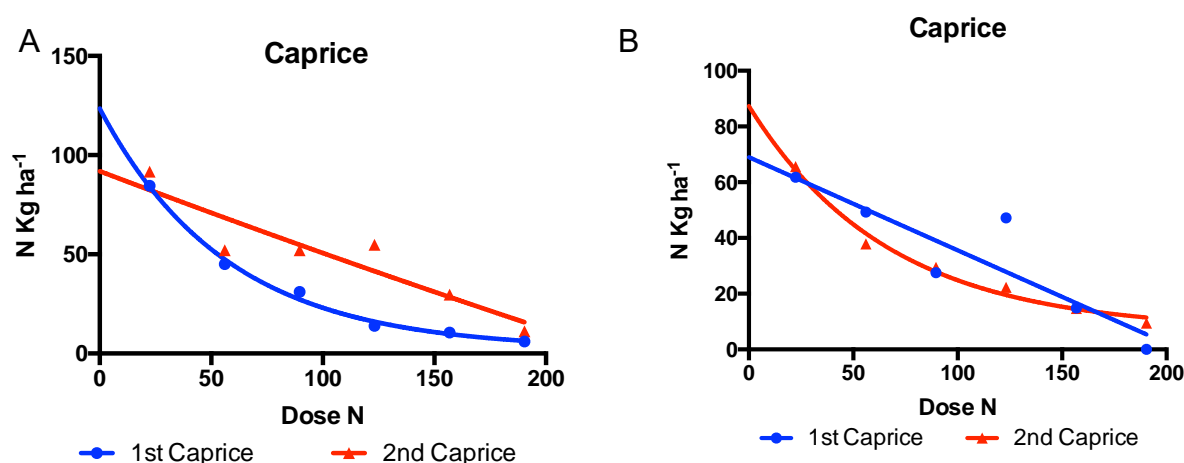
No híbrido DM 04-88, o aumento das doses de N aplicadas refletiu de maneira linear crescente no teor do nutriente nas folhas, de 29,66 g kg<sup>-1</sup> na dose de 22,4 kg ha<sup>-1</sup> até 34,17 g kg<sup>-1</sup> na dose de 190,4 kg ha<sup>-1</sup> para a primeira época. As folhas da segunda época tiveram comportamento similar, de 25,81 g kg<sup>-1</sup> na dose de 22,4 kg ha<sup>-1</sup> até 33,91 g kg<sup>-1</sup> na dose de 190,4 kg ha<sup>-1</sup>. O mesmo ocorreu com as vagens, com teor de 32,74 g kg<sup>-1</sup> na dose de 22,4 kg ha<sup>-1</sup> e aumento linear até 40,84 g kg<sup>-1</sup> na dose de 190,4 kg ha<sup>-1</sup>.

Na primeira época para ambos os híbridos não houve diferença significativa, para o aumento das doses de N, fato que se deve a esta ter sido mais favorável que a segunda época ao desenvolvimento das plantas e dos nódulos de FBN e conseqüentemente melhor fornecimento dos nutrientes pelo processo de fixação, que naturalmente destina este N fixado para as vagens, como mecanismo da planta de priorizar a perpetuação da espécie.

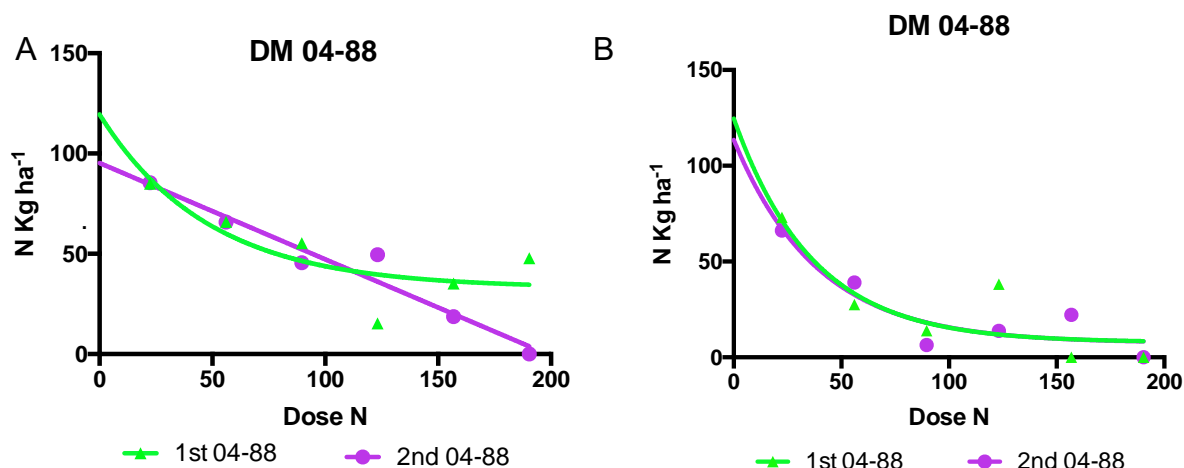
Malavolta et al. (2007) consideram o intervalo entre 30 e 50 g Kg<sup>-1</sup> como faixa ideal de teor de N na parte aérea no período da floração. OLIVEIRA et al. (1996), por sua vez, consideram valores a partir de 28 g Kg<sup>-1</sup> aceitáveis à cultura. Uma vez que o conteúdo de N está diretamente relacionado à massa da planta, plantas do tratamento inoculado apresentaram maior biomassa de parte aérea ao longo de período experimental, e, conseqüentemente, maior conteúdo de N.

A nível de campo, Silva et al. (2009), Kaneko et al. (2010) e Souza et al. (2011) relatam que a produção de massa seca de parte aérea não é influenciada pela inoculação com *Rizobium tropici*. Já Pelegrin et al. (2009) concluíram que apenas a inoculação pode ser capaz de suprir a demanda de N das plantas de feijoeiro, dada a ausência de resposta à adubação nitrogenada.

**Figura 5** - Teor de N fixado em Kg ha<sup>-1</sup> do híbrido Caprice na primeira (1st) e segunda época de semeadura nos anos de 2016 (A) e 2017 (B).



**Figura 6** - Teor de N fixado em  $\text{Kg ha}^{-1}$  do híbrido DM 04-88 na primeira (1st) e segunda época de semeadura nos anos de 2016 (A) e 2017 (B).



O teor de N fixado em  $\text{Kg ha}^{-1}$  sofreu influência significativa do aumento das doses de fertilizante nitrogenado em todos os híbridos e épocas cultivadas neste experimento (Figuras 5 e 6). Estes resultados comprovam que planta pretere a simbiose frente à disponibilidade de N no solo quando este é encontrado em quantidades suficientes. Em leguminosas, a adição de adubos nitrogenados tem efeito adverso na fixação biológica devido à diminuição de disponibilidade de oxigênio na respiração nodular (DENINSON; HARTER, 1995) e à limitação de carboidratos ao metabolismo do nódulo (STEFENS; NEYRA, 1983).

Lawn e Brun (1974), trabalhando com doses de nitrogênio (0, 224 e 448  $\text{kg ha}^{-1}$ ), verificaram diminuição da atividade biológica de fixação de nitrogênio conforme o aumento de doses, evidenciando, assim, o nódulo como forte dreno para a planta.

De maneira oposta, Koutroubas et al. (1998) encontraram supremacia em plantas inoculadas no acúmulo de fitomassa seca nos estágios R2 e R5 sobre as que receberam aplicação de N. De acordo com o trabalho, o nitrogênio fixado pela nitrogenase é incorporado mais rapidamente aos compostos orgânicos sendo mais facilmente disponível à planta, enquanto a fixação via nitrato redutase gasta maior energia para reduzir o nitrogênio a  $\text{NH}_3$ .

Estudos realizados por Stefens e Neyra (1983) mostraram que a adição de nitrogênio às plantas de soja na forma de  $\text{KNO}_3$  decresce a atividade da

nitrogenase em mais de 50%. Isso ocorre porque o nitrato e o nitrito acumulados a nível nodular inibem a fixação de nitrogênio devido à diminuição da disponibilidade de energia ao bacteróide. Entretanto, se a planta apresentar um suprimento de sacarose para os nódulos a atividade da nitrogenase é incrementada, dado o decréscimo no nível de nitrito acumulado nos mesmos.

Para o híbrido Caprice (Figura 5), na primeira época de 2016, para a dose de 22,4 kg ha<sup>-1</sup> o teor de N fixado foi de 84,57 Kg ha<sup>-1</sup>, chegando até 6 Kg ha<sup>-1</sup> na dose de 190,4 kg ha<sup>-1</sup>. Na segunda época de 2016 foram fixados 91 Kg ha<sup>-1</sup> de N na dose de 22,4 kg ha<sup>-1</sup> diminuindo até 11, 21 Kg ha<sup>-1</sup> na dose de 190,4 kg ha<sup>-1</sup>. No ano seguinte, foram fixados 61,82 Kg ha<sup>-1</sup> na dose de 22,4 kg ha<sup>-1</sup> na primeira época de semeadura. Além disso, o incremento das doses de N resultou em ausência de FBN na dose de 190,4 kg ha<sup>-1</sup>. Na segunda época de 2017 houve fixação de 65,64 Kg ha<sup>-1</sup> na dose de 22,4 kg ha<sup>-1</sup> diminuindo até 9,48 Kg ha<sup>-1</sup> na dose de 190,4 kg ha<sup>-1</sup>.

Para o híbrido DM 04-88 (Figura 6), na primeira época de 2016, na dose de 22,4 kg ha<sup>-1</sup> o teor de N fixado foi de 84,96 Kg ha<sup>-1</sup>, atingindo 47,81 Kg ha<sup>-1</sup> na dose de 190,4 kg ha<sup>-1</sup>. Na segunda época foram fixados 85,46 Kg ha<sup>-1</sup> de N na dose de 22,4 kg ha<sup>-1</sup> e, assim como para o primeiro híbrido, o incremento das doses de N resultou em ausência de FBN na dose de 190,4 kg ha<sup>-1</sup>. Na primeira época de 2017 foram fixados 73,08 Kg ha<sup>-1</sup> na dose de 22,4 kg ha<sup>-1</sup>. Igualmente, o aumento das doses do adubo anulou a FBN na dose de 190,4 kg ha<sup>-1</sup>. Na segunda época houve fixação de 66,15 Kg ha<sup>-1</sup> na dose de 22,4 kg ha<sup>-1</sup>, reduzindo a 0 Kg ha<sup>-1</sup> na dose de 190,4 kg ha<sup>-1</sup>.

Quando submetidas a ajustes de modelo exponencial de platô, todas as épocas tiveram resultado significativos para o híbrido Caprice, com pontos de platô de 147,29 Kg ha<sup>-1</sup> e 379,28 Kg ha<sup>-1</sup> para a primeira e segunda épocas de semeadura de 2016; e de 163,64 Kg ha<sup>-1</sup> e 399,5 Kg ha<sup>-1</sup> para a primeira e segunda épocas de 2017, respectivamente. Paralelamente, o híbrido DM 04-88 teve ajuste de platô de 163,64 Kg ha<sup>-1</sup> e 399,5 Kg ha<sup>-1</sup> para a primeira e segunda épocas de 2016; e de 173,67 Kg ha<sup>-1</sup> e 147,62 Kg ha<sup>-1</sup> para a primeira e segunda épocas de 2017, respectivamente.

Os melhores ajustes foram platô para a primeira época e linear na segunda época dos dois híbridos do ano de 2016. Em 2017 Caprice teve comportamento linear na primeira época e platô na segunda, já DM 04-88 apresentou comportamento com ponto de platô para as duas épocas de semeadura. No caso deste híbrido, as condições ambientais desfavoráveis no ano de 2017 e a perda de N

do fertilizante em doses maiores fizeram com que o ajuste de platô se fizesse presente, pois a planta continuou dependendo da FBN.

Como a primeira época de 2016 foi a mais propícia ao desenvolvimento das plantas, houve comportamento de platô pois mesmo com boa disponibilidade e N via fertilizante a planta ainda teve condições satisfatórias para manter a simbiose com os nódulos, não anulando totalmente a FBN. Já na segunda época de 2016 as condições, apesar de boas, não foram ótimas ao desenvolvimento das plantas, portanto, com a adição de fertilizante nitrogenado a planta pretere a FBN a ponto de cessa-la totalmente, poupando os recursos que seriam disponibilizados para os nódulos.

Já no ano de 2017, Caprice na primeira época teve o mesmo comportamento da segunda época de 2016. Este híbrido na segunda época de 2017 e DM 04-88 nas duas épocas, sofreram com os efeitos ambientais adversos. Assim, o comportamento de platô tornou-se evidente por as plantas manterem a fixação em decorrência da alta pluviosidade que prejudicou a absorção de N via fertilizante.

De acordo com Kamicker e Brill, (1986), alguns fatores são determinantes na nodulação ou fixação biológica do  $N_2$  por leguminosas, sendo a tensão da água, teor de  $O_2$  no nódulo, temperatura e pH do solo, salinidade, toxinas e predadores os principais, os quais podem atuar junto à vasta variedade de estirpes de rizóbio que se encontram no solo.

