

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**PRODUTIVIDADE, QUALIDADE E EFICIÊNCIA DE USO DO  
NITROGÊNIO DE CULTIVARES DE FEIJOEIRO COMUM**

**Fábio Tiraboschi Leal**

Engenheiro Agrônomo

**2019**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**PRODUTIVIDADE, QUALIDADE E EFICIÊNCIA DE USO DO  
NITROGÊNIO DE CULTIVARES DE FEIJOEIRO COMUM**

**Fábio Tiraboschi Leal**

**Orientador: Prof. Dr. Leandro Borges Lemos**

**Coorientador: Prof. Dr. Fábio Luiz Checchio Mingotte**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Produção Vegetal)

**2019**

L435p Leal, Fábio Tiraboschi  
Produtividade, qualidade e eficiência de uso do nitrogênio de cultivares de feijoeiro comum / Fábio Tiraboschi Leal. -- Jaboticabal, 2019  
51 p. : il., tabs.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal  
Orientador: Leandro Borges Lemos  
Coorientador: Fábio Luiz Checchio Mingotte

1. Adubos e fertilizantes. 2. Agricultura sustentável. 3. Feijão. 4. Melhoramento genético. 5. Tecnologia de alimentos. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

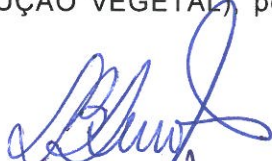
TÍTULO DA TESE: PRODUTIVIDADE, QUALIDADE E EFICIÊNCIA DE USO DO NITROGÊNIO DE CULTIVARES DE FEIJOEIRO COMUM

**AUTOR: FÁBIO TIRABOSCHI LEAL**

**ORIENTADOR: LEANDRO BORGES LEMOS**

**COORIENTADOR: FÁBIO LUIZ CECCHIO MINGOTTE**

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL) pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. LEANDRO BORGES LEMOS  
Departamento de Produção Vegetal (Fitotecnia) / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Pesquisador Dr. ALISSON FERNANDO CHIORATO  
Centro de Grãos e Fibras / IAC / Campinas/SP



Profa. Dra. MARA CRISTINA PESSOA DA CRUZ  
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal



Prof. Dr. VALDECI ORIOLI JÚNIOR  
Departamento de Agronomia / IFTM - Uberaba/MG



Prof. Dr. CÉSAR MARTORELI DA SILVEIRA  
CTA / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 11 de abril de 2019

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

**FÁBIO TIRABOSCHI LEAL** - nascido em 27 de outubro de 1989, em Ribeirão Preto – SP, é Engenheiro Agrônomo formado em fevereiro de 2013 pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP (Câmpus de Jaboticabal). Trabalhou, neste período, com emissão de CO<sub>2</sub> do solo (respiração do solo) e método de quantificação indireta (susceptibilidade magnética) de atributos do solo, sendo bolsista da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) de 2010 a 2011 e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) de 2011 a 2012. Em março de 2013, ingressou no mestrado do Programa de Pós-graduação em Agronomia (Produção Vegetal) da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP (Câmpus de Jaboticabal), sendo bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Obteve o título de Mestre em junho de 2015 defendendo a dissertação intitulada “Fosfato decantado e calagem no perfilhamento e produção de massa seca do capim-marandu”. Em março de 2016, iniciou o curso de Doutorado pelo mesmo programa na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP (Câmpus de Jaboticabal) em que foi bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

“No que diz respeito ao empenho, ao compromisso, ao esforço, à dedicação, não existe meio termo. Ou você faz uma coisa bem feita ou não faz” (Ayrton Senna)

Pois, que adianta ao homem ganhar o mundo inteiro e perder a sua alma? (Marcos 8:36-37)

## **DEDICO**

À minha família pelo carinho, orientação e suporte nos momentos difíceis e, que sem dúvida, tem grande contribuição neste trabalho, em especial aos meus pais Luiz Carlos Leal e Rosângela Tiraboschi Leal, que nunca mediram esforços para a minha educação e meus sonhos.

## AGRADECIMENTOS

A Deus que me faz acreditar que nunca se deve perder a fé na vida, já que sempre há algo melhor por vir, mesmo que não seja pelo trajeto e no tempo que nós queremos.

Ao Prof. Dr. Leandro Borges Lemos pela paciência, orientação, respeito à minha opinião e ensinamentos durante a realização deste trabalho, mas acima de tudo por ser meu amigo, o que resultou em boas conversas, risadas e trocas de experiência.

Ao Prof. Dr. Fábio Luiz Checchio Mingotte pela coorientação e ensinamentos durante a realização deste trabalho e pela amizade que construímos.

À minha noiva Ana Beatriz pelo amor, companheirismo, ajuda nos momentos mais difíceis, pelo exemplo de luta e perseverança e, acima de tudo, por acreditar em mim.

Ao meu irmão, amigo e engenheiro agrônomo José Eduardo Tiraboschi Leal que sempre foi meu exemplo de vida, me ensinando valores dentro e fora da Universidade.

À minha avó Rosa pelo exemplo de bondade, generosidade e fraternidade.

Aos meus professores das disciplinas cursadas durante o mestrado: Edson Luiz Mendes Coutinho, Itamar Andrioli, Célia Regina Paes Bueno, José Carlos Barbosa, Pedro Luís da Costa Alves, Renato de Mello Prado e William Natale.

Aos meus professores das disciplinas cursadas durante o doutorado: Leandro Borges Lemos, Durvalina Maria Mathias dos Santos, Rogério Falleiros Carvalho, Wanderley José de Melo, Glauco de Souza Rolim, José Marques Júnior, Newton La Scala Júnior e Diego Silva Siqueira.

Aos professores participantes de minha qualificação de doutorado: Mara Cristina Pessôa da Cruz e Gustavo Vitti Moro, pelas contribuições e melhorias no presente trabalho.

Aos membros da banca examinadora de minha defesa de tese de doutorado: Profa. Mara Cristina Pessôa da Cruz (UNESP - Jaboticabal), Prof. César Martoreli da Silveira (UNESP - Jaboticabal), Prof. Valdeci Orioli Júnior (IFTM - Uberaba) e



Pesquisador Alisson Fernando Chiorato (IAC), pelas contribuições e melhorias no presente trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Produção Vegetal da UNESP - Câmpus de Jaboticabal, em especial ao Rubens Libório e à Mônica Roberta Ignacio Colovati, por toda dedicação e ajuda em todos esses anos.

Aos funcionários da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE) da UNESP - Câmpus de Jaboticabal pela dedicação e ajuda nos experimentos de campo.

Aos meus colegas do grupo de pesquisa Sagris (Sustentabilidade em Sistemas Agrícolas) da UNESP - Câmpus de Jaboticabal, em especial, Vinícius Augusto Filla, João Victor Trombeta Bettiol, Orlando Ferreira Morello, Fernando de Oliveira Turci Sandrini, Vinícius Cambaúva, Rafael Zoccolaro Roms, Suzenande Antonio de Oliveira, Lucas Varzim Mesquita, João Marcos Dorati Belessa e Marcus Vinicius Pires Alves.

Ao meu melhor amigo Arthur Perussi e sua família pelo companheirismo, momentos alegres e ajuda nos momentos difíceis.

Aos meus amigos Anderson Prates Coelho, César de Souza Pirajá Figueiredo, Nathan dos Santos Masson, João Victor Gomes Pasquetto, Rafael Magro Tomicioli, Diego Silva Siqueira, Wallace Leite e Filipe Norberto Ayres de Freitas pelo companheirismo, momentos alegres e ajuda nos momentos difíceis.

Ao programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal) da UNESP - Câmpus de Jaboticabal.