Também se observa o efeito da disponibilidade hídrica no transporte de sacarose e compostos nitrogenados. Segundo Walsh (1995), o sistema vascular desenvolve turgor positivo em resposta ao transporte de compostos nitrogenados via fluxo de massa. Isso supõe que a exportação requer água e esta é indispensável neste fluxo. A água, que traz sacarose via floema, é absorvida pelo nódulo seguindo o caminho de volta, carregando os solutos nitrogenados. Portanto, o balanço de água via transporte simplástico e apoplástico altera a pressão de turgor das células e provavelmente tem influência na permeabilidade da membrana do nódulo a gases, principalmente ao oxigênio.

Para que o processo de nodulação aconteça de forma efetiva é importante que a temperatura seja adequada à atividade da nitrogenase. Segundo Zhang et al. (1996), a temperatura de  $25^\circ\text{C}$  é considerada ideal, enquanto temperaturas em torno de  $15^\circ\text{C}$  causam diminuição da atividade ou até inibição em várias raças de bactérias fixadoras. A temperatura média dos experimentos em

questão foram de 20,26 °C na primeira época de 2016; 21,05 °C na segunda época de 2016; 19,85 °C na primeira época de 2017 e 19,45 °C na segunda época de 2017.

Algumas pesquisas mostram o efeito do oxigênio na nodulação de plantas, como a realizada por Kuzma et al. (1999). O trabalho mostrou que o oxigênio é fator importante na nodulação da soja, uma vez que a respiração e a atividade da enzima nitrogenase foram afetadas pela disponibilidade de O<sub>2</sub>. De acordo com o estudo, pequenas concentrações de nitrogênio no bacteróide são importantes, pois concentrações baixas (próximas a 10%) afetam a atividade da nitrogenase devido à diminuição da respiração e da disponibilidade de energia.

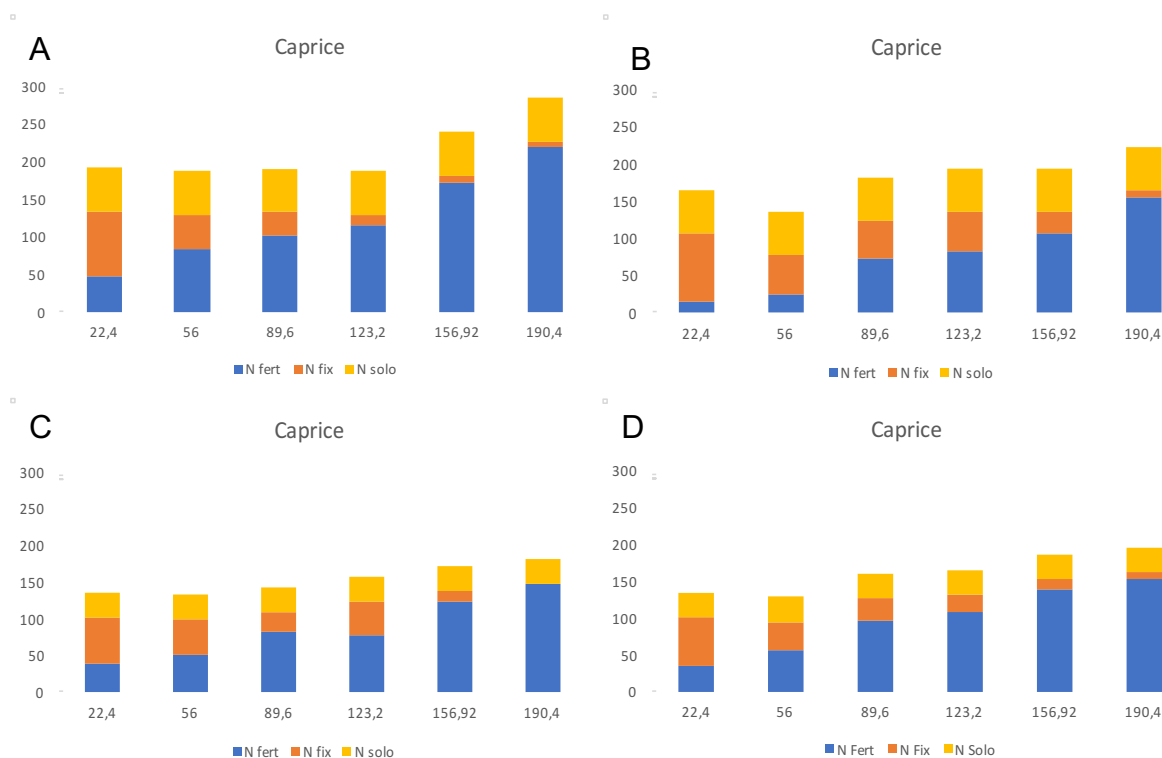
A permeabilidade gasosa no bacteróide é afetada por diversos fatores. Entre eles, a luz, água e nitrato, sendo que de modo geral, o teor de O<sub>2</sub> aumenta na luz e decresce em condições de seca ou exposição ao nitrato (MYLONA, et al., 1995; TAÍZ; ZIEGER, 2004).

Dito isso, foram analisadas as participações de cada fonte de N, proveniente da fertilização Nitrogenada (N Fert), do solo (N solo) e da FBN (N fix) no teor de N total da planta em Kg ha<sup>-1</sup>. As médias, quando submetidas à análise de regressão, obtiveram resultados significativos para os três parâmetros conforme o aumento das doses de N (Figura 7).

No híbrido Caprice (Figura 7), nas quatro épocas estudadas, houve diminuição da participação do solo e da FBN no teor de N total conforme o aumento das doses de N. Por sua vez, o teor de N proveniente do fertilizante teve sua participação aumentada conforme o incremento de doses.

Na primeira época de 2016 (Figura 7A) o teor de N total foi de 190,46 Kg ha<sup>-1</sup> na dose 22,4 kg ha<sup>-1</sup> (22,4 kg ha<sup>-1</sup>) até 283,23 Kg ha<sup>-1</sup> na dose 190,4 kg ha<sup>-1</sup> (190,4 Kg ha<sup>-1</sup>), atendendo à equação ( $y = 0,5896x + 156,9$ ;  $R^2 = 0,68479$ ). Para esta última as participações foram de 25% N ferti, 30,5% N solo e 44,5% N Fix na dose de 22,4 kg ha<sup>-1</sup>. Na dose de 190,4 kg ha<sup>-1</sup> as participações foram de 77,33% N ferti, 20,54% N solo e 2,12% N Fix.

**Figura 7** - Teor de N em Kg ha<sup>-1</sup> na planta, proveniente do fertilizante, da fixação biológica de nitrogênio e do solo no híbrido Caprice. A- Primeira época de semeadura 2016. B- Segunda época de semeadura 2016. C- Primeira época de semeadura 2017. D- Segunda época de semeadura 2017.



Na segunda época de 2016 (Figura 7B) o teor de N total foi de 164,93 Kg ha<sup>-1</sup> na dose 22,4 kg ha<sup>-1</sup> (22,4 kg ha<sup>-1</sup>) até 222,90 Kg ha<sup>-1</sup> na dose 190,4 kg ha<sup>-1</sup> (190,4 Kg ha<sup>-1</sup>), o que atendeu à equação ( $y = 0,4553x + 138,5$ ;  $R^2 = 0,72$ ) tendo as participações de 9,16% N ferti, 35,27% N solo e 55,56% N Fix na dose de 22,4 kg ha<sup>-1</sup>. Já na dose de 190,4 kg ha<sup>-1</sup> as participações foram de 69% N ferti, 26% N solo e 5% N Fix.

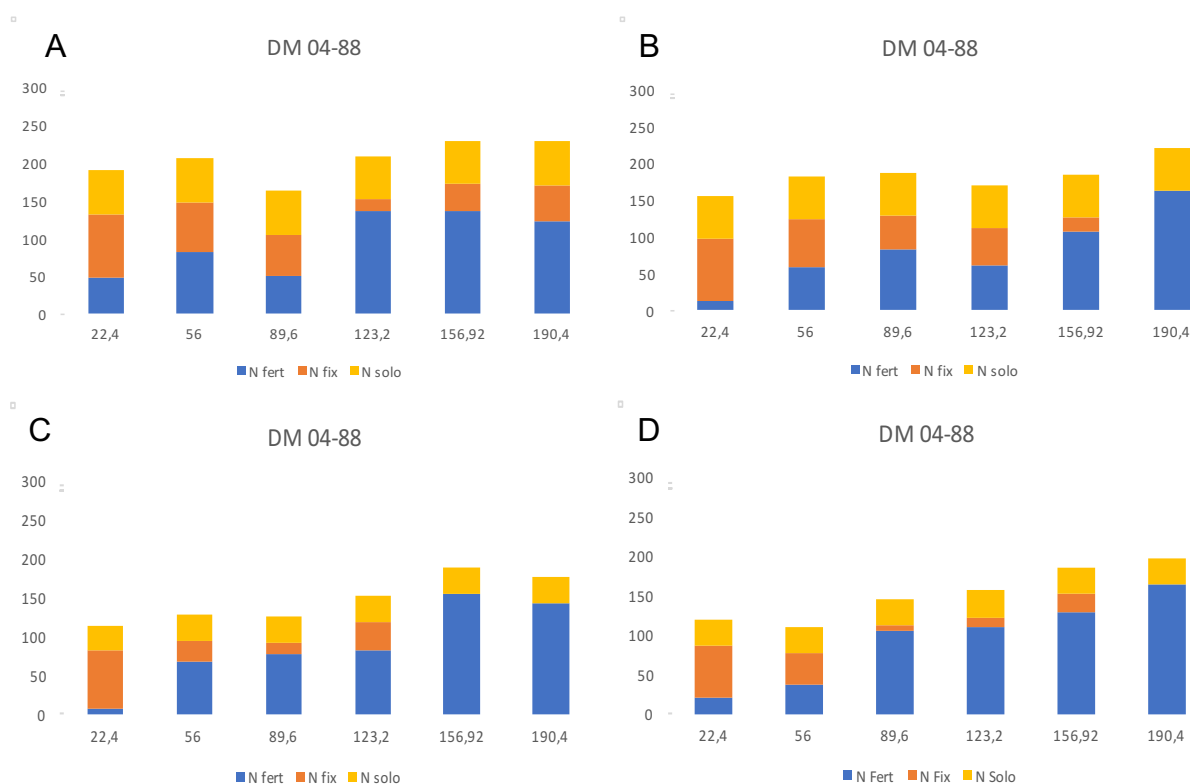
Na primeira época de 2017 (Figura 7C) o teor de N total foi de 133,75 Kg ha<sup>-1</sup> na dose 22,4 kg ha<sup>-1</sup> (22,4 kg ha<sup>-1</sup>) até 181,72 Kg ha<sup>-1</sup> na dose 190,4 kg ha<sup>-1</sup> (190,4 Kg ha<sup>-1</sup>), obedecendo à equação ( $y = 0,4666x + 116,85$ ;  $R^2 = 0,92$ ). As participações foram de 28,6% N ferti, 25,10% N solo e 46,3% N Fix na dose de 22,4 kg ha<sup>-1</sup>. Já na dose de 190,4 kg ha<sup>-1</sup> as participações foram de 81,5% N ferti, 18,5% N solo e 0% N Fix.

Na segunda época de 2017 (Figura 7D) o teor de N total foi de 133,62 Kg ha<sup>-1</sup> na dose 22,4 kg ha<sup>-1</sup> (22,4 kg ha<sup>-1</sup>) até 195,50 Kg ha<sup>-1</sup> na dose 190,4 kg ha<sup>-1</sup>

(190,4 Kg ha<sup>-1</sup>), o que obedeceu à equação ( $y = 0,3511x + 119,9$ ;  $R^2 = 0,94$ ). As participações foram de 25,7% N ferti, 25,1% N solo e 49,2% N Fix na dose de 22,4 kg ha<sup>-1</sup>. Já na dose de 190,4 kg ha<sup>-1</sup> as participações foram de 78% N ferti, 17% N solo e 5% N Fix.

Diante de todos os resultados pode-se observar que o aumento de doses interferiu negativamente na FBN e na absorção de N do solo, sendo que o N proveniente do fertilizante tem maior participação no teor de N final à medida em que as doses aumentam. O aumento das doses de fertilizante acarretou em seu desperdício dado que a planta não absorveu todo o N adicionado. No caso do solo deste estudo grande parte do excedente foi lixiviada para o lençol freático.

**Figura 8** - Teor de N em Kg ha<sup>-1</sup> na planta, proveniente do fertilizante, da fixação biológica de nitrogênio e do solo no híbrido DM 04-88. A- Primeira época de semeadura 2016. B- Segunda época de semeadura 2016. C- Primeira época de semeadura 2017. D- Segunda época de semeadura 2017.



No híbrido DM 04-88 (Figura 8), nas quatro épocas estudadas, também houve diminuição da participação do solo e da FBN no teor de N total conforme o aumento das doses de N. Já o teor de N proveniente do fertilizante teve sua participação aumentada conforme o incremento de doses, havendo diferença significativa para os três parâmetros quando submetidos a análise de regressão.

Na primeira época de 2016 (Figura 8A) o teor de N total foi de 190,77 Kg ha<sup>-1</sup> na dose de 22,4 kg ha<sup>-1</sup> (22,4 kg ha<sup>-1</sup>) até 227,74 Kg ha<sup>-1</sup> na dose de 190,4 kg ha<sup>-1</sup> (190,4 Kg ha<sup>-1</sup>), atendendo à equação ( $y = 0,2856x + 177,64$  R<sup>2</sup> = 0,42186), para a qual as participações foram de 25% N ferti, 30,5% N solo e 44,5% N Fix na dose de 22,4 kg ha<sup>-1</sup>. Na dose de 190,4 kg ha<sup>-1</sup> as participações foram de 53,45% N ferti, 25,55% N solo e 15,33% N Fix.

Na segunda época de 2016 (Figura 8B) o teor de N total foi de 156,23 Kg ha<sup>-1</sup> na dose de 22,4 kg ha<sup>-1</sup> (22,4 kg ha<sup>-1</sup>) até 221,63 Kg ha<sup>-1</sup> na dose de 190,4 kg ha<sup>-1</sup> (190,4 Kg ha<sup>-1</sup>), ajustando-se à equação ( $y = 0,3032x + 154,73$  R<sup>2</sup> = 0,60401). As participações foram de 8,0% N ferti, 37,3% N solo e 54,7% N Fix na dose de 22,4 kg ha<sup>-1</sup>. Já na dose de 190,4 kg ha<sup>-1</sup> as participações foram de 73,75% N ferti, 26,25% N solo e 0% N Fix.

Na primeira época de 2017 (Figura 8C) o teor de N total foi de 83,57 Kg ha<sup>-1</sup> na dose de 22,4 kg ha<sup>-1</sup> (22,4 kg ha<sup>-1</sup>) até 129,32 Kg ha<sup>-1</sup> na dose de 190,4 kg ha<sup>-1</sup> (190,4 Kg ha<sup>-1</sup>), o que obedeceu à equação ( $y = 0,4836x + 101,26$  R<sup>2</sup> = 0,8499). As participações foram de 6,85% N ferti, 29,35% N solo e 63,8% N Fix na dose de 22,4 kg ha<sup>-1</sup>. Já na dose de 190,4 kg ha<sup>-1</sup> as participações foram de 80,8% N ferti, 19,2% N solo e 0% N Fix.

Na segunda época de 2017 (Figura 8D) o teor de N total foi de 119,85 Kg ha<sup>-1</sup> na dose de 22,4 kg ha<sup>-1</sup> (22,4 kg ha<sup>-1</sup>) até 197,12 Kg ha<sup>-1</sup> na dose de 190,4 kg ha<sup>-1</sup> (190,4 Kg ha<sup>-1</sup>), atendendo à equação ( $y = 0,591x + 96,122$  R<sup>2</sup> = 0,92415). As participações foram de 25,7% N ferti, 25,1% N solo e 49,2% N Fix na dose de 22,4 kg ha<sup>-1</sup>. Já na dose de 190,4 kg ha<sup>-1</sup> as participações foram de 82,95% N ferti, 17,05% N solo e 0% N Fix.

A inoculação está correlacionada a diversos fatores, entre eles o teor de matéria orgânica do solo e o nitrogênio (BENIZRI et al., 2001). STRALIOTTO et al. (2003) afirmam que em solos com maiores teores de matéria orgânica, que liberam N lentamente, podem beneficiar a planta do feijoeiro sem reduzir a sua capacidade de fixação.

Bassan et al. (2001) e Soares et al. (2006) verificaram que os tratamentos de inoculação apresentaram maior teor de matéria seca em relação aos tratamentos sem inoculação e sem o N mineral. Entretanto, Pelegrin et al. (2009) e Farinelli et al. (2006) não encontraram diferenças na matéria seca total.

O excesso de N mineral no solo reduz a nodulação em plantas devido à falta de estímulo relacionado à deficiência desse nutriente. A inoculação foi eficaz na formação de nódulos, sendo que 20 kg ha<sup>-1</sup> de N-ureia na semeadura favoreceram o crescimento radicular, provavelmente aumentando os pontos de infecção nas raízes (MOREIRA, 2006).

A inibição da nodulação por altos níveis de N é bem relatada na literatura (MOSTASSO et al., 2001; SOARES et al., 2006; FERREIRA et al., 2009).

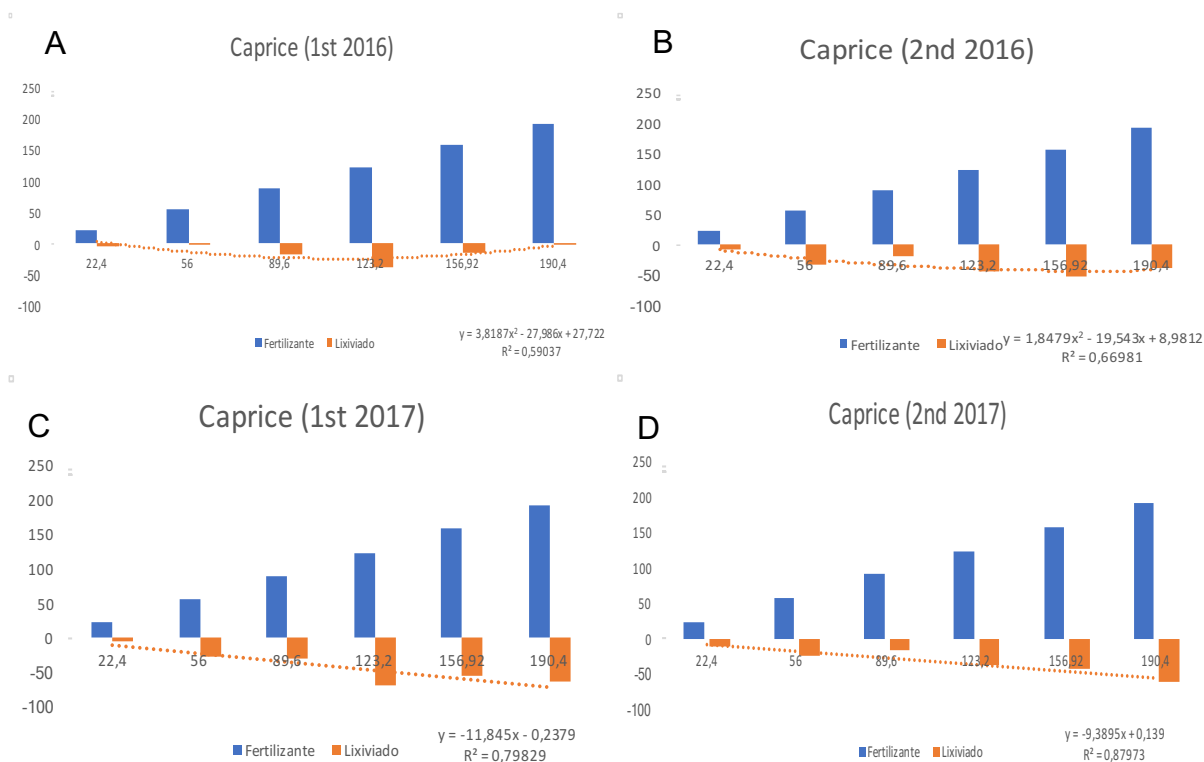
Brito et al. (2011) encontraram efeito benéfico na aplicação de N em pequenas doses na semeadura do feijoeiro, observando valores mais altos (para o teor de N nas plantas a uma taxa de 15 mg kg<sup>-1</sup> de solo). Segundo Franco e Döbereiner (1968) e Tsai et al. (1993), pequenas taxas de aplicação de N no início do crescimento radicular aumentaram os locais de infecção e, portanto, promoveram uma maior formação de nódulos.

Quando calculado o teor de N do fertilizante aplicado que não foi utilizado pela cultura, conseqüentemente lixiviado para o lençol freático, obtiveram-se os resultados apresentados nas Figuras 9 e 10.

Para o híbrido Caprice (Figura 9) na primeira época de 2016 o N lixiviado teve comportamento quadrático partido de 3,47 Kg ha<sup>-1</sup> na dose de 22,4 kg ha<sup>-1</sup>, chegando até 36,59 Kg ha<sup>-1</sup> na dose de 123,2 kg ha<sup>-1</sup> e 0,13 Kg ha<sup>-1</sup> na dose de 190,4 kg ha<sup>-1</sup>. O mesmo perfil foi obtido para a segunda época de 2016, partido de 7,28 Kg ha<sup>-1</sup> na dose de 22,4 kg ha<sup>-1</sup>, chegando até 51,87 Kg ha<sup>-1</sup> na dose de 156,9 kg ha<sup>-1</sup> e 36,89 Kg ha<sup>-1</sup> na dose de 190,4 kg ha<sup>-1</sup>.

Este comportamento deve-se às condições ambientais de 2016 terem sido mais propícias para o desenvolvimento do feijão vagem e também para o desenvolvimento dos nódulos de rizóbio e, conseqüentemente, para a FBN. Com isso, até a dose de 123,2 kg ha<sup>-1</sup> as plantas foram bem nutridas em N pela FBN, tornando o N do fertilizante não absorvido passível de ser lixiviado no perfil do solo. O aumento da dose de fertilizante a partir de 123,2 kg ha<sup>-1</sup> começou a inibir o desenvolvimento do nódulo, e, conseqüentemente, a FBN Dessa forma, o N proveniente do fertilizante passou a ser mais aproveitado, diminuindo a quantidade lixiviada.

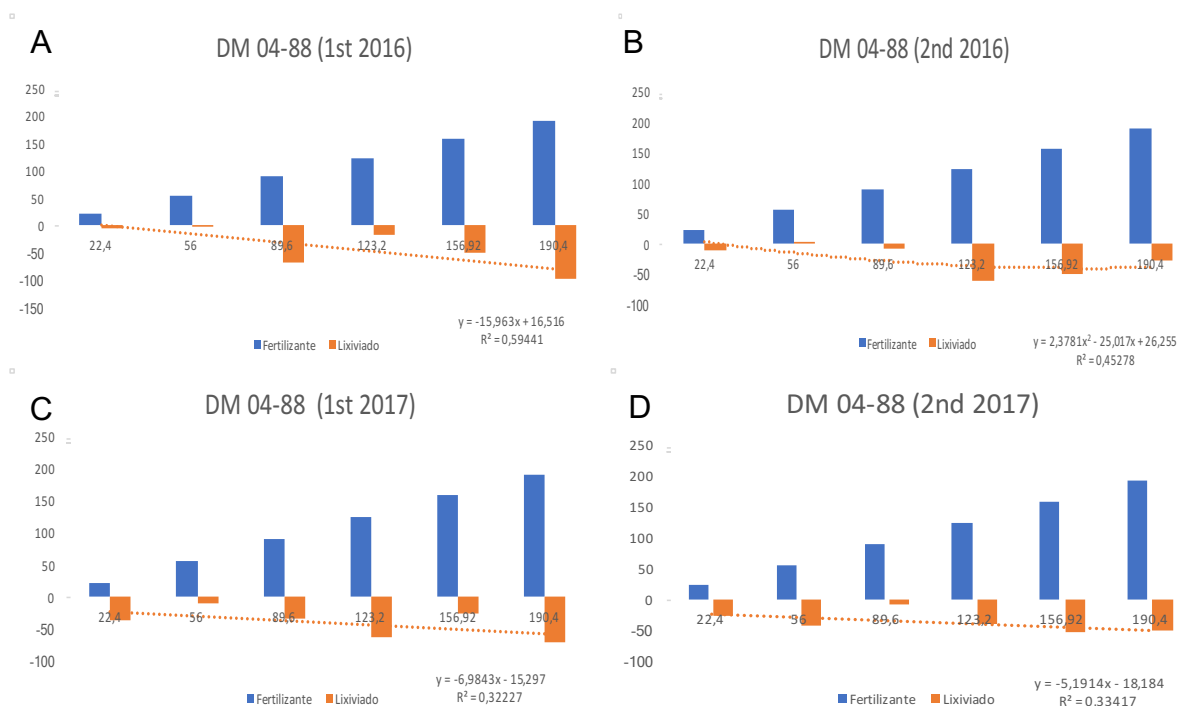
**Figura 9** - Teor de N em  $\text{kg ha}^{-1}$ , aplicado e lixiviado do sistema de produção no híbrido Caprice. A- Primeira época de semeadura 2016. B- Segunda época de semeadura 2016. C- Primeira época de semeadura 2017. D- Segunda época de semeadura 2017.



Nas duas épocas de 2017 o comportamento foi linear, com o teor lixiviado aumentando à medida em que mais fertilizante nitrogenado foi adicionado aos tratamentos. Tendo em vista que as condições ambientais não foram ideais como em 2016, a planta não apresentou seu máximo de nodulação e FBN. As doses de N provenientes do fertilizante foram superiores ao absorvido pela planta, resultando em N livre no perfil do solo, conseqüentemente perdido por lixiviação.