Às instituições públicas e privadas que colaboraram com o fornecimento de sementes para esse experimento: Instituto Agrônômico de Campinas (IAC), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Arroz e Feijão), Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (Epamig), Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR) e Agro Norte Pesquisa e Sementes Ltda.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Finalmente, a todos que, de maneira direta ou indireta contribuíram para realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
<b>RESUMO</b> .....	ii
<b>ABSTRACT</b> .....	iii
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	3
2.1. Feijoeiro comum no Brasil .....	3
2.2. Cultivares de feijoeiro comum .....	4
2.3. Eficiência de uso e resposta ao nitrogênio .....	8
2.4. Nitrogênio na qualidade dos grãos de feijão .....	11
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	14
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	21
4.1. Produtividade, eficiência de uso e responsividade ao nitrogênio .....	21
4.2. Qualidade dos grãos de feijão em função do uso de nitrogênio.....	33
<b>5. CONCLUSÕES</b> .....	40
<b>6. REFERÊNCIAS</b> .....	40
<b>APÊNDICES</b> .....	47

## PRODUTIVIDADE, QUALIDADE E EFICIÊNCIA DE USO DO NITROGÊNIO DE CULTIVARES DE FEIJOEIRO COMUM

**RESUMO** – O feijão é a principal fonte de proteína das populações de países subdesenvolvidos, e o nitrogênio (N) é um dos nutrientes que mais determina a produtividade dessa cultura. A qualidade dos seus grãos pode ser influenciada pelo manejo agrícola e pelas cultivares. Objetivou-se com esse trabalho: a) avaliar o efeito de doses de nitrogênio em cobertura na produtividade de grãos de cultivares de feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.); b) classificar essas cultivares quanto à eficiência no uso e responsividade a aplicação do N; e c) avaliar os efeitos de baixa e alta dose de N em cobertura nos atributos qualitativos dos grãos de cultivares de feijoeiro comum, e indicar as cultivares com melhores características tecnológicas dos grãos. O delineamento experimental foi em blocos casualizados em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas foram constituídas por 16 cultivares de feijoeiro comum de grão comercial carioca: ANFc 9, BRSMG Uai, BRS Estilo, BRSMG Madrepérola, Pérola, BRS FC402, IAC Alvorada, IAC Milênio, IAC Sintonia, IPR Andorinha, IPR Campos Gerais, IPR Curió, IPR Celeiro, IPR Maracanã, TAA Dama e TAA Bola Cheia. As subparcelas foram compostas por duas doses de N: 20 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de N aplicados em cobertura por ocasião da emissão da terceira folha trifoliada. As avaliações realizadas relacionadas ao desempenho agrônômico e à eficiência de uso e resposta ao N foram número de vagens por planta e de grãos por vagem, massa de cem grãos, massa seca da parte aérea no florescimento pleno (estádio fenológico R<sub>6</sub>), massa seca da palha na maturidade fisiológica (estádio fenológico R<sub>9</sub>) e produtividade de grãos. Com base na massa seca e nos teores do nutriente em R<sub>6</sub> e R<sub>9</sub>, e nos grãos em R<sub>9</sub>, foram calculados os acúmulos de N na parte aérea e nos grãos. Foram calculadas as eficiências agrônômica, fisiológica, agrofisiológica, de recuperação e de utilização do N. As avaliações de qualidade dos grãos realizadas foram rendimento de peneira, produção relativa de grãos em peneira, teor de proteína bruta, volume final de água absorvido, tempo para máxima hidratação, relação de hidratação, tempo de cozimento e resistência ao cozimento dos grãos de feijão. Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste F, e as médias agrupadas pelo teste de Scott-Knott. Realizou-se o estudo de correlação simples entre as variáveis produtividade de grãos, número de vagens por planta e de grãos por vagem, massa seca de cem grãos, massa seca da palha em R<sub>9</sub>, acúmulos de N na parte aérea em R<sub>6</sub> e R<sub>9</sub> e nos grãos em R<sub>9</sub>. Utilizou-se a análise multivariada por componentes principais para separação das cultivares em grupos quanto à tecnologia dos grãos. A produtividade de grãos de feijoeiro comum é dependente da interação cultivar e dose de nitrogênio. A cultivar BRSMG Uai destaca-se pelas maiores eficiências agrônômica, fisiológica, de recuperação e de utilização. Os genótipos BRSMG Uai, BRS FC402, IPR Campos Gerais, IPR Maracanã e TAA Bola Cheia são eficientes e responsivos a aplicação de N em cobertura. Os atributos qualitativos dos grãos de feijão são mais influenciados pela cultivar utilizada do que pelas doses de nitrogênio em cobertura. As cultivares BRSMG Uai, IAC Alvorada, TAA Dama e TAA Bola Cheia têm as melhores características de qualidade dos grãos.

**Palavras-chave:** acúmulo de nitrogênio, adubação nitrogenada, desempenho agrônômico, genótipos, *Phaseolus vulgaris* L., tecnologia dos grãos

## YIELD, QUALITY AND NITROGEN USE EFFICIENCY OF COMMON BEAN CULTIVARS

**ABSTRACT** – Common beans are the main source of protein in underdeveloped countries, and nitrogen (N) is one of the nutrients the most determine the yield of this crop. The quality of its grains can be influenced by agricultural management and cultivars. This study aimed to: a) evaluate the effect of nitrogen top-dressing rates on grain yield of common bean cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.); b) classify these cultivars regarding use efficiency and responsivity to application of N; c) evaluate the effects of low and high rates of N topdressing on the qualitative attributes of common bean cultivars, and indicate the cultivars with better grain technological characteristics. The experimental design was in randomized blocks in split-plot scheme, with four replicates. Plots consisted of 16 cultivars of common beans commercially classified as ‘Carioca’: ANFc 9, BRSMG Uai, BRS Estilo, BRSMG Madrepérola, Pérola, BRS FC402, IAC Alvorada, IAC Milênio, IAC Sintonia, IPR Andorinha, IPR Campos Gerais, IPR Curió, IPR Celeiro, IPR Maracanã, TAA Dama e TAA Bola Cheia. Subplots comprised two doses of N: 20 and 120 kg ha<sup>-1</sup> of N applied as top-dressing on the occasion of the emission of the third trifoliolate leaf. The evaluations related to agronomic performance and use efficiency and responsivity to N were number of pods per plant and grains per pod, hundred-grain weight, shoots dry matter at full flowering (phenological stage R<sub>6</sub>), straw dry matter at physiological maturity (phenological stage R<sub>9</sub>) and grain yield. Based on the shoots dry matter and its nutrient contents at R<sub>6</sub> and R<sub>9</sub>, and on the grains at R<sub>9</sub>, the N accumulations were calculated in shoots and grains. The agronomic, physiological, agro-physiological, recovery and use efficiencies of N were calculated. The evaluations of grains quality performed were sieve yield, relative sieve grain yield, crude protein content, final volume of water absorbed, time for maximum hydration, hydration ratio, cooking time and cooking resistance of grains. The results were submitted to analysis of variance by the F test, and the means grouped by the Scott-Knott. The study of simple correlation was conducted between grain yield, number of pods per plant and grain per pod, hundred-grain weight, straw dry matter at R<sub>9</sub>, accumulations of N in the shoot at R<sub>6</sub> and R<sub>9</sub> and grains at R<sub>9</sub>. Principal components by multivariate analysis was used to separate of cultivars into groups for grain technology. The grain yield of common bean is dependent on the interaction cultivar and nitrogen rate. The cultivar BRSMG Uai stands out with highest agronomic, physiological, recovery and use efficiencies. The genotypes BRSMG Uai, BRS FC402, IPR Campos Gerais, IPR Maracanã and TAA Bola Cheia are efficient and responsive to top-dressing N application. The qualitative attributes of common bean grains are more influenced by the cultivar used than by the nitrogen top-dressing rates. The cultivars BRSMG Uai, IAC Alvorada, TAA Dama and TAA Bola Cheia have the best characteristics of grain quality.

**Keywords:** nitrogen accumulation, nitrogen fertilization, agronomic performance, genotypes, *Phaseolus vulgaris* L., grain technology

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o país com maior área cultivada com a cultura do feijão no mundo, com aproximadamente 3,2 milhões de hectares (Conab, 2018). O feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é o mais produzido no território nacional, com destaque para as cultivares com grão comercial tipo carioca. A cultura tem importância econômica devido ao ciclo curto, retorno econômico rápido e possibilidade de ser produzida em três safras, tornando-se uma ótima opção para rotação e sucessão de culturas. Além disso, tem muita importância social, uma vez que é a principal fonte de proteína de baixo custo das populações de países subdesenvolvidos (Fageria et al., 2013; Fageria et al. 2014). A proteína do feijão é de boa digestibilidade, com aminoácidos essenciais, e o grão é rico em potássio e apresenta baixos níveis de gordura (Perina et al., 2014; Miano et al., 2018).

O nitrogênio (N) é o nutriente mais extraído pelo feijoeiro, com exportação média de 35 kg de N por tonelada de grãos produzida (Ambrosano et al., 1997). Esse elemento compõe proteínas e moléculas importantes como a clorofila. O suprimento de N está relacionado ao aumento da fotossíntese, crescimento e duração de folhas, quantidade e tamanho dos órgãos vegetativos e reprodutivos, e produção de biomassa (Marschner, 2012). A cultura do feijoeiro é fixadora de N devido a simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium*, porém esse processo é insuficiente suprir a exigência da cultura (Fageria et al., 2014). Assim, o feijoeiro requer grandes quantidades de fertilizantes nitrogenados. Esses adubos são caros, consomem petróleo em suas produções, e o uso excessivo pode contaminar os cursos d'água.

Pesquisas que buscam aumentar a eficiência do uso do N pelas culturas são muito importantes (Fageria et al., 2013; Akter et al., 2017), pois reduzem gastos com fertilizantes, o uso de petróleo e a poluição. Esses estudos são alinhados com três Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU): a) acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar, melhorar a nutrição e promover a agricultura sustentável; b) tomar medidas urgentes para combater a mudança do clima; e c) conservar e usar sustentavelmente os recursos marinhos. Cientificamente, esse tipo de investigação também auxilia os programas de

melhoramento genético, que têm por objetivo o desenvolvimento de genótipos eficientes e responsivos aos nutrientes (Silva et al., 2016).