O teor de N lixiviado na primeira época de 2017 partiu de 5,57  $\text{Kg ha}^{-1}$  na dose de 22,4  $\text{kg ha}^{-1}$  até 63,77  $\text{Kg ha}^{-1}$  na dose de 190,4  $\text{kg ha}^{-1}$ . Na segunda época do mesmo ano foi de 12,02  $\text{Kg ha}^{-1}$  na dose de 22,4  $\text{kg ha}^{-1}$  até 61,97  $\text{Kg ha}^{-1}$  na dose de 190,4  $\text{kg ha}^{-1}$  (Figura 9).

**Figura 10** - Teor de N em  $\text{kg ha}^{-1}$ , aplicado e lixiviado do sistema de produção no híbrido DM 04-88. A- Primeira época de semeadura 2016. B- Segunda época de semeadura 2016. C- Primeira época de semeadura 2017. D- Segunda época de semeadura 2017.



Quando analisado o híbrido DM 04-88 na primeira época de 2016 o N lixiviado teve comportamento linear, partido de  $3,56 \text{ Kg ha}^{-1}$  na dose de  $22,4 \text{ kg ha}^{-1}$ , chegando até  $72,85 \text{ Kg ha}^{-1}$  na dose de  $190,4 \text{ kg ha}^{-1}$ . Para a segunda época de 2016 o comportamento mostrou-se quadrático, saindo de  $9,81 \text{ Kg ha}^{-1}$  na dose de  $22,4 \text{ kg ha}^{-1}$ , atingindo até  $61,00 \text{ Kg ha}^{-1}$  na dose de  $123,2 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $26,95 \text{ Kg ha}^{-1}$  na dose de  $190,4 \text{ kg ha}^{-1}$ . O teor de N lixiviado na primeira época de 2017 partiu de  $36,05 \text{ Kg ha}^{-1}$  na dose de  $22,4 \text{ kg ha}^{-1}$  até  $70,26 \text{ Kg ha}^{-1}$  na dose de  $190,4 \text{ kg ha}^{-1}$ . Na segunda época do mesmo ano foi de  $26,28 \text{ Kg ha}^{-1}$  na dose de  $22,4 \text{ kg ha}^{-1}$  até  $50,88 \text{ Kg ha}^{-1}$  na dose de  $190,4 \text{ kg ha}^{-1}$  (Figura 10).

Nos dois híbridos, a melhor época para a FBN foi a segunda de 2016, onde encontraram-se as maiores porcentagens de N provenientes da fixação.

No híbrido DM 04-88 a primeira época de 2016 foi a segunda mais propícia para a FBN. O comportamento linear obtido mostrou-se diferente do híbrido Caprice ao dar maior preferência ao fertilizante em detrimento à FBN quando as

condições não são excelentes para a nodulação. Devido a este desempenho, a primeira época de 2016 e as duas de 2017 tiveram comportamento linear, para os quais à medida em que se aumentou a oferta de fertilizante nitrogenado, a FBN foi reduzida. A planta, porém, não conseguiu assimilar todo o N aplicado, sendo o restante foi lixiviado.

A região de Central Sands em Wisconsin é incapaz de suportar agricultura intensa sem adição de água e fertilizantes. O solo muito arenoso e dependente deste tipo de manejo acarreta no problema de lixiviação de N para o lençol freático, o tornando a sugestão de alternativas de manejo uma tarefa difícil. Saffigna e Keeney, (1977) mostraram que batatas utilizaram de 170 a 250 Kg N ha<sup>-1</sup> até 90 dias após a emergência. As plantas acumularam entre 3 e 4 Kg N ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>, de 20 a 70 dias após a emergência. Saffigna et al., 1977 mostraram que as práticas de fertilização e irrigação recomendadas eram as melhores opções disponíveis, porém os agricultores fertilizavam e irrigavam muito mais que o recomendado. O mesmo autor encontrou perdas por lixiviação que excederam 120 Kg N ha<sup>-1</sup> e teor médio de nitrato nas águas de 15 mg L<sup>-1</sup>.

Stites e Kraft (1997; 2000a, b), monitoraram os 3 metros superiores da água subterrânea sob quatro campos cultivados com milho doce e batata, encontrando concentrações de nitrato de cerca de 20 mg L<sup>-1</sup>, mesmo quando as aplicações de fertilizantes nitrogenados foram feitas de acordo com as recomendações da Universidade de Wisconsin. Estudos semelhantes realizados por Curwen et al. (1991) relataram concentrações médias de nitrato entre 40 e 50 mg L<sup>-1</sup>, mesmo com a adoção das doses de N recomendadas pela Universidade.

Priorizando a qualidade de uma bacia de água subterrânea, o conhecimento da quantidade de N lixiviado é mais importante do que a concentração de N. As taxas de lixiviação permitem a previsão da qualidade da água subterrânea em escala de bacia e, talvez, o desenho de melhores práticas agrícolas para atender às metas de água subterrânea. O teor lixiviado medido por Stites e Kraft (1997) foi em média de 154 Kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> ao longo de um período de quatro anos. Os mesmos autores também descobriram que as taxas de lixiviado calculadas a partir de uma abordagem de orçamento N se adequavam bem às taxas medidas.

A média do máximo teor de N lixiviado das quatro épocas dos dois híbridos foi de 58,5 Kg N ha<sup>-1</sup>, o que resultou em 29,24 mg L<sup>-1</sup> não utilizados pelas plantas, lixiviados para o lençol freático. Sabendo que o Serviço de Saúde Pública dos

EUA estabelece o limite para nitrogênio na água em  $10 \text{ mg L}^{-1}$ , os teores encontrados nos experimentos citados são além do permitido, assim como a quantidade lixiviada pelo estudo em questão (U.S. PUBLIC HEALTH SERVICE, 1962).

#### 4.6 CONCLUSÕES

O aumento das doses de N incrementou a produtividade e os teores de N no tecido vegetal. Em contraponto, inibiu a FBN e também resultou em excesso de fertilizante não utilizado, lixiviado para o lençol freático.

## 4.7 REFERÊNCIAS

ANDRADE MJB, ALVARENGA PE, SILVA R, CARVALHO JG, JUNQUEIRA ADA. Resposta do feijoeiro às adubações nitrogenada e molíbdica e à inoculação com *Rhizobium tropici*. **Cienc Agrotec**. 2001;25:934-40.

BASSAN DAZ, ARF O, BUZETTI S, CARVALHO MAC, SANTOS NCBE, SÁ ME. Seed inoculation, nitrogen and molybdenum application on a winter bean crop: production and physiological seed quality. **Rev Bras Sementes**. 2001;23:76-83.

BENIZRI, E.; BAUDOIN, E.; GUCKERT, A. Root colonization by inoculated plant growth promoting rhizobacteria. **Biocontrol Science and Technology**, v.11, p.557-574, 2001.

BRITO MMP, MURAOKA T, SILVA E. Contribution of nitrogen from biological nitrogen fixation, nitrogen fertilizer and soil nitrogen on the growth of the common bean and cowpea. **Bragantia**. 2011;70:206-15. doi:10.1590/S0006-87052011000100027

CURWEN, D., G. KRAFT, T. OSBORNE, AND B. SHAW. 1991. **Demonstration of low input strategies for potato/vegetable production on irrigated sands**. Final report for Wisconsin Department of Agriculture, Trade, and Consumer Protection Agricultural Demonstration Project #8810.

DEBOUCK, D. G. Systematics and morphology. In: SCHOONHOVEN, A.; VOYSEST, O. **Common beans: research for crop improvement**. Cáli: CIAT, 1991. p. 55-118.

DENINSON, R. F.; HARTE, B. L. Nitrate effects on nodule oxygen permeability and leghemoglobin. Nodule oximetry and computer modeling. **Plant Physiology**, Rockville, v. 107, p. 1355-1364, 1995.

FARINELLI R, LEMOS LB, PENARIO, FG, EGÉA MM, GASPAROTO MG. Nitrogen topdressing in common bean in no tillage and conventional tillage system. **Pesq Agropec Bras**. 2006;41:307-12. doi:10.1590/S0100-204X2006000200016

FERREIRA PAA, SILVA MAP, CASSETARI A, RU NI M, MOREIRA FMS, ANDRADE MJB. Inoculation with rhizobium strains in beans crop. **Cienc Rural**. 2009;39:2210-2. doi:10.1590/S0103-84782009000700041

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2003.

FRANCO AA, DÖBEREINER J. Interference of calcium and nitrogen in symbiotic nitrogen fixation of two bean varieties (*Phaseolus vulgaris* L.). **Pesq Agropec Bras**. 1968;3:223-7.

HAESBAERT, F. M.; SANTOS, D.; LÚCIO, A. D. C.; BENZ, V.; ANTONELLO, B. I.; RIBEIRO, A. L. P. Tamanho de amostra para experimentos com feijão-de-vagem em 19 diferentes ambientes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 1, p. 38-44, jan. 2011.

IMSANDE, J.; SCHMIDT, J.M. Effect of N source during soybean pod filling on nitrogen and sulfur assimilation and remobilization. **Plant and Soil**, v.202, p.41- 47, 1998.

KAMICKER, B.J.; BRILL, W.J. Identification of *Bradyrhizobium japonicum* nodule isolates from Wisconsin soybean farms. **Applied and Environmental Microbiology**, v.51, n.3, p.487-492, 1986.

KANEKO, F. H.; ARG, O.; GITTI, D.C.; ARF, M.V.; FERREIRA, J.P.; BUZETTI, S. Mecanismos de abertura de sulcos, inoculação e adubação nitrogenada em feijoeiro em sistema plantio direto. **Bragantia**, v.69, n.1, p.125-133, 2010.

KOUTROUBAS, S.D.; et al. The importance of early dry matter and nitrogen accumulation in soybean yield. **European Journal of Agronomy**, v.9, p.1-10, 1998.

KUZMA MM, WINTER H, STORER P, ORESNIK I, ATKINS CA AND LAYZELL DB (1999) The site of Oxygen Limitation in Soybean Nodules. **Plant Physiol** 119:399-407.

LABOSKI, C.A.M.; PETERS, J.B. **Nutrient application guidelines for field, vegetable, and fruit crops in Wisconsin**. 2012. 94p. Disponível em <http://learningstore.uwex.edu/assets/pdfs/A2809.pdf>.

LAWN, R.J., AND W.A. BRUN. 1974. Symbiotic nitrogen fixation in soybeans. I. Effect of photosynthetic source-sink manipulations. **Crop Science**, 14:11-16.

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

MOREIRA FMS. Nitrogen-fixing Leguminosae-nodulating bacteria. In: Moreira, FMS, Siqueira JO, Brussaard L, editors. **Soil biodiversity in Amazonian and other Brazilian ecosystems**. 3rd ed. Wallingford: CAB International; 2006. p.237-70.

MOSTASSO L, MOSTASSO FL, DIAS BG, VARGAS MAT, HUNGRIA M. Selection of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) rhizobial strains for the Brazilian Cerrados. **Field Crops Res**. 2001;73:121-32. doi:10.1016/S0378-4290(01)00186-1

MUÑOZ, G.; GIRALDO, G.; SOTO, J. F. **Descritores varietales**: arroz, frijol, maíz, sorgo. Colômbia: CIAT, 1993.

MYLONA, P . et al. Symbiotic Nitrogen Fixation. **The Plant Cell**, v.7, p.869-885, July 1995.

OLIVEIRA, I.P.; ARAUJO, R.S.; DUTRA, L.G. Nutrição mineral e fixação biológica de nitrogênio. In: ARAUJO, R. S., RAVA, C.A., STONE, L.F., & ZIMMERMANN, M.D.O. (eds.). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba, SP: Potafós, 1996. p.169-221.

OLIVIERA, D.P. **Adubação nitrogenada, estirpes de rizóbio e tratamento fungicida na inoculação de sementes de feijoeiro-comum**. Lavras: UFLA 2013. 150p. (Tese de Doutorado em Agronomia/Fitotecnia), 2013.

- PELEGRIN, R.; MERCANTE, F.M.; OTSUBO, I. M.N.; OTSUBO, A.A. Resposta da cultura do feijoeiro à adubação nitrogenada e à inoculação com rizóbio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.219-226, 2009.
- PORTES, T.A. Ecofisiologia. In: ARAUJO, R.S., RAVA, C.A., STONE, L.F., & ZIMMERMANN, M.D.O. (eds.). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba, SP: Potafós, 1996. p.169-221.
- SAFFIGNA, P.G. AND D.R. KEENEY. Nitrogen and chloride uptake by irrigated Russet Burbank potatoes. **Agron, J.** v. 69, March-April issue. 1977.
- SAFFIGNA, P.G., D.R. KEENEY AND C.B. TANNER. Nitrogen, chloride and water balance with irrigated Russet Burbank potatoes in a sandy soil, **Agron. J.** v.69, March-April issue. 1977.
- SCHABENBERGER, O.; PIERCE, F.J. **Contemporary statistical models for the plant and soil sciences**. 2.ed. Boca Raton: CRC, 2002. 738p.
- SILBERNAGEL, M. J. Snap bean breeding. In: BASSETT, M.J. (Ed.). **Breeding vegetable crops**. Westport: The AVI, 1996. p. 243-282.
- SILVA, E.F.; MARCHETTI, M.E.; SOUZA, L.C.F.; MERCANTE, F.M.; RODRIGUES, E.T.; VITORINO, A.C.T. Inoculação do feijoeiro com *Rhizobium tropici* associada à exsudatos de *Mimosa flocculosa* com diferentes doses de nitrogênio. **Bragantia**, v.68, n.2, p.443-451, 2009.
- SOARES ALL, PEREIRA JPAR, FERREIRA PAA, VALE HMM, LIMA AS, ANDRADE MJB, MOREIRA FMS. Agronomic e ciency of selected rhizobia strains and diversity of native nodulating populations in Perdões (MG – Brazil). II – Beans. **Rev Bras Cienc Solo**. 2006;30:803-11. doi:10.1590/S0100-06832006000500006
- SOARES, B.L. **Avaliação técnico-econômica do feijoeiro-comum inoculado com rizóbio em diferentes ambientes**. 2011. 150 p. Tese de doutorado (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.
- SOIL SURVEY STAFF, 1990, **Keys to soil taxonomy**, 4th edition: Soil Management Support Services Technical Monograph 19: Blacksburg. Virginia, Virginia Polytechnic Institute and State University.
- SOUZA, E.F.C.; SORATTO, R.P.; PAGANI, F.A. Aplicação de nitrogênio e inoculação com rizóbio em feijoeiro-comum cultivado após milho consorciado com braquiária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.4, p.370-377, 2011.
- STEPHENS, B. D.; NEYRA, C. A. Nitrate and nitrite reduction in relation to nitrogenase activity in soybean nodules and *Rhizobium japonicum* bacteroids. **Plant Physiology**, Rockville, v. 71, p. 731-735, 1983.
- STITES, W. AND G.J. KRAFT. **Agrichemical loading to groundwater under irrigated vegetables in the central sand plain**. Central Wisconsin Groundwater Center. University of Wisconsin - Stevens Point. 1997.
- STITES, W. AND G.J. KRAFT. 2000. Nitrate and chloride loading to groundwater beneath irrigated vegetable fields in a north-central US sand plain. **J. Env. Qual**.

STRALIOTTO, R. **Protocolo operacional para o preparo da turfa para inoculante rizobiano**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2000. 4p.

TAÍZ, L.; ZIEGER, E. **Fisiologia vegetal**. Trad. SANTARÉM, E.R. et al., 3° ed., Porto Alegre: Artemed, 2004, p.719.

THIES, J.E.; et al. Phenology, growth, and yield of field-grown soybean and bush bean as a function of varying modes of N nutrition soil. **Biologic Biochemical**, v.27, n.415, p 575-583, 1995.

TSAI SM, BONETTI R, AGBALA SM, ROSSETO R. Minimizing the effect of mineral nitrogen on biological nitrogen fixation in common bean by increasing nutrient levels. **Plant Soil**. 1993;152:131-8. doi:10.1007/BF00016342

U.S. Public Health Service, **Water nitrate taxes**.  
<https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/006/usphs.956.1962.pdf>, 1962

VIEIRA, C. Perspectiva da cultura do feijão e de outras leguminosas de grãos no país e no mundo. In: ZIMMERMANN, M. J. O.; ROCHA, M.; YAMADA, T. **Cultura do feijoeiro**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Associação Brasileira da Potassa e do Fosfato, 1988. p. 2–19.

VIEIRA, C.; BORÉM, A.; RAMALHO, M. A. P. Melhoramento do feijão. In: BORÉM, A. **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: UFV, 1999. p. 273-349.

WALSH, K.B. Physiology of the legume nodule and its response to stress. **Soil Biologic Biochemical**, v.27, n.4/5, p.637- 655, 1995.

ZHANG, F. et al. Plant growth promoting rhizobacteria and soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] nodulation and nitrogen fixation at sub optimal root zone temperatures. **Annals of Botany**, v.77, p.453 - 459, 1996.

ZIMMERMANN, M. J. O.; TEIXEIRA, M. G. Origem e evolução. In: ZIMMERMANN, M. J. O.; ROCHA, M.; YAMADA, T. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Associação Brasileira da Potassa e do Fosfato. 1996. p. 57-68.

## **ARTIGO C: DENSIDADE E DISTRIBUIÇÃO ESTOMÁTICA EM FOLHAS E FRUTOS DE FEIJÃO VAGEM SUBMETIDO A DIFERENTES DOSES DE NITROGENIO.**

### 5.1 RESUMO

Dentre as estruturas que permitiram a adaptação do Feijão vagem a diversas regiões do globo estão os estômatos, que são responsáveis por grande parte das trocas gasosas que ocorrem nos vegetais, tendo também papel fundamental na transpiração e absorção de nutrientes. A morfologia estomática, incluindo tamanho, frequência e distribuição variam entre as diferentes cultivares de um mesmo ambiente e também nas mesmas cultivares em ambientes diferentes. Diante da escassez de estudos que caracterizem os estômatos na folha e principalmente no fruto do feijoeiro o objetivo do trabalho foi estabelecer as características anatômicas, bem como determinar a densidade, o tamanho e a distribuição dos estômatos presentes nas folhas e frutos em quatro híbridos de feijão vagem, submetido a doses de nitrogênio, através do método de réplica, onde uma impressão da superfície foliar é retirada com acetato de celulose e fita adesiva transparente em uma área de aproximadamente 1,0 cm<sup>2</sup>. As variáveis analisadas como parâmetros foram: densidade estomática em estômatos por mm<sup>-2</sup>, diâmetro e comprimento. Quantificados, os dados foram submetidos à análise de variância, onde os híbridos e épocas foram comparados pelo teste Tukey (p (≤0,05) e a influência das doses de N por regressão polinomial até segundo grau. O aumento das doses de N influenciou de maneira quadrática o número de estômatos na face abaxial e nas vagens. Também houve diferença entre as épocas de semeadura e híbridos. Não houve influência na face adaxial das folhas.

**Palavras-chaves:** Adaptação ambiental; Morfologia vegetal; Ureia; época de semeadura; Morfologia estomática.

## DENSITY AND STOMATIC DISTRIBUTION IN LEAVES AND BEANS FRUITS SUBMITTED TO DIFFERENT DOSES OF NITROGEN.

### 5.2 ABSTRACT

Among the structures that allowed the adaptation of the bean pod to several regions of the globe are stomata, which are responsible for much of the gas exchange that occurs in vegetables, also having a fundamental role in transpiration and absorption of nutrients. The stomatal morphology, including size, frequency and distribution, vary between different cultivars in the same environment and also in the same cultivars in different environments. In view of the scarcity of studies that characterize stomata in the leaf and mainly in the bean fruit the objective of the study was to establish the anatomical characteristics, as well as to determine the density, size and distribution of the stomata present in leaves and fruits in four bean hybrids under nitrogen, by the replica method, where a printing of the foliar surface is withdrawn with cellulose acetate and clear adhesive tape in an area of approximately 1.0 cm<sup>2</sup>. The variables analyzed as parameters were: stomatal density in stomata per mm<sup>-2</sup>, diameter and length. Data were submitted to analysis of variance, where hybrids and epochs were compared by the Tukey test ( $p \leq 0.05$ ) and the influence of N doses by polynomial regression up to second degree. the number of stomata in the abaxial face and in the pods was also quadratic, and there was no difference between sowing times and hybrids.

**Keywords:** Environmental adaptation; Plant morphology; Urea; sowing season; Stomatal morphology.

### 5.3 INTRODUÇÃO

O feijão vagem tem origem nas Américas, do norte do México ao norte da Argentina, em altitudes entre 500 e 2.000 m, distribuído desde o paralelo 52° N até 32° S, não sendo encontrado naturalmente no Brasil (DEBOUCK, 1999).

Produzir em condições diferentes do seu ambiente evolutivo requer adaptações das plantas. Dentre as estruturas que merecem atenção quanto a sua adaptação a diversos ambientes e também quanto as suas características para possibilitar sobrevivência em situações adversas estão os estômatos. São estruturas encontradas nas partes aéreas das plantas terrestres, principalmente nas folhas, e responsáveis por grande parte das trocas gasosas que ocorrem nos vegetais.

De maneira geral, ao absorverem CO<sub>2</sub>, as plantas inevitavelmente perdem água através dos estômatos, os quais exercem um papel fundamental na regulação simultânea do fluxo transpiratório para a atmosfera e o fluxo de CO<sub>2</sub> para o interior da folha, afetando, conseqüentemente, a taxa fotossintética, a eficiência do uso da água, o estado hídrico da planta e a absorção de nutrientes sendo, portanto, componentes chave para sobrevivência das plantas terrestres (BERGER; ALTMANN, 2000; NADEAU; SACK, 2002).

A morfologia e distribuição estomáticas variam entre as diferentes cultivares de um mesmo ambiente e também nas mesmas cultivares em ambientes diferentes, mostrando assim que as plantas possuem a capacidade de ajustar estas características em resposta às pressões ambientais (OLIVEIRA et al., 2014; OLIVEIRA; MIGLIORANZA, 2014; PEARCE et al., 2006).

Estudos anatômicos têm mostrado uma grande variação na sua estrutura, principalmente em resposta às variações da incidência luminosa, ao conteúdo de nutrientes no solo e aos efeitos da sazonalidade (JUSTO et al., 2005; MARQUES et al., 2000), sendo que estas mudanças na estrutura foliar podem afetar a economia hídrica e a fixação de carbono. Portanto, a densidade estomática e as dimensões dos estômatos são de extrema importância para a adaptação de espécies em regiões semiáridas a ambientes sazonais, onde há uma estação seca claramente definida, ou a locais com condições climáticas distintas das quais a planta está adaptada evolutivamente (PEARCE et al., 2006).

No caso do feijoeiro, a folha é anfiestomática, ou seja, os estômatos estão presentes nas duas faces. Roth (1977) relata a presença de estômatos em frutos como comum.

Estudos que considerem a distribuição espacial dos estômatos, sua densidade, distribuição estomática na folha e principalmente no fruto e sua relação com a fertilização nitrogenada ainda são insipientes, não existindo na literatura qualquer informação sobre presença de estômatos nos frutos do feijoeiro.

Analisando os atributos das estruturas estomáticas pode-se inferir sobre o comportamento das plantas sob as variações ambientais, sendo os atributos frequentemente analisados acerca de respostas estruturais dos estômatos à densidade estomática (POOLE et al., 1996).

Baseando-se na hipótese de que atributos estomáticos respondem de maneira diferencial às condições nutricionais, o objetivo do presente trabalho foi estabelecer as características anatômicas, bem como determinar a densidade, o tamanho e a distribuição dos estômatos presentes nas folhas e frutos em quatro híbridos de feijão vagem submetidos a doses de nitrogênio em cobertura.

#### 5.4 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada na Estação Experimental Agrícola Hancock no ano de 2017. O clima do local é classificado segundo Koppen como Dfb: temperado frio sem estação seca e com verão temperado.

O solo é classificado como Entisol segundo Soil Survey Staff (1975) e foi analisado antes da instalação dos experimentos, tendo determinados os valores de pH, MO, P, K, S, Ca, Mg e micronutrientes nos dois anos. Os resultados obtidos estão apresentados na tabela 1.

**Tabela 1:** Análise química de solo antes da instalação dos experimentos nos anos de 2016 e 2017.

ANO	pH	P mg dm <sup>-3</sup>	MO%	K	Ca cmolc dm <sup>-3</sup>	Mg	B	Mn mg dm <sup>-3</sup>	Zn mg dm <sup>-3</sup>	S
2016	5,60	100,50	0,70	0,31	1,04	0,61	0,10	17,50	0,73	2,60
2017	5,85	94,00	0,80	0,29	0,95	0,32	0,20	13,00	1,45	0,75

Também foram determinadas as temperaturas máximas e mínimas diárias, precipitação e volume de irrigação durante a condução dos experimentos (Figura 1).

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, em parcelas subdivididas com quatro repetições em campo. O estudo foi replicado duas vezes por estação de crescimento, comparando duas épocas de semeadura diferentes, 31 de maio e 19 de Junho de 2017, para avaliar o efeito da época de semeadura bem como para obter dados de mais de uma safra.

Foram utilizadas variedades de feijão-vagem publicamente disponíveis (não propriedade de empresas específicas, embora sejam variedades utilizadas por todos os agricultores de Wisconsin) Huntington e Pismo (não-nodulíferas).