O uso e resposta à aplicação de N pelo feijoeiro é dependente de processos morfofisiológicos e bioquímicos que afetam a absorção, a assimilação do elemento à compostos orgânicos, a mobilização e a redistribuição do nutriente nos órgãos da planta (Fageria et al., 2013). Esses processos são bastante influenciados pelos genótipos, podendo existir diferenças significativas quanto à produção de massa seca da planta, aos componentes produtivos e acúmulo de N na parte aérea e nos grãos (Araújo e Teixeira, 2008; Fageria et al., 2013; Fageria et al., 2014). Além disso, estudos que correlacionam esses atributos da planta com a produtividade são importantes visando facilitar a seleção de genótipos eficientes e responsivos ao uso de N (Fageria et al., 2013; Araújo e Teixeira, 2008). Essas associações são dependentes do estágio fenológico da cultura (Araújo e Teixeira, 2008).

Além disso, os programas de melhoramento genético de feijão têm procurado desenvolver e selecionar cultivares com elevados potenciais produtivos e também com boa aceitação no mercado. Dentre as características interessantes para o consumidor e empacotadoras, podem-se citar menor de tempo de cozimento, maior e rápida capacidade de hidratação, maior tamanho e elevado teor de proteínas dos grãos (Rodrigues et al., 2005; Perina et al., 2014).

Esses atributos qualitativos dos grãos são influenciados pela interação entre genótipo e ambiente. Pereira et al. (2017) observaram que o efeito ambiental é maior que o genotípico na expressão dos caracteres relacionados à tecnologia dos grãos. O manejo da adubação nitrogenada pode alterar essas características, sendo dependentes, ainda, do sistema de produção adotado (Farinelli e Lemos, 2010). Esses últimos autores constataram que o aumento da dose de N em cobertura incrementou os teores de proteína nos grãos de feijão tanto no sistema de plantio direto como no cultivo em preparo convencional de solo. No entanto, o tempo de cozimento apresentou padrão de resposta diferente entre os sistemas de cultivo.

As relações entre os atributos qualitativos dos grãos ainda não são bem elucidadas, existindo divergências nas informações. Pereira et al. (2017) e Mingotte et al. (2013) verificaram relação inversa entre o tempo de cozimento e o teor de proteína para alguns genótipos de feijão. Porém, Farinelli e Lemos (2010) constataram

aumento no tempo de cozimento em função do aumento do teor de proteína no sistema de preparo convencional de solo. O tempo para cocção apresenta interferência de outros fatores dependentes dos genótipos, que dificulta a utilização do teor de proteína para a seleção indireta de cultivares com menor tempo de cozimento. Diante do exposto, há a necessidade de trabalhos que busquem compreender melhor as relações entre os atributos qualitativos, e também a influência do ambiente nessas características dos grãos.

Dadas as considerações apresentadas, objetivou-se com esse trabalho: a) avaliar o efeito de doses de nitrogênio em cobertura na produtividade de grãos de cultivares de feijoeiro comum; b) classificar essas cultivares quanto à eficiência no uso e responsividade a aplicação do N; c) avaliar os efeitos do fornecimento de baixa e alta dose de N em cobertura nos atributos qualitativos dos grãos de cultivares de feijoeiro comum, e indicar cultivares com melhores características tecnológicas dos grãos.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Feijoeiro comum no Brasil**

O Brasil é o maior produtor de feijão do mundo com 3,2 milhões de toneladas de grãos cultivados em uma área de aproximadamente 3,1 milhões de hectares (Conab, 2018). No entanto, a produtividade média nacional de grãos é baixa, em torno de 1.000 kg ha<sup>-1</sup>, o que se deve a grande variação no nível tecnológico dos produtores. A cultura tem importância econômica e social devido ao ciclo curto e retorno econômico rápido, tornando-se uma ótima opção para rotação e sucessão de culturas (Carmeis Filho et al., 2014; Flôres et al., 2017). Além disso, essa espécie pode ser cultivada durante todo ano por meio de três safras.

A primeira, a segunda e a terceira safra de feijão são responsáveis pela produção de 1,1, 1,3 e 0,8 milhões de toneladas de grãos colhidos em áreas de aproximadamente 1,0, 1,5 e 0,6 milhões de hectares, respectivamente. Com essas estatísticas, as produtividades médias são em torno de 1.100, 800 e 1.300 kg ha<sup>-1</sup> para a primeira, segunda e a terceira safras, respectivamente (Conab, 2018). Essas

safras também são comumente chamadas de safra das águas (1ª safra), das secas (2ª safra) e de outono-inverno (3ª safra) devido às épocas em que ocorrem as colheitas.

A maior produtividade da terceira safra é relacionada às condições climáticas favoráveis à cultura nesse período, a menor ocorrência de doenças e ao uso de irrigação. Por conseguinte, o feijoeiro comum é a principal cultura em áreas irrigadas sob pivô central na entressafra brasileira da região Centro-Sul, sendo bastante explorado no sistema de plantio direto (Soratto et al., 2013a; Carmeis Filho et al., 2014).

Regiões aptas ao cultivo de feijoeiro comum são aquelas com temperaturas médias entre 15 e 29°C (Fancelli e Dourado-Neto, 1999). Temperaturas superiores a 29°C prejudicam essa espécie, principalmente se ocorrerem durante o florescimento, pois ocasionam abortamento de flores, e conseqüentemente, diminuição do número de vagens por plantas (Silva e Ribeiro, 2009). Por outro lado, frio excessivo pode reduzir o crescimento vegetativo da cultura. Temperaturas inferiores a 12 °C reduzem a taxa de crescimento (Crookston et al., 1975) e menores que 10 °C paralisam o desenvolvimento da planta (Wutke et al., 2000). O frio pode diminuir a formação de ramos laterais ou axilares, o índice de área foliar e a taxa fotossintética (Fancelli e Dourado-Neto, 1999). Em relação à necessidade hídrica, o feijoeiro precisa de 300 a 500 mm durante o seu ciclo, dependendo das condições climáticas de cada região (Doorenbos e Kassan, 1979).

Com condições mais favoráveis, produtividades maiores que 3.000 kg ha<sup>-1</sup> de grãos de feijão podem ser obtidas na terceira safra por meio do uso de irrigação e de agroquímicos com elevada tecnologia, do manejo racional de fertilizantes e de corretivos e da adoção de cultivares adaptadas à região de cultivo e com elevado potencial produtivo (Farinelli e Lemos, 2010). Nesse sentido, há a necessidade de melhorar o manejo de fertilizantes em função da cultivar utilizada.

## **2.2. Cultivares de feijoeiro comum**

O Brasil possui 348 cultivares de feijoeiro comum registradas no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2019). Atualmente, os cinco principais programas brasileiros de melhoramento genético de feijão são do Instituto Agronômico



de Campinas (IAC), da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa/Arroz e Feijão) e seus parceiros, do Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR), da Agro Norte Pesquisa e Sementes Ltda e da Agropecuária Terra Alta Ltda (Lemos et al., 2015).

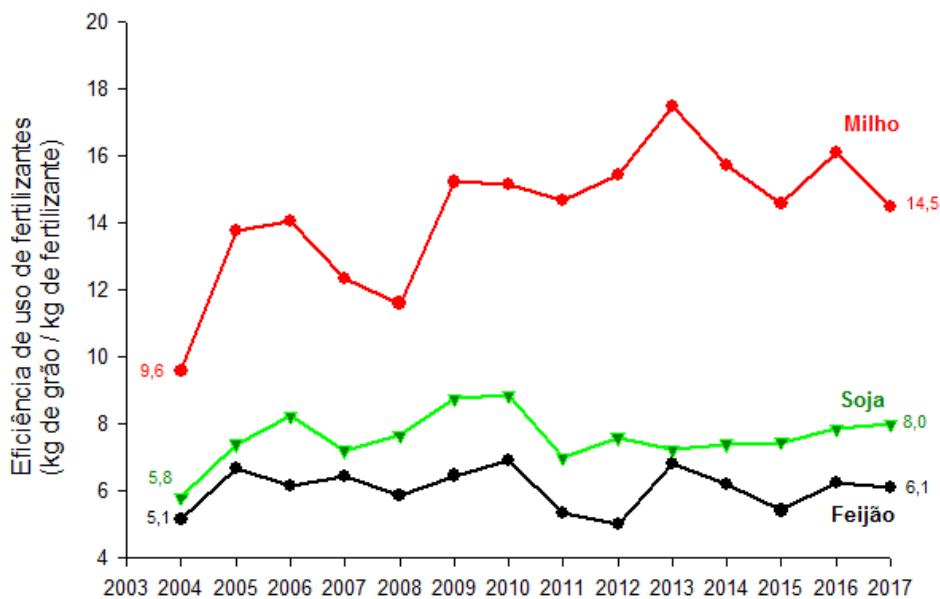
As cultivares de feijoeiro comum podem ser classificadas quanto ao tipo comercial do grão, à adaptabilidade à região de cultivo, ao potencial produtivo, ao porte da planta, ao ciclo, à tolerância e resistência às doenças, à resistência a fatores abióticos e a outros atributos, como por exemplo quanto à eficiência e a resposta aos nutrientes (Lemos et al., 2015).