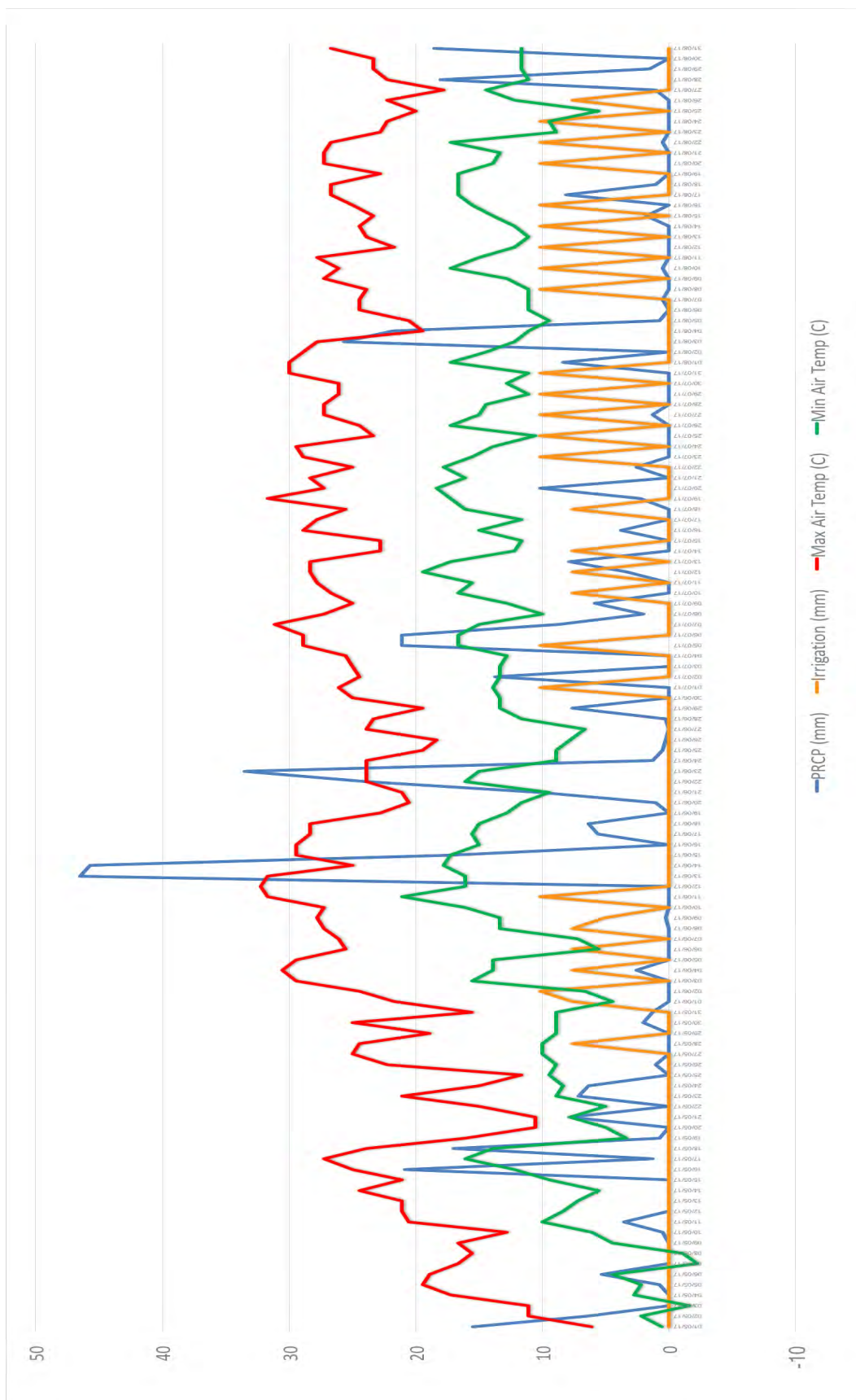
As sub-parcelas foram as doses de N de 20, 50, 80, 110, 140 e 170 lb-N ac<sup>-1</sup> (22,42; 56,04; 89,67; 123,29; 156,9 e 190,54 Kg-N ha<sup>-1</sup>), sendo 1 lb = 0,45kg e 1 ac = 4046,86 m<sup>2</sup>. A fertilização na semeadura é uma prática comum (com uma dose de 20 lb-N ac<sup>-1</sup>) ou (22,4 Kg ha<sup>-1</sup>), portanto não houve uma dose zero verdadeira de N no estudo. Assim, o experimento foi uma avaliação das doses de N de cobertura com a dose de 20 lb-N ac<sup>-1</sup> na semeadura para todos os tratamentos.

As doses de N foram aplicadas da seguinte forma: 20 lb-N ac<sup>-1</sup> juntamente com a semeadura e o N restante aplicado 50% no 3º trifólio (estádio de crescimento V3) e 50% de 7 a 10 dias após a primeira aplicação.

Cada parcela foi formada por quatro linhas com 20 pés (609,6 cm) de comprimento, um pé (30,48 cm) de espaçamento entre linhas, com feijões-vagem semeados a uma densidade de 130.000 sementes ac<sup>-1</sup> (321.237 sementes ha<sup>-1</sup>).

Sete dias antes da colheita, 10 plantas tiveram seus estômatos identificados e quantificados através do método de réplica de North (1956) por meio da coleta de folhas do último trifólio expandido e de três vagens totalmente formadas logo abaixo deste trifólio. Desse modo, impressões da superfície da folha e do fruto foram obtidas com acetato de celulose e auxílio de uma fita adesiva transparente em uma área de aproximadamente 1,0 cm<sup>2</sup>. Seções da película de acetato formada foram removidas e preparadas em lâminas para serem avaliadas ao microscópio.

**Figura 1** - Dados de temperatura máxima e mínima, pluviosidade e irrigação diários da safra de 2017.



Para as observações utilizou-se um microscópio ótico com ocular e objetiva de 40x, o que proporcionou um aumento de 600x e campo real visível de 0,39 mm<sup>2</sup>. As imagens utilizadas para análise foram capturadas por meio de um sistema de captura (Carl Zeiss, Germany) composto de microscópio AxioPhot I, equipado com câmera AxioCam ICc3 e software Bel View.

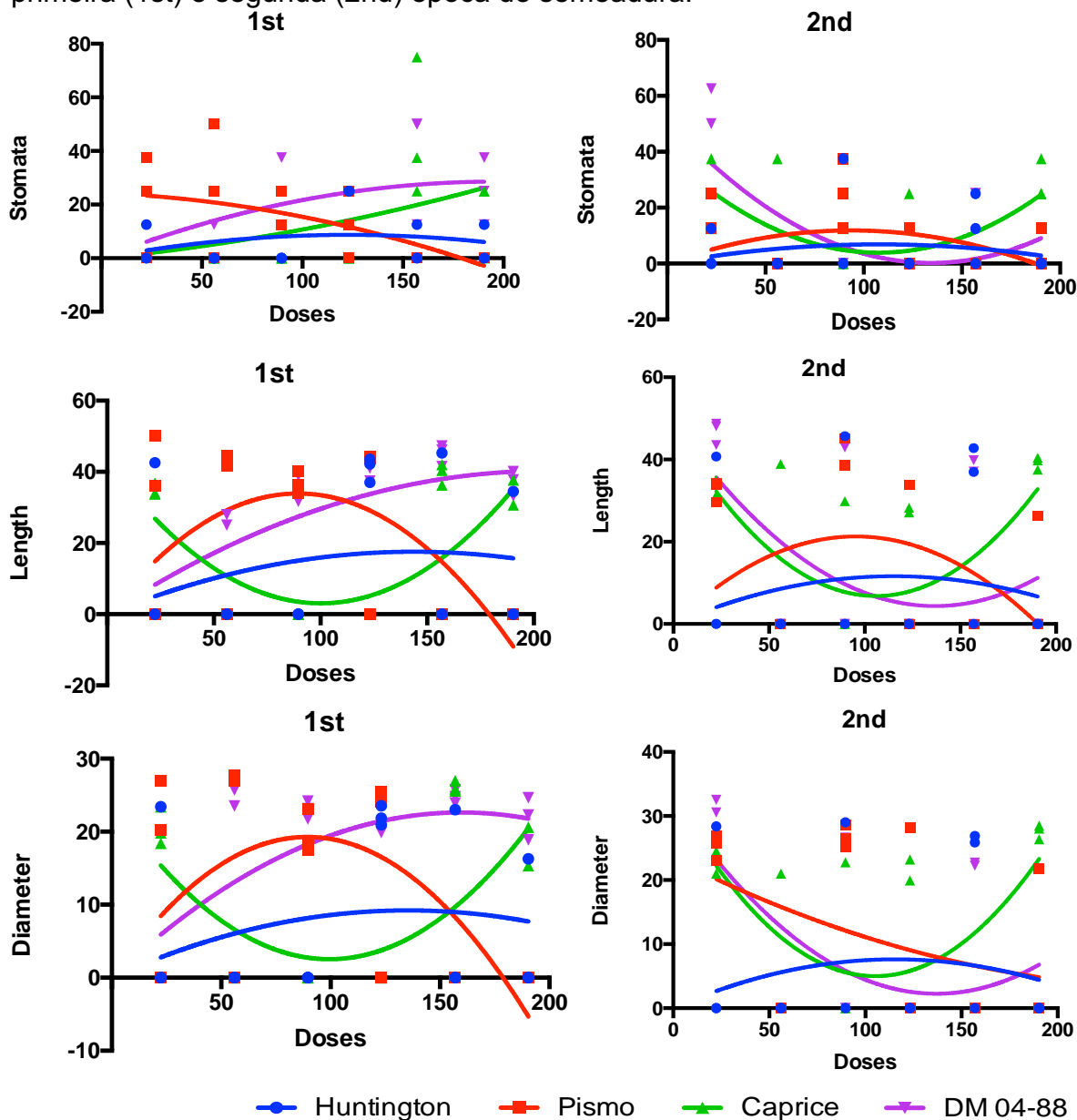
O processamento e análise das imagens foram realizados através do software de domínio público ImageJ 1.43a, versão 64, com a medição de cinco campos por repetição para cada folha analisada. Foram avaliados os parâmetros diâmetro polar (comprimento) dos estômatos (DP) e diâmetro equatorial (diâmetro) dos estômatos (DQ) e o número de estômatos, segundo técnica de Labouriau (LABOURIAU; OLIVEIRA; SALGADO-LABOURIAU, 1961).

Os dados foram submetidos a análise de regressão para verificar o efeito das doses de N e os híbridos e épocas comparados pelo teste Tukey, ambos a 5% de probabilidade.

## 5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo análise de regressão, na primeira época de semeadura o número de estômatos na face adaxial da folha foi significativo apenas para o híbrido Pismo. Por sua vez, os híbridos Caprice e DM 04-88 obtiveram resultados significativos para a segunda época. Em ambas as épocas o número de estômatos diminuiu conforme o aumento de N para os materiais citados. Analisadas as épocas de cultivo e o híbridos, não houve diferença significativa.

**Figura 2** - Numero de estômatos por mm<sup>2</sup> (Stomata), comprimento (Length) e diâmetro de estômatos (Diameter) na parte adaxial das folhas dos quatro híbridos na primeira (1st) e segunda (2nd) época de semeadura.



Stomata 1st	Aa	Aa	Aa	Aa
Stomata 2nd	Aa	Aa	Aa	Aa
Length 1st	Aa	Aa	Aa	Aa
Length 2nd	Aa	Aa	Aa	Aa
Diameter 1st	Aa	Aa	Aa	Aa
Diameter 2nd	Aa	Aa	Aa	Aa

-Letras Maiúsculas em colunas diferem as duas épocas de semeadura.  
 -Letras Minúsculas em linhas diferem os híbridos.

Em relação ao comprimento dos estômatos, para a primeira época de semeadura apenas o híbrido Caprice apresentou variação significativa em função das doses de N, diminuindo conforme o incremento de fertilizante. Na segunda época, assim como para o número de estômatos na face adaxial, os híbridos Caprice e Dm 04-88 novamente mostraram variação significativa. Também não houve diferença significativa quando comparadas as épocas de cultivo e os híbridos.