Em relação ao grupo comercial, os grãos de feijão podem ser classificados em carioca, chumbinho, manteiga, mulatinho, preto, rosinha, roxinho bico-de-ouro, vermelho, branco, enxofre e pardo (Lemos et al., 2015). O consumo brasileiro é predominantemente do grão tipo carioca. Com produção de 1,9 milhões de toneladas, esse grão representa 59% de toda produção no Brasil. Contudo, a representatividade desse grão no cenário do país é ainda maior visto que as estatísticas incluem a espécie *Vigna unguiculata* L. Walp. (feijão-caupi) (Conab, 2018). O grão tipo carioca caracteriza-se principalmente pela cor do tegumento creme clara e com rajas marrons claras e cor do halo em torno do hilo da mesma cor do tegumento

No entanto, são poucos os trabalhos científicos sobre a eficiência de uso e resposta aos nutrientes pelas cultivares com esse grão comercial. Além disso, a maior parte das pesquisas com esse tema utilizam linhagens em detrimento de genótipos comercialmente cultivados (Fageria et al., 2013; Silva et al., 2016). Somado a isso, o feijão, em comparação ao milho e a soja, foi a cultura que teve menor incremento na eficiência de uso de fertilizantes durante o período 2004 a 2017 (Figura 1). Considerando-se os valores obtidos nos anos de 2004 e 2017, os aumentos na eficiência de uso dos fertilizantes foram de 51,0, 37,9 e 19,6% para as culturas do milho, da soja e do feijão, respectivamente. Assim, avanços nesses tipos de estudo, principalmente para o N no feijoeiro, podem contribuir para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas.

O N é o nutriente mais extraído pelo feijoeiro, com exportação média de 35 kg de N por tonelada de grãos (Ambrosano et al., 1997). Embora a cultura realize simbiose com as bactérias do gênero *Rhizobium*, a fixação biológica de N (FBN) é insuficiente para atender a demanda desse nutriente pela cultura e para alta

produtividade (Fageria et al., 2014). Dessa forma, elevadas quantidades de fertilizantes nitrogenados são requeridas na cultura. Esses adubos apresentam elevado custo, demandam petróleo em suas produções, e o seu uso excessivo pode contaminar os cursos d'água. Nesse sentido, pesquisas que objetivam aumentar a eficiência de uso do N pelo feijoeiro são importantes para a melhoria dos sistemas agrícolas. Cientificamente, esse tipo de investigação também auxilia os programas de melhoramento genético, que objetivam genótipos eficientes e responsivos aos nutrientes (Silva et al., 2016).



**Figura 1.** Evolução histórica da eficiência de uso de fertilizantes nas culturas do milho, soja e feijão durante o período de 2004 a 2017. Dados obtidos em ANDA (2005, 2008, 2011, 2014, 2017) e Conab (2018).

Todavia, o estudo bibliométrico dos últimos 11 anos reforça a escassez de pesquisas sobre o manejo do N para as 21 principais cultivares de feijoeiro comum, com grão comercial carioca, semeadas no Brasil (Tabela 1). As cinco cultivares com mais resultados no mecanismo de busca do Google acadêmico são Pérola, BRS Estilo, IAC Alvorada, IPR 139 e BRSMG Majestoso, respectivamente. Os resultados no Google acadêmico compreendem livros, teses, dissertações, boletins, artigos científicos e materiais correlatos. Os cinco genótipos com maior número de artigos científicos foram IAC Alvorada, Pérola, BRS Estilo, IPR 139, BRSMG Majestoso,

respectivamente. Esses resultados podem estar relacionados aos anos de registro inferiores a 2010, que possibilitaram maior tempo para divulgação dos trabalhos.

**Tabela 1.** Ano de registro, número total de resultados e de artigos científicos encontrados no mecanismo de busca do Google Acadêmico no período de janeiro de 2008 a janeiro de 2019 para as cultivares de feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) com grão comercial do tipo carioca<sup>(1)</sup>.

Cultivares	Registro	Google Acadêmico	Artigos científicos
ANFc 9	2012	2	0
BRSMG Uai	2015	2	0
BRSMG Madrepérola	2011	32	4
BRSMG Majestoso	2006	35	5
BRS Estilo	2009	113	8
BRS FC104	2017	2	1
BRS FC402	2015	1	0
Pérola <sup>(2)</sup>	1998	124	13
IAC Alvorada	2007	86	16
IAC Milênio	2013	11	0
IAC Sintonia	2016	2	0
IAC Imperador	2012	21	1
IPR Andorinha	2013	12	2
IPR Campos Gerais	2011	16	1
IPR Curió	2013	8	1
IPR Celeiro	2016	0	0
IPR Maracanã	2013	0	0
IPR 139	2009	56	8
TAA Dama	2013	3	0
TAA Bola Cheia	2009	2	0
TAA Gol	2013	1	0
<b>Total</b>		<b>527</b>	<b>60</b>

<sup>(1)</sup>A busca foi realizada em 03/01/2019 utilizando-se os termos: “nome da cultivar” e “nitrogênio” em inglês. <sup>(2)</sup> Acrescentou-se na busca o termo “feijoeiro comum” em inglês a fim de não captar resultados referentes a cultivar Pérola de abacaxi (*Ananas comosus* L.).

As cultivares com número de resultados menor ou igual a três no Google acadêmico foram IPR Celeiro, IPR Maracanã, BRS FC402, TAA Gol, ANFc 9, BRSMG Uai, BRSFC104, IAC Sintonia, TAA Bola Cheia e TAA Dama. Dez das 21 cultivares não apresentam nenhum artigo científico sobre o tema, são elas: ANFc 9, BRSMG Uai, BRS FC402, IAC Milênio, IAC Sintonia, IPR Celeiro, IPR Maracanã, TAA Dama, TAA Bola Cheia e TAA Gol. Com exceção da TAA Bola Cheia, esses genótipos foram registrados após o ano de 2010, havendo menor tempo para divulgação dos resultados. Outro ponto de destaque é que os materiais genéticos de instituições privadas (Agro Norte e Agropecuária Terra Alta) não possuem nenhum artigo sobre o

tema. Dessa forma, detecta-se uma lacuna no conhecimento científico visto que essas cultivares são bastante cultivadas nacionalmente.

### **2.3. Eficiência de uso e resposta ao nitrogênio**

A eficiência de uso e a responsividade ao N são características desejáveis em cultivares de feijoeiro comum (Fageria et al., 2013; Fageria et al., 2014; Fageria et al., 2015), visto que esse é o nutriente mais extraído e exportado para os grãos por essa cultura. Além disso, o N é o nutriente que mais limita a produtividade do feijoeiro.

A extração e a exportação de N do feijoeiro comum é de aproximadamente 36,5 e 32,1 kg de N por t de grãos produzida, respectivamente (Fageria et al., 2015). Ambrosano et al. (1997) indicam exportação média de 35 kg de N por t de grãos. De forma geral, a exportação desse nutriente para os grãos é aproximadamente de 88% do total acumulado na parte aérea (Fageria et al., 2015).

Segundo Fageria e Kluthkouski (1980), cultivares eficientes são aquelas que produzem bem sob baixa disponibilidade do nutriente. Isfan (1993) define um genótipo eficiente como aquele que absorve grande quantidade do nutriente do solo ou do fertilizante aplicado, apresenta elevada produtividade de grãos por unidade de nutriente absorvida e acumula baixa quantidade de nutrientes na palha. Gourley et al. (1994) conceituam genótipo eficiente, em comparação com o não eficiente, como sendo aquele que requer menos nutrientes nos processos metabólicos normais. O conceito de responsividade está relacionado ao fato de o genótipo incrementar a produtividade com a aplicação de doses crescentes do elemento (Fageria e Kluthkouski, 1980).

Os processos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos afetam a eficiência de uso e a resposta à aplicação de N pela cultura do feijoeiro, pois estão relacionados à absorção, à assimilação à compostos orgânicos, à mobilização e à redistribuição do nutriente nos órgãos da planta (Fageria et al., 2013). As características morfológicas do feijoeiro relacionadas à produtividade são altura, massa seca da parte aérea e das raízes e área foliar. Os processos fisiológicos e bioquímicos associados ao uso do N incluem proliferação de raízes, eficiência de absorção, eficiência da enzima de redução do N e a tolerância ao amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) (Fageria et al., 2015). Esses processos são bastante controlados pelo fator genético, podendo promover diferenciações em

relação às massas secas da planta, aos componentes produtivos e aos acúmulos de N na parte aérea e nos grãos (Araújo e Teixeira, 2008; Fageria et al., 2013; Fageria et al., 2014). Os componentes produtivos do feijoeiro são número de vagens por planta e grãos por vagem e massa de cem grãos.

Assim, alguns índices auxiliam na explicação de como as plantas cultivadas utilizam os nutrientes. Entre os índices de eficiência de uso de nutrientes, pode-se citar: eficiência agrônômica (EA), eficiência fisiológica (EF), eficiência agrofisiológica (EAF), eficiência de recuperação (ER), e eficiência de utilização (EU) (Fageria et al., 2015).

**Eficiência agrônômica - EA ( $\text{kg kg}^{-1}$ ):** a mais conhecida; indica quantos quilogramas (kg) de produto comercial (grãos de feijão, por exemplo) podem ser obtidos para cada kg do nutriente aplicado via fertilizante. Dessa forma, deve-se atentar para o uso de estratégias que proporcionem maior produtividade com menor uso de fertilizantes (Leal e Lemos, 2018).

**Eficiência fisiológica - EF ( $\text{kg kg}^{-1}$ ):** indica quantos kg de massa seca da parte aérea podem ser obtidos para cada kg do nutriente acumulado na parte aérea (grãos + palha). Esse índice já leva em consideração a quantidade do nutriente na planta. Elevada eficiência fisiológica é bastante interessante, sobretudo, para plantas de cobertura ou adubos verdes, que precisam produzir grande quantidade de biomassa para proporcionar seus benefícios, como ciclagem de nutrientes, recobrimento do solo, e/ou manutenção da palhada para aqueles agricultores que aderiram ao sistema plantio direto (Leal e Lemos, 2018).

**Eficiência agrofisiológica - EAF ( $\text{kg kg}^{-1}$ ):** refere-se a quantos kg do produto comercial (grãos) são produzidos para cada kg do nutriente acumulado na parte aérea. Possivelmente, recebe esse nome por dar enfoque no efeito do nutriente na fisiologia da planta, principalmente voltado para a produção de grãos. Quando comparada a eficiência fisiológica, é mais interessante do ponto de vista agrônômico, pois a planta destinou o uso do nutriente para produção de grãos, refletindo em lucro (Leal e Lemos, 2018).

**Eficiência de recuperação - ER ( $\text{kg kg}^{-1}$ ):** indica quantos kg do nutriente foram acumulados na parte aérea da planta para cada kg do nutriente aplicado via fertilizantes. Esse índice é bastante útil porque pode fornecer informação sobre a

eficiência de absorção dos nutrientes pelo sistema radicular da cultura. De forma geral, plantas eficientes na recuperação tendem a ser mais eficientes na utilização (Leal e Lemos, 2018).

**Eficiência de utilização - EU ( $\text{kg kg}^{-1}$ ):** a última eficiência; calculada pela multiplicação da eficiência fisiológica e da eficiência de recuperação ( $\text{EU} = \text{EF} \times \text{ER}$ ), refere-se a quantos kg de massa seca da parte aérea são produzidos para cada kg do nutriente aplicado. Essa eficiência de utilização é dada em função da recuperação do nutriente aplicado via fertilizante e da produção de biomassa produzida pelas plantas (Leal e Lemos, 2018).

Nesse sentido, em estudos sobre a eficiência de uso do N em condição de experimento de campo por dois anos agrícolas, Fageria et al. (2014) constataram para 15 cultivares de feijoeiro comum EA média de  $13,33 \text{ kg kg}^{-1}$ . Os valores para essa eficiência variaram entre  $2,33$  e  $24,87 \text{ kg kg}^{-1}$ . De acordo com os mesmos autores, as EA das cultivares Pérola e BRS Estilo foram  $12,49$  e  $24,17 \text{ kg kg}^{-1}$ , respectivamente. Esses resultados foram obtidos quando comparadas as doses de  $0$  e  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, e realizando-se parcelamento da adubação nitrogenada, sendo metade da dose de N aplicada na semeadura e a outra metade 35 dias após a semeadura. Por fim, nesse mesmo estudo as cultivares Pérola e BRS Estilo foram classificadas como eficientes no uso do N.

Em experimento de casa vegetação e com as plantas cultivadas em vasos com solo, Fageria et al. (2013) verificaram para o feijoeiro EA média de  $8,2 \text{ kg}$  de grão para cada  $\text{kg}^{-1}$  de N aplicado. As EF, EAF, ER e EU do N também foram calculadas, e os valores obtidos foram de  $31,2 \text{ kg kg}^{-1}$ ,  $17,0 \text{ kg kg}^{-1}$ ,  $46,5 \%$  e  $14,6 \text{ kg kg}^{-1}$ , respectivamente. As EA, EF, EAF e EU obtidas para a cultivar Pérola foram de  $5,9$ ,  $22,0$ ,  $13,3$  e  $10,1 \text{ kg kg}^{-1}$ , respectivamente. A ER nesse estudo para essa cultivar foi de  $47,5\%$ . Nesse mesmo estudo, esses autores detectaram maior correlação entre a EA e produtividade, seguida por EU, EAF, ER e EF, respectivamente. Farinelli e Lemos (2010), comparando as doses de  $0$  e  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de N em cobertura, constataram para a cultivar Pérola valores de EA de  $8,1 \text{ kg kg}^{-1}$  no sistema de preparo convencional de solo e de  $2,0 \text{ kg kg}^{-1}$  no SPD.

Ademais, o estudo de correlações entre os atributos da planta e a produtividade são importantes objetivando facilitar a seleção de genótipos eficientes e responsivos

ao uso de N (Fageria et al., 2013; Araújo e Teixeira, 2008). Essas associações são dependentes do estágio fenológico da cultura (Araújo e Teixeira, 2008). Nesse sentido, Araújo e Teixeira (2008) não verificaram correlações significativas entre acúmulo de N na parte aérea no florescimento pleno ( $R_6$ ) com a produtividade de grãos e a quantidade de palha do feijoeiro, porém associações positivas significativas entre essas variáveis foram detectadas no estágio fenológico de enchimento de grãos ( $R_8$ ). O feijoeiro tem a taxa de absorção de N intensificada após 20 dias após a emergência (DAE) das plantas (Soratto et al., 2013b). A maior demanda por N ocorre entre os 45 e 55 DAE, que coincidem com a formação de vagens ( $R_7$ ) (Soratto et al., 2013b). Outro aspecto interessante é que cultivares que absorvem mais N tendem a ser mais produtivas, sendo que estresses por esse nutriente influenciam a remobilização do N para as estruturas reprodutivas (Nascente et al., 2016). Segundo Fageria et al. (2013), o acumulado de N no grão é a característica da planta mais correlacionada à produtividade ( $R^2 = 0,91^{**}$ ), sendo essa associação maior, até mesmo, do que com o acumulado desse nutriente na parte aérea ( $R^2 = 0,41^{**}$ ).

#### **2.4. Nitrogênio na qualidade dos grãos de feijão**

Os programas de melhoramento genético de feijão têm procurado desenvolver e selecionar cultivares com elevado potencial produtivo e também com boa aceitação de mercado. Dentre as principais características interessantes para o consumidor final e as empacotadoras, pode-se citar menor de tempo de cozimento, maior e mais rápida capacidade de hidratação, maior tamanho e elevado teor de proteínas dos grãos (Rodrigues et al., 2005; Carbonell et al., 2010; Perina et al., 2014).

Com o objetivo de selecionar mais facilmente genótipos com atributos qualitativos dos grãos desejáveis, Carbonell et al. (2010) sugerem o uso do índice de Produção Relativa de Grãos em Peneiras (PRGP). De acordo com esses autores, o índice PRGP baseia-se na atribuição de notas para as porcentagens de grãos retidos em cada peneira, sendo valores de PRGP iguais ou maiores a 7 considerados adequados. Dessa forma, as empresas buscam associar sua marca a determinado tamanho e cor de grão, enquanto os consumidores relacionam os grãos graúdos a sua maior expansão e seu melhor rendimento de panela. Carbonell et al. (2010) verificaram maior PRGP para a cultivar IAC Alvorada em comparação a cultivar

Pérola.

No entanto, o índice que é mais comumente utilizado é o rendimento de peneira (RP), que considera a porcentagem de grãos retida em cada peneira, mas sem atribuições de nota às peneiras. Valor superior a 70% de grãos retidos em peneiras iguais ou maiores que 12 ( $RP \geq 12$ ) é utilizado como referência pelas empacotadoras, que pagam uma gratificação ao produtor pelo fato de serem grãos graúdos e de boa aceitação no mercado (Carbonell et al., 2010).

Os atributos qualitativos dos grãos são influenciados pela interação entre genótipo e ambiente. Nesse sentido, Pereira et al. (2017) observaram que o efeito ambiental é maior que o genotípico na expressão dos caracteres relacionados à tecnologia dos grãos. Assim, o manejo da adubação nitrogenada pode promover diferenciações nessas características, sendo dependentes do sistema de produção adotado (Farinelli e Lemos, 2010; Carmeis Filho et al., 2014). O N, após ser absorvido, se associa a compostos orgânicos, dando origem as proteínas (Perez et al., 2013; Amaral et al., 2016). Farinelli e Lemos (2010) constataram que o incremento de N em cobertura aumentou os teores de proteína nos grãos de feijão tanto no sistema de plantio direto (SPD) como no preparo convencional de solo. No entanto, o tempo de cozimento apresentou padrão de resposta diferente entre os sistemas.

As relações entre os atributos qualitativos dos grãos ainda não são bem elucidadas, existindo divergências nas informações. Pereira et al. (2017) e Mingotte et al. (2013) verificaram relação inversa entre o tempo de cozimento e o teor de proteína para alguns genótipos. Porém, Farinelli e Lemos (2010) constataram aumento no tempo de cozimento em função do incremento do teor de proteína nos grãos produzidos em sistema de preparo convencional de solo. O tempo para cocção apresenta interferência de outros fatores dependentes dos genótipos, que dificulta a utilização do teor de proteína para a seleção indireta de cultivares com menor tempo de cozimento.

A proteína é hidrofílica, ou seja, com grande capacidade de absorção de água (Farinelli e Lemos, 2010). No entanto, as diferentes proteínas presentes no grão de feijão se diferenciam quanto a hidrofiliidade, variando em função do genótipo (Oliveira et al., 2017). Miano et al. (2018) citam que a cinética de hidratação dos grãos do feijoeiro também é dependente de outros fatores genéticos, tais como teor de



gordura, amido, superfície específica e aspectos morfológicos do grão. Rodrigues et al. (2005) constataram, por meio do estudo de correlação simples, relações inversas ( $p < 0,05$ ) entre o tempo de embebição e o de cocção para as duas cultivares de feijoeiro estudadas (TPS Nobre e Pérola). Nessa mesma pesquisa, correlações negativas ( $p < 0,05$ ) foram verificadas entre a capacidade de absorção de água e o tempo de cocção para ambas as cultivares. Farinelli e Lemos (2010) constataram que, tanto em SPD como em preparo convencional de solo, a dose de  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de N em cobertura proporcionou maior tempo para máxima hidratação (TMH), comparada às doses de 0, 40, 80 e  $160 \text{ kg ha}^{-1}$  de N. Esses mesmos autores verificaram correlações negativas ( $r = 0,88$ ,  $p < 0,05$ ) entre tempo de máxima hidratação e tempo para cozimento no SPD.

Mingotte et al. (2013), avaliando 13 linhagens e quatro cultivares de feijoeiro comum, verificaram teor médio de proteína de 21,6 %, tempo médio para cozimento de 20 minutos e relação de hidratação média de 1,99. O TMH variou entre 8 minutos e 21 segundos a 9 minutos e 4 segundos. Pereira et al. (2017), estudando 12 linhagens e quatro cultivares de feijoeiro, constataram valores médios para proteína de 21,7% e tempo médio para cozimento de 32 minutos e 12 segundos.

Flôres et al. (2017), em estudos sobre o parcelamento de N em cobertura, verificaram para a cultivar IAC Imperador valores médios de 22,5%, 29 minutos, 14 horas e 54 minutos, e 2,05 para o teor de proteína bruta, o tempo para cozimento, o TMH e relação de hidratação (RH), respectivamente. Miano et al. (2018) verificaram para as cultivares IAC Sintonia e IAC Milênio teores de proteína de 21,9 e 19,5%. Valores de RH próximos de dois têm sido verificados em diversos trabalhos, indicando que os grãos de feijão foram capazes de absorver em massa de água aproximadamente o equivalente as suas massas iniciais, conferindo-lhes boa capacidade de absorver água (Farinelli e Lemos, 2010; Flôres et al., 2017). O TMH em torno de 12 horas é considerado adequado, visto que os consumidores deixam os grãos de feijão em embebição na noite anterior ao cozimento (Farinelli e Lemos, 2010.)

Diante do exposto, há a necessidade pesquisas que busquem compreender melhor as relações entre os atributos qualitativos, e a influência da adubação nitrogenada em cobertura nessas características dos grãos.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no ano agrícola 2016/17 na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE) da Universidade Estadual Paulista – UNESP, no município de Jaboticabal – SP, Brasil, com altitude média de 572 metros (21° 14' 59" S; 48° 17' 16" W), em solo classificado como Latossolo Vermelho eutroférico, textura argilosa, e de relevo suave ondulado com declividade de 6%. Segundo classificação de Köppen, o clima dessa região é Aw, tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno.

A área experimental se encontrava no primeiro ano do sistema de plantio direto (SPD). Para implantação do SPD, foi efetuada a escarificação do solo em 02/12/2016, seguida pela aplicação de uma tonelada de calcário por hectare com base em análise de solo prévia, com posterior incorporação por aração e duas gradagens niveladoras. O milho ADR-300 (*Pennisetum americanum* L.) foi semeado em 12/12/2016 na densidade de 14 kg ha<sup>-1</sup> com espaçamento de 0,45 m entrelinhas com o objetivo de formar palha. Essa cultura foi dessecada aos 60 dias após a emergência das plântulas, utilizando-se de glifosato potássico na dose de 1,3 g ha<sup>-1</sup> do ingrediente ativo. Em seguida, o milho foi triturado, e 15 dias após a trituração foi determinada a quantidade e o acúmulo de nitrogênio (N) da palhada. O milho proporcionou 5,1 t ha<sup>-1</sup> de palhada com 33 kg ha<sup>-1</sup> de N acumulados nesse material vegetal.

Os atributos químicos de fertilidade do solo e a granulometria foram determinados na camada de 0 a 0,20 m de profundidade, após 15 dias da trituração do milho e previamente à semeadura do feijoeiro. Os resultados da análise química foram: pH (CaCl<sub>2</sub>) 6,0; MO = 29 g dm<sup>-3</sup>; P (resina) = 50 mg dm<sup>-3</sup>; K = 6,4 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Ca = 33 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg = 14 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; H+Al = 16 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; CTC = 70 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; V = 77%; S = 8 mg dm<sup>-3</sup>; B = 0,32 mg dm<sup>-3</sup>; Cu = 1,1 mg dm<sup>-3</sup>; Fe = 14 mg dm<sup>-3</sup>; Mn = 20,1 mg dm<sup>-3</sup> e Zn = 4,0 mg dm<sup>-3</sup>. Os resultados da análise granulométrica foram: argila = 540 g kg<sup>-1</sup>; silte = 230 g kg<sup>-1</sup> e areia = 230 g kg<sup>-1</sup>.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados em parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas foram constituídas por 16 cultivares de feijoeiro comum com grão comercial tipo carioca (Tabela 2). As subparcelas foram

compostas por duas doses de nitrogênio em cobertura: 20 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de N, aplicadas no estágio fenológico V<sub>4</sub> (presença da terceira folha trifoliada). Cada subparcela foi formada por cinco linhas de feijoeiro com cinco metros de comprimento, sendo consideradas úteis as três linhas centrais, desprezando-se 0,5 m de cada extremidade.

**Tabela 2.** Características agronômicas das cultivares de feijoeiro comum utilizadas no experimento. Jaboticabal (SP), 2017.<sup>(1)</sup>

Cultivares	Ciclo <sup>(2)</sup>	Hábito de crescimento	Tipo <sup>(3)</sup>	Porte
ANFc 9	N	Indeterminado	II	Semi-ereto
BRSMG Uai	N	Indeterminado	II	Ereto
BRS Estilo	N	Indeterminado	II	Ereto
BRSMG Madrepérola	SP	Indeterminado	III	Prostado
Pérola	N	Indeterminado	III	Semi-prostado
BRS FC402	N	Indeterminado	II	Semi-ereto
IAC Alvorada	N	Indeterminado	III	Semi-ereto
IAC Milênio	N	Indeterminado	III	Semi-ereto
IAC Sintonia	SP	Indeterminado	II	Semi-ereto
IPR Andorinha	P	Determinado	I	Ereto
IPR Campos Gerais	N	Indeterminado	II	Ereto
IPR Curió	P	Determinado	I	Ereto
IPR Celeiro	N	Indeterminado	II	Ereto
IPR Maracanã	SP	Indeterminado	II	Semi-ereto
TAA Dama	N	Indeterminado	III	Prostado
TAA Bola Cheia	N	Indeterminado	III	Prostado

<sup>(1)</sup> MAPA (2019); <sup>(2)</sup> P: precoce, menor que 75 DAE; SP: semi-precoce, entre 75 e 85 DAE, N: normal, entre 85 e 90 DAE; T: tardio, maior que 90 DAE; <sup>(3)</sup> tipo I: haste principal e ramos laterais terminam com inflorescência; tipo II: haste principal com poucos ramos laterais, guias curtas ou longas e crescimento vertical; tipo III: grande número de ramificações, plantas prostadas com guias longas.

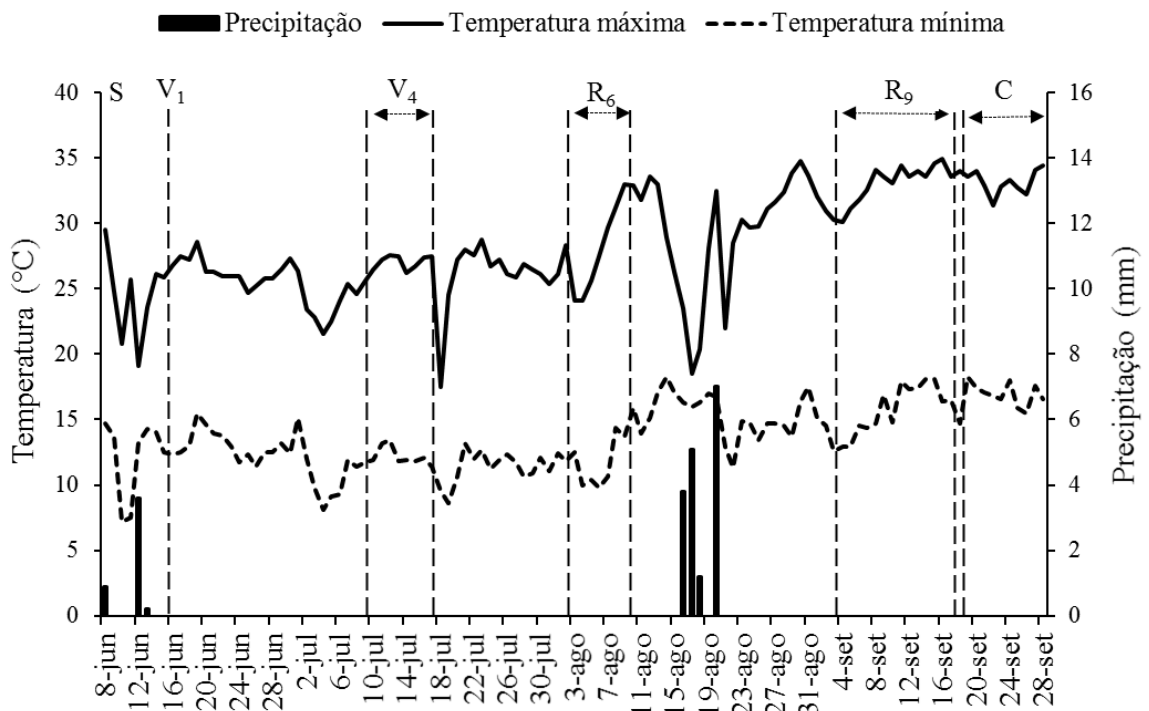
A semeadura das cultivares de feijão foi realizada manualmente sob a palhada do milho em 08/06/2017. Utilizou-se o espaçamento de 0,45 m entrelinhas com 12 sementes por metro. A adubação de semeadura foi realizada utilizando-se de 210 kg ha<sup>-1</sup> do formulado 04-20-20 (5,1% Ca, 4% S, 0,05% B, 0,06% Mn e 0,27% Zn), correspondente as doses de 8,4, 42 e 42 kg ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, respectivamente. As doses de N em cobertura foram aplicadas no estágio fenológico V<sub>4</sub>, em filete contínuo a 0,10 m da linha de plantas, utilizando-se como fonte ureia revestida com polímeros Kimcoat® (45% de N), seguida de irrigação com lâmina de 20 mm para incorporação.

O controle de plantas invasoras foi realizado com a aplicação de herbicida

bentazona + imazamoxi (628 g ha<sup>-1</sup> de i.a.) aos 17 dias após a emergência (DAE) das plântulas de feijoeiro, no estágio fenológico V<sub>3</sub>. O controle de insetos-praga e doenças ao ciclo do feijoeiro foi efetuado com as seguintes pulverizações: tiametoxam (250 g ha<sup>-1</sup> de i.a.) aos 17 DAE; piraclostrobina (75 g ha<sup>-1</sup> de i.a.) + metconazol (40 g ha<sup>-1</sup> de i.a.) e clorpirifós (600 g ha<sup>-1</sup> de i.a.) aos 31 DAE; cyantraniliprole (55 g ha<sup>-1</sup> de i.a.) e tiametoxam (250 g ha<sup>-1</sup> de i.a.) aos 40 DAE; piriproxifem (25 g ha<sup>-1</sup> de i.a.) + acetamiprido (60 g ha<sup>-1</sup> de i.a.), e piraclostrobina (75 g ha<sup>-1</sup> de i.a.) + metconazol (40 g ha<sup>-1</sup> de i.a.) aos 47 DAE; piraclostrobina (75 g ha<sup>-1</sup> de i.a.) e lambda-cialotrina (21 g ha<sup>-1</sup> de i.a.) + tiametoxam (28 g ha<sup>-1</sup> de i.a.) aos 68 DAE; piraclostrobina (75 g ha<sup>-1</sup> de i.a.) + metconazol (40 g ha<sup>-1</sup> de i.a.), e lambda-cialotrina (32 g ha<sup>-1</sup> de i.a.) + tiametoxam (42 g ha<sup>-1</sup> de i.a.) e teflubenzeron (30 g ha<sup>-1</sup> de i.a.) aos 81 DAE.

A irrigação utilizada foi do tipo aspersão convencional com turno variável de acordo com a necessidade da cultura. A lâmina d'água acumulada foi de 480, 538, 552 e 580 mm em função do menor para o maior ciclo da cultura. As cultivares atingiram R<sub>9</sub> (maturidade fisiológica) com 79 (BRSMG Madrepérola, IPR Andorinha e IPR Curió), 89 (ANFc 9; IAC Sintonia, IPR Campos Gerais e IPR Celeiro), 91 (IAC Alvorada, IAC Milênio, IPR Maracanã e TAA Bola Cheia), e 94 dias após a emergência de plântulas (BRSMG Uai, BRS Estilo, Pérola, BRS FC402 e TAA Dama). A precipitação e as temperatura máximas e mínimas foram mensuradas no experimento (Figura 2).

No florescimento pleno do feijoeiro (R<sub>6</sub>), foi determinada a população de plantas, por meio da contagem das plantas em duas fileiras de cinco metros. Nesse momento, cinco plantas consecutivas de feijão foram coletadas por subparcela, excetuando-se as raízes. A parte aérea das plantas foi lavada com água destilada, seca em estufa de ventilação forçada de ar a 65°C, por 72 h, e, em seguida, foram feitas as pesagens. Com base na população de plantas, os dados foram transformados para kg ha<sup>-1</sup> de massa seca. Posteriormente, o material foi moído, e submetido à análise química para determinação das concentrações de N por meio de digestão ácida sulfúrica, destilação em meio fortemente alcalino e titulação com solução de ácido sulfúrico. Com esses resultados, foram estimadas as quantidades acumuladas desse nutriente por área.



**Figura 2.** Precipitação pluvial (mm), temperatura média máxima e mínima do ar (°C) de 08 de junho a 28 de setembro de 2017, referente ao período da semeadura a colheita das cultivares de feijoeiro: S = semeadura – 08/06/2017; V<sub>1</sub> = emergência das plântulas – 16/06/2017; V<sub>4</sub> = 10/07/2017 a 18/07/2017; R<sub>6</sub> = florescimento pleno – 03/08/2017 a 10/08/2017; R<sub>9</sub> = maturidade fisiológica – 03/09/2017 a 18/09/2017; C = colheita – 19/09/2017 a 28/09/2017. Fonte: Estação Agroclimatológica, Departamento de Ciências Exatas da FCAV/UNESP – Câmpus de Jaboticabal, SP.

Por ocasião da maturidade fisiológica (R<sub>9</sub>), com a cultura apresentando ainda bastante folhas, foi realizado procedimento similar ao ocorrido em R<sub>6</sub>. No entanto, os grãos foram separados da palha (ramos, folhas e cascas das vagens). Em seguida, as amostras foram lavadas, secas, pesadas, moídas, digeridas e o teor de N determinado. Dessa forma, foram estimados a massa seca e o acúmulo de N por área da palha e dos grãos. O acúmulo de N na parte aérea em R<sub>9</sub> foi dado pela soma do acumulado desse nutriente na palha com o obtido nos grãos. Nesse estágio fenológico, foram também coletadas dez plantas consecutivas para a determinação do número de vagens por planta, número de grãos por vagem e massa de cem grãos. A massa de cem grãos foi padronizada para 0,13 kg kg<sup>-1</sup> em base úmida. A produtividade de grãos foi obtida após arranquio manual e trilha mecanizada das

plantas presentes nas duas linhas centrais de cada subparcela, com determinação do grau de umidade dos grãos, padronizando-se para 0,13 kg kg<sup>-1</sup> em base úmida.

Os índices de eficiência agrônômica (EA), fisiológica (EF), agrofisiológica (EAF), de recuperação (ER) e de utilização (EU) foram calculados seguindo o procedimento descrito por Fageria et al. (2013). As eficiências foram calculadas pelas seguintes equações:

$$EA = (PG_{AD} - PG_{BD}) / (AD - BD), \text{ expressa em kg kg}^{-1}; \quad (1)$$

$$EF = (MS_{AD} - MS_{BD}) / (NPA_{AD} - NPA_{BD}), \text{ expressa em kg kg}^{-1}; \quad (2)$$

$$EAF = (PG_{AD} - PG_{BD}) / (NPA_{AD} - NPA_{BD}), \text{ expressa em kg kg}^{-1}; \quad (3)$$

$$ER = (NPA_{AD} - NPA_{BD}) / (AD - BD), \text{ expressa em } \%; \quad (4)$$

$$EU = EF \times ER, \text{ expressa em kg kg}^{-1}. \quad (5)$$

Em que,

$PG_{AD}$ : produtividade de grãos sob alta dose;  $PG_{BD}$  = produtividade de grãos sob baixa dose;  $MS_{AD}$  = massa seca da parte aérea sob alta dose;  $MS_{BD}$  = massa seca da parte aérea sob baixa dose;  $NPA_{AD}$  = quantidade de N acumulada na parte aérea sob alta dose;  $NPA_{BD}$  = quantidade de N acumulada na parte aérea sob baixa dose;  $AD$  = alta dose de N aplicada;  $BD$  = baixa dose de N aplicada.

A classificação das cultivares quanto a eficiência e responsividade ao N foi feita de acordo com Fageria e Kluthkouscki (1980). Esse procedimento consiste em representar graficamente por meio do plano cartesiano a classificação das cultivares em eficientes, não eficientes, responsivas e não responsivas ao nutriente. No eixo das abscissas (x), encontra-se a produtividade de grãos sob baixa dose de N, e no eixo das ordenadas (y), a eficiência agrônômica. O ponto de origem dos eixos representa a eficiência média (x) e a resposta média das cultivares (y), resultando em quatro quadrantes. No primeiro quadrante (superior direito), são representadas as cultivares eficientes e responsivas, no segundo (superior esquerdo) as não eficientes e responsivas, no terceiro (inferior esquerdo) as não eficientes e não responsivas e, no quarto (inferior direito), as eficientes e não responsivas.

Após a colheita, foram realizadas as avaliações de qualidade dos grãos. Para a determinação do rendimento de peneira (RP), as amostras de grãos foram submetidas à agitação por um minuto usando conjunto de peneiras de crivos oblongos  $P11 = 11/64'' \times 3/4$  (4,37 x 19,05 mm),  $P12 = 12/64'' \times 3/4$  (4,76 x 19,05 mm),  $P13 =$

13/64" x 3/4 (5,16 x 19,05 mm), P14 = 14/64" x 3/4 (5,56 x 19,05 mm), P15 = 15/64" x 3/4 (5,96 x 19,05 mm). O percentual de grãos foi calculado por meio da relação entre o peso dos grãos retidos em cada peneira e o peso total da amostra de cada subparcela. O RP foi dado pelo somatório dos percentuais de grãos retidos nas peneiras maiores ou igual a 12/64" x 3/4 (4,76 x 19,05 mm). Por meio desses resultados, foi calculada a produção relativa de grãos em peneiras (PRGP) conforme adaptação da metodologia de Carbonell et al. (2010), que estabelece pesos para as peneiras. Para o presente estudo, consideraram-se os pesos 1, 4, 6, 10, 10 e 6 para os grãos retidos no coletor ( $P \leq 10$ , ou seja, menor ou igual 10/64" x 3/4), na P11, na P12, na P13, na P14 e na P15, respectivamente. O PRGP foi obtido por meio da seguinte equação:

$$PRGP = \frac{(P \leq 10 \times 1) + (P11 \times 4) + (P12 \times 6) + (P13 \times 10) + (P14 \times 10) + (P15 \times 6)}{P \leq 10 + P11 + P12 + P13 + P14 + P15} \quad (6)$$

O teor de proteína bruta (PROT) ( $\text{g kg}^{-1}$ ) foi determinado pela fórmula  $PROT = N \text{ total} \times 6,25$  (AOAC, 1995), em que o N total representa o respectivo teor total de N nos grãos provenientes de cada subparcela, obtido por meio de digestão ácida sulfúrica, seguida de destilação em meio fortemente alcalino e titulação com solução de ácido sulfúrico. As amostras para a determinação de proteína foram provenientes dos grãos de cinco plantas coletadas em linha, de forma consecutiva, na maturidade fisiológica.

Para as demais avaliações, utilizaram-se os grãos retidos na peneira 13/64" x 3/4 (5,16 x 19,05 mm). A determinação da capacidade de hidratação dos grãos foi feita por meio de uma proveta graduada com capacidade de 500 mL e precisão de 5 mL, e béqueres com capacidade de 250 mL. Em cada béquer foi colocada uma amostra de 50 gramas de grãos previamente escolhidos, adicionando-se 200 mL de água destilada. De duas em duas horas, por 16 horas, foram feitas avaliações do volume de água não absorvido pelos grãos, vertendo-a do béquer para a proveta. Ao final do tempo previsto para a hidratação a água em excesso foi drenada e os grãos pesados. A relação de hidratação (RH) foi determinada pela razão entre a massa final e a massa inicial dos grãos. O estudo de regressão polinomial entre o tempo (horas) e a capacidade de hidratação (mL) foi realizado, visando determinar o tempo necessário para a máxima hidratação (TMH) dos grãos de feijão. Durante a condução

do teste a temperatura da água foi de 25 °C. O volume final de água absorvido (VFabs) foi dado pela diferença dos volumes final e inicial aferidos na avaliação de TMH.

Para a determinação do tempo para cozimento (TC) em minutos, os grãos foram submetidos ao cozedor de Mattson, que consta basicamente de 25 estiletes verticais com peso de cada unidade de 90 gramas e ponta de 1 mm de diâmetro. A ponta fica apoiada no grão de feijão durante o cozimento e quando o grão encontrasse cozido a ponta penetra-o deslocando o estilete. O tempo final para cozimento da amostra foi obtido quando 50% + 1, ou seja, 13 estiletes foram deslocados. Para essa determinação os grãos foram hidratados previamente em água destilada durante 12 horas. Durante a condução do teste a temperatura da água foi mantida a 96°C. A escala de Proctor e Watts (1987) foi adotada para verificar o nível de resistência ao cozimento (Tabela 3).

**Tabela 3.** Valores de referência para o tempo para cozimento do feijão.

Tempo para cozimento (minutos)	Nível de resistência ao cozimento
< 16	Muito suscetível
16 - 20	Suscetibilidade média
21 - 28	Resistência normal
29 - 32	Resistência média
33 - 36	Resistente
> 37	Muito resistente

Os dados foram submetidos a análise de variância pelo teste F, e as médias agrupadas pelo teste de Scott-Knott. Quando o valor de F foi significativo para interação dose de N e cultivar, realizou-se o desdobramento. Para os índices de eficiências de uso do N, utilizou-se apenas as cultivares para a realização da análise estatística. O estudo de correlação de Pearson foi realizado entre produtividade de grãos e massa seca da palha com as variáveis número de vagens por planta e de grãos por vagem, massa seca de cem grãos, acúmulo de N na parte aérea em R<sub>6</sub> e R<sub>9</sub> e nos grãos em R<sub>9</sub>. Utilizou-se a análise estatística multivariada por componentes principais (CPs) para a identificação de grupos. Os dados foram normalizados no intervalo de -1 a 1, apresentando média nula e variância unitária. A seleção do número de CPs foi realizada com base no critério de Kaiser, utilizando-se aqueles com autovalores superiores a 1 (Kaiser, 1958). Os programas estatísticos utilizados foram Assistat 7.6 e Statistica 7 para a estatística univariada e multivariada, respectivamente.



## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Produtividade, eficiência de uso e responsividade ao nitrogênio

A massa seca da palha de feijoeiro em R<sub>9</sub> foi significativamente influenciada pelas doses de N e cultivares (Tabela 4). A dose de 120 kg ha<sup>-1</sup> de N promoveu acréscimo médio de 39,5% na produção de palha comparativamente a aplicação de 20 kg ha<sup>-1</sup> desse nutriente. O N está relacionado ao aumento da fotossíntese líquida devido principalmente ao aumento no teor de clorofila e crescimento e duração das folhas, resultando em incrementos na quantidade e tamanho dos órgãos vegetativos e reprodutivos e, conseqüentemente, na massa seca das plantas (Marschner, 2012). Crusciol et al. (2007) e Soratto et al. (2017) verificaram aumentos lineares na massa seca do feijoeiro