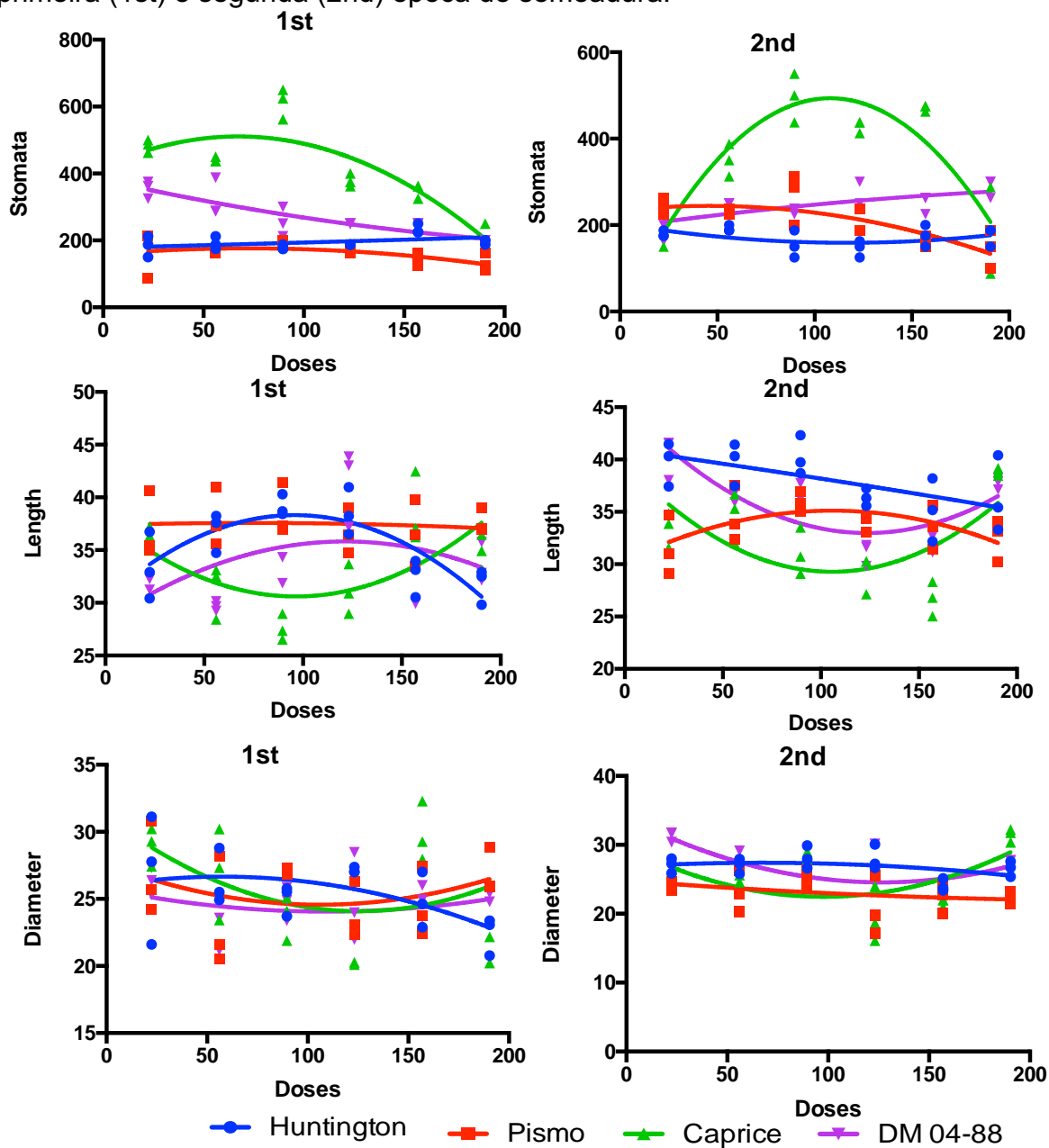
Finalmente, o diâmetro dos estômatos da face adaxial das folhas foi significativo, conforme o aumento de doses, apenas para o híbrido Caprice na primeira época de semeadura e para os híbridos Pismo, Caprice e DM 04-88 na segunda época. Todos os materiais exibiram comportamento quadrático, com aumento até a dose de 100 Kg N ha<sup>-1</sup> e depois diminuição conforme o incremento de doses na primeira época e linear decrescente na segunda época. Não houve diferença significativa quando comparadas as épocas de cultivo e os híbridos.

As folhas de feijão são anfiestomáticas e têm cerca de sete vezes mais estômatos na superfície abaxial do que na superfície adaxial (MEYER, 1960). O presente trabalho encontrou uma diferença de 15 vezes mais estômatos na face abaxial do que na adaxial.

O número de estômatos na face abaxial das folhas para a primeira época de cultivo variou significativamente conforme o aumento de doses de N e também de acordo com os híbridos cultivados. O híbrido com maior número de estômatos foi o Caprice, o qual exibiu comportamento quadrático conforme o incremento de N, aumentando até a dose de 70 Kg ha<sup>-1</sup> e diminuindo em seguida. O híbrido Dm 04-88 foi o segundo em maior número de estômatos, diminuindo a quantidade conforme o aumento das doses de N. Em terceiro lugar o híbrido Huntington teve aumento linear. Por último, Pismo teve comportamento quadrático, aumentando até a dose de 75 Kg ha<sup>-1</sup> e diminuindo a partir desta dose.

Na segunda época, o híbrido Caprice apresentou o maior número de estômatos na face abaxial das folhas, porém sem apresentar diferença significativa pela análise de regressão. Em seguida, vieram os híbridos Huntington e DM 04-88, que não apresentaram diferença entre si. Ambos obtiveram diferença significativa conforme o aumento das doses de N exibindo comportamento linear decrescente. Finalmente, Pismo também teve diferença conforme o aumento de doses com comportamento linear decrescente. Quando comparadas as épocas de cultivo houve diferença em todos os híbridos, sendo a primeira época superior a segunda.

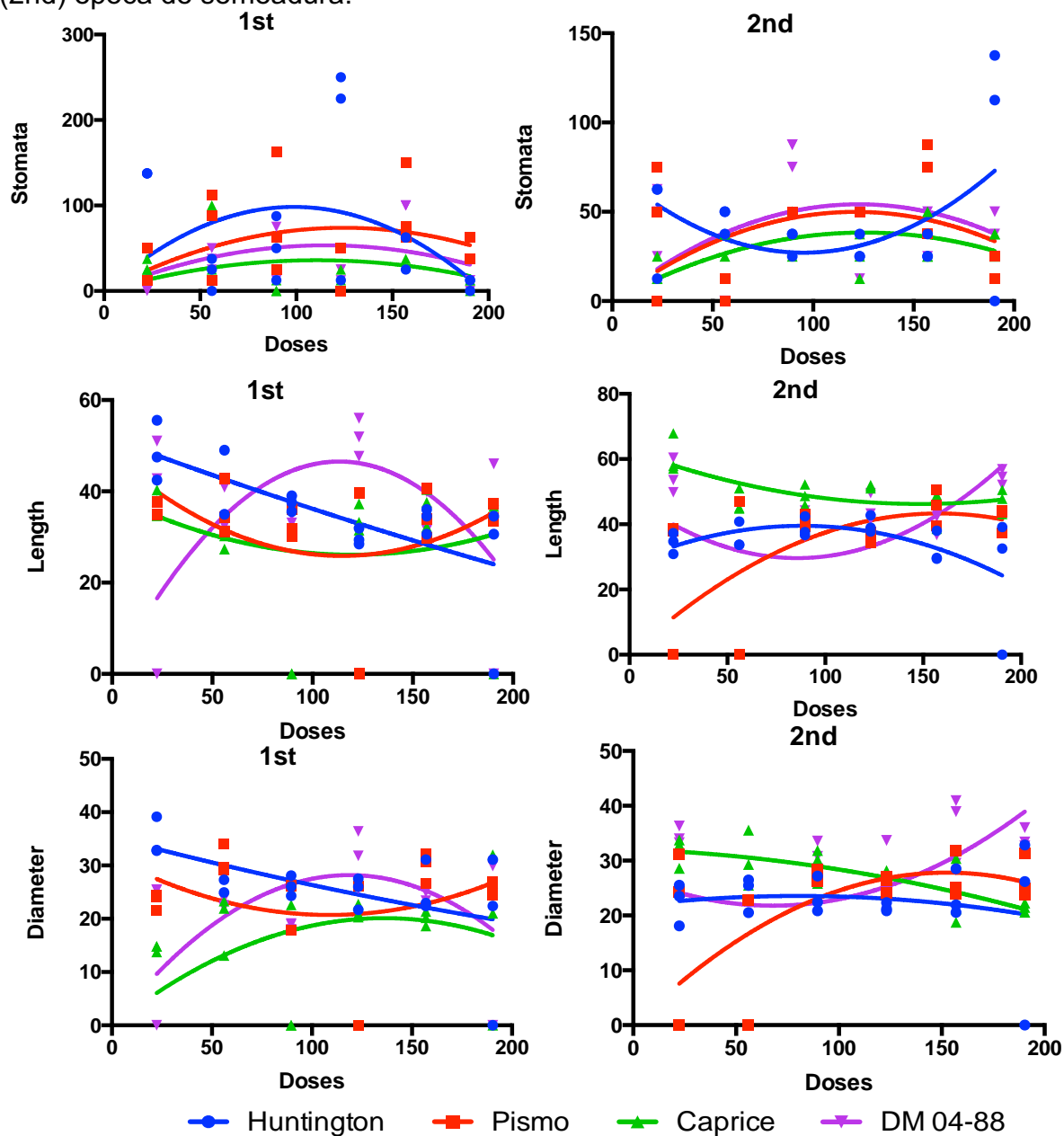
**Figura 3** - Numero de estômatos por mm<sup>2</sup> (Stomata), comprimento (Length) e diâmetro de estômatos (Diameter) na parte abaxial das folhas dos quatro híbridos na primeira (1st) e segunda (2nd) época de semeadura.



Stomata 1st	Aa	Ab	Ac	Ad
Stomata 2nd	Ba	Ba	Bb	Bb
Length 1st	Aa	Aa	Aa	Aa
Length 2nd	Ba	Bb	Bc	Ad
Diameter 1st	Aa	Aa	Aa	Aa
Diameter 2nd	Aa	Bb	Ac	Ad

-Letras Maiúsculas em colunas diferem as duas épocas de semeadura. -Letras Minúsculas em linhas diferem os híbridos.

**Figura 4** - Numero de estômatos por mm<sup>2</sup> (Stomata), comprimento (Length) e diâmetro de estômatos (Diameter) nas vagens dos quatro híbridos na primeira (1st) e segunda (2nd) época de semeadura.



Stomata 1st	Aa	Aa	Aa	Aa
Stomata 2nd	Aa	Aa	Aa	Aa
Length 1st	Aa	Ab	Ac	Ad
Length 2nd	Aa	Ab	Ac	Ad
Diameter 1st	Aa	Aa	Aa	Aa
Diameter 2nd	Aa	Aa	Aa	Aa

-Letras Maiúsculas em colunas diferem as duas épocas de semeadura.  
 -Letras Minúsculas em linhas diferem os híbridos.

O comprimento de estômatos da face abaxial das folhas, para o primeiro cultivo, foi influenciado muito significativamente pelo aumento das doses de N, pela análise de regressão. Pismo apresentou o maior número de estômatos, com aumento linear em função do incremento de N, seguido por Huntington com comportamento quadrático, aumentando até a dose de 75 Kg ha<sup>-1</sup> e diminuindo a partir desta dose. DM 04-88 obteve o terceiro maior comprimento de estômatos na face abaxial, com comportamento quadrático aumentando até a dose de 120 Kg ha<sup>-1</sup> e diminuindo a partir desta. Caprice teve o menor comprimento de estômatos, o qual decresceu conforme o aumento das doses de N (Figura 3).

Para o segundo cultivo, o comprimento de estômatos da face abaxial variou de maneira altamente significativa conforme o aumento das doses de N para todos os híbridos. Os híbridos diferiram estatisticamente entre si, com Huntington com maior número e comportamento linear decrescente, seguido por DM 04-88 (quadrático), Pismo com comportamento quadrático, aumentando até a dose de 150 Kg ha<sup>-1</sup> e diminuindo a partir desta dose. Caprice obteve os menores valores para a variável entre os híbridos, com o comprimento de estômatos da face abaxial diminuindo conforme o incremento das doses. Apenas o híbrido DM 04-88 não exibiu diferença estatística significativa entre as épocas de cultivo.

Em relação às vagens, na primeira época de cultivo o número de estômatos não variou significativamente com o aumento das doses de N tampouco entre os híbridos. Na segunda época, o aumento de doses do fertilizante proporcionou diferença significativa para a variável apenas para o híbrido Huntington. Mais uma vez, o número de estômatos nas vagens não demonstrou diferença significativa nem entre os híbridos utilizados nem entre as épocas de semeadura.

A variável comprimento dos estômatos nas vagens, no primeiro cultivo, apresentou diferença significativa de acordo com o aumento das doses de N para os híbridos Huntington, superior aos demais, seguido dos materiais Pismo e Caprice. Em contrapartida, o comprimento de estômatos nas vagens diminuiu conforme o aumento das doses de N para todos os tratamentos.

No segundo cultivo apenas o híbrido Pismo não apresentou diferença significativa conforme o incremento de N. Caprice foi estatisticamente superior aos demais híbridos, seguido por Huntington, DM 04-88 e finalmente Pismo.

Por sua vez, para a primeira época, o diâmetro dos estômatos em relação ao aumento de N foi significativo para os híbridos Huntington e Pismo, os

quais não diferiram entre si. Na segunda época, o aumento das doses de N, à exceção do híbrido Pismo, demonstrou influenciar significativamente os materiais, que não exibiram diferença estatística entre si. A relação entre diâmetro de estômatos e épocas de semeadura não exibiu diferença estatística significativa.

De modo geral o aumento de doses de N influenciou o número, comprimento e diâmetro de estômatos de maneira linear decrescente e quadrática, aumentando as respostas das três variáveis até a dose de 75 kg ha<sup>-1</sup>, diminuindo desde então. Este resultado se deve ao aumento de tamanho das folhas conforme o incremento das doses de N, o que acarretou em uma diminuição do número de estômatos por área.

A frequência estomática está relacionada com a posição, idade, epiderme e região da folha amostrada e varia com os diferentes materiais genéticos utilizados (MAYA; KOHASHI-SHIBATA, 1976). Além disso, é influenciada pelas condições ambientais em que as plantas se desenvolvem, dentre as quais a luz se destaca.

Estes resultados mostram a diferença em relação ao aumento de doses de N para híbridos nodulíferos e não nodulíferos. Os primeiros, que realizam fixação biológica de nitrogênio (FBN), tiveram o maior número de estômatos, no entanto sofreram efeito negativo da adição das doses de N a partir de certa dose. Os últimos, que não realizam FBN, tiveram efeitos favoráveis para as variáveis analisadas conforme o incremento de N aplicado em cobertura.

Variações do comportamento estomático, em relação ao seu tamanho, podem variar em plantas em função do ambiente (MELO et al., 2004), da constituição genética da espécie (ALVES et al., 2001; CAMARGO; MARENCO, 2011) e frequentemente em plantas submetidas a diferentes estresses (CASTRO et al., 2005).

Os estômatos são estruturas especializadas, envolvidas na transpiração e fotossíntese, muito sensíveis a estímulos ambientais e edáficos (MAYA; KOHASHI-SHIBATA, 1976). Segundo estes autores, a sua frequência, tamanho e disposição, tanto nas epidermes adaxial e abaxial como ao longo da lâmina foliar, são características importantes em relação à velocidade da transpiração.

Segundo Khan et al. (2003) alterações na forma dos estômatos afetam diretamente a funcionalidade dos mesmos, sendo que a forma mais elíptica é

característica de estômatos funcionais, enquanto que a forma mais esférica é, frequentemente, associada a estômatos com baixa funcionalidade.

Castro (2009) afirma que há uma maior funcionalidade estomática com o aumento do diâmetro polar (comprimento) dos estômatos, principalmente quando associado com uma redução no diâmetro equatorial, o que reduz a transpiração.

Assim como o obtido por Costa (1986), a área foliar aumentou com o incremento na dose de N, proporcionando menor densidade de estômatos e maior resistência estomática. Yoshida (1979) encontrou uma correlação positiva entre a frequência estomática e a fotossíntese líquida, mostrando que plantas com maiores frequências de estômatos apresentavam maior fotossíntese líquida.

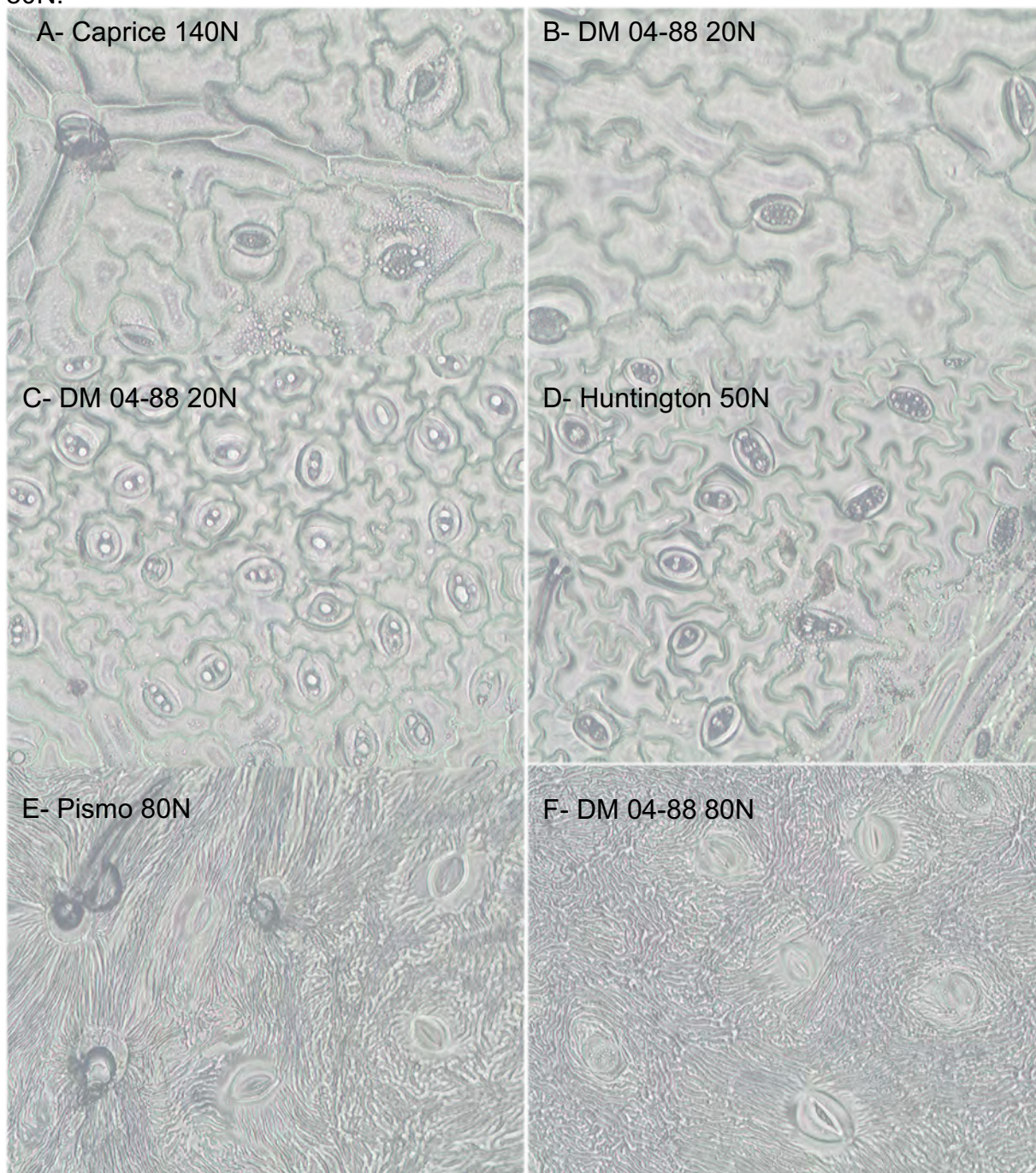
Em contrapartida, para a cultura do feijoeiro a deficiência de N provoca mudanças na resistência difusiva do CO<sub>2</sub>, o que ocorre em virtude de um aumento na resistência do mesófilo e na resistência estomática (RYLE; HESKETH., 1969), com redução nas taxas fotossintéticas (ANDREEVA et al., 1971, 1972),

## 5.6 CONCLUSÕES

O aumento das doses de N não influenciou a quantidade e tamanho de estômatos na face adaxial das folhas. Na face abaxial houve influência dos tratamentos de maneira quadrática, aumentando até a dose de 75 Kg ha<sup>-1</sup> e diminuindo a partir desta dose. Houve diferença entre os híbridos e as épocas de semeadura.

Foram encontrados estômatos nas vagens, que sofreram influencia quadrática do aumento das doses de N.

**Figura 5** - Imagens dos estômatos realizados durante o experimento. A-Caprice 140N. B- DM 04-88 20N. C- DM 04-88 20N. D- Huntington 50N. E- Pismo 80N. F- DM 04-88 80N.



## 5.7 REFERENCIAS

- ALVES, E.S.; GIUSTI, P.M.; DOMINGOS, M. 2001. Anatomic studies on *Tradescantia* hybrid clone 4430 leaves: changes caused by urban air pollution. **Revista Brasileira de Botânica** 24: 561-566.
- ANDREEVA, T.F.; THYOK, N.J.; VLASOVA, M.P.; NIIIPOROVICH, A.A. Effect of nutrition on photosynthetic activity in leaves of different tiers and productivity of bean plants. **Sov. Plant Physiol.**, 19:213-20, 1972.
- BERGER, D.; ALTMANN, T. A. Subtilisin-like serine protease involved in the regulation of stomatal density and distribution in *Arabidopsis thaliana*. **Genes & Development**, New York, v. 14, n. 9, p. 1119-1131, May 2000.
- CAMARGO, M.A.B.; MARENCO, R.A. Density, size and distribution of stomata in 35 rainforest tree species in Central Amazonia. **Acta Amazonica** 41: 205-212. 2011.
- CASTRO, E. M.; PEREIRA, F. J.; PAIVA, R. **Histologia vegetal: estrutura e função dos órgãos vegetativos**. Lavras: UFLA, 2009.
- CASTRO, E.M.; PEREIRA, F.J.; PAIVA, R. **Histologia vegetal: estrutura e função de órgãos vegetativos**. Lavras: UFLA, 2009. 234p.
- CASTRO, E.M.; PINTO, J.E.B.P.; MELO, H.C.; SOARES, A.M.; ALVARENGA, A.A.; LIMA, E.C. Aspectos anatômicos e fisiológicos de plantas de guaco submetidas a diferentes fotoperíodos. **Horticultura Brasileira** 23: 846-850. 2005.
- COSTA, R.C.L. da. **Efeito de níveis de água e de doses de nitrogênio sobre o crescimento, morfologia, partição de assimilados e troca de CO<sub>2</sub> em *Phaseolus vulgaris* L.** Viçosa, UFV, 1986. 90p. Tese Mestrado.
- DEBOUCK, D. G. Diversity in *Phaseolus* species in relation to the common bean. In: SINGH, S. P. **Common bean improvement in the twenty-first century**. Dordrecht: Kluwer, 1999. p. 25-52.
- JUSTO, C. F.; SOARES, A. M.; GAVILANES, M. L.; CASTRO, E. M. Leaf anatomical plasticity of *Xylopia brasiliensis* Sprengle (Annonaceae). **Acta Botanica Brasiliensis**, Porto Alegre, v. 19, p. 111-123, 2005.
- KHAN, S.V. et al. Growth and water relations of *Paulownia fortunei* under photomixotrophic and photoautotrophic conditions. **Biologia Plantarum**, Copenhagen, v.46, n.2, p.161-166, 2003.
- LABOURIAU, L. G.; OLIVEIRA J. G.; SALGADO-LABOURIAU, M. L. Transpiração de *Schizolobium parahyba* (Vell.) Toledo I. Comportamento na estação chuvosa, nas condições de Caeté, Minas Gerais, Brasil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 35, p. 237- 257, 1961.
- MARQUES, A. R.; GARCIA, Q. S.; PASSOS REZENDE, J. L.; FERNANDES, G. W. Variations in leaf characteristics of two species of *Miconia* in the Brazilian cerrado under different light intensities. **Tropical Ecology**, Varanasi, v. 41, p. 47-56, 2000.

MAYA, C.A. & ICOHASHI-SHIBATA, J.B. Distribución de estomas en la primera haja de plántulas de cuatro ruas dc maíz. **Agrociencia**, 24:3-22, 1976.

MELO, H.C.; CASTRO, E.M.; FERRER, J.L.R.; ALVES, J.D.; FRIES, D.D.; MELO, L.A.; MAGALHÃES, P.C. 2004. Influência da aplicação de cálcio e alagamento do solo sobre características anatômicas das folhas de milho (*Zea mays* L.) "Saracura" BRS-4154. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo** 3: 333-342.

MEYER, B. S., D. B. ANDERSON, AND R. H. B6HN- ING. 1960. **Introduction to Plant Physiology**. Nostrand Company, Princeton, New Jersey. 541 p.

NADEAU, J. A.; SACK, F. D. Control of stomatal distribution on the Arabidopsis leaf surface. **Science**, Columbus, v. 296, n. 5573, p. 1697-1700, June 2002.

OLIVEIRA, E. C.; MIGLIORANZA, E. Densidade e distribuição estomática em mandioca *Manihot esculenta* Crantz cultivar IAC 576-70. **Scientia Agropecuaria**, Trujillo, v. 5, p. 135-140, 2014.

OLIVEIRA, E. C.; MIGLIORANZA, E.; ANDRADE, F. A.; GONÇALVES, L. S. A. Abaxial and adaxial stomatal density, stomatal characteristics between genotypes of beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, Fort Collins, v. 57, p. 283-284, 2014.

PEARCE, D. W.; MILLARD, S.; BRAY, D. F.; ROOD, S.B. Stomatal characteristics of riparian poplar species in a semi-arid environment. **Tree Physiology**, Oxford, v. 26, p. 211-218, 2006.

POOLE, I.; WEYERS, J. D. B.; LAWSON, T.; RAVEN, J. A. Variations in stomatal density and index: implications for paleoclimatic reconstructions. **Plant, Cell and Environment**, Amsterdam, v. 19, n. 6, p. 705-712, June 1996.

ROTH, I. Fruits of angiosperms. In: LINSBAUER, K. **Encyclopedia of plant anatomy**. Berlim: Gebrüder Borntraeger, v. 10, n. 1, p. 49-57, 1977.

RYLE, G.J.A. & HESKETH, J.D. carbon dioxide uptake in nitrogen-deficient plants. **crop Sci.**, 9:451-4, 1969.

SOIL SURVEY STAFF, **Keys to soil taxonomy**, 4th edition: Soil Management Support Services Technical Monograph 19: Blacksburg. Virginia, Virginia Polytechnic Institute and State University, 1990.

YOSHIDA, T. Relationship between stomatal frequency and photosynthesis in barley. **Jap. Agric. Rei. Q.**, 13(2):101-5. 1979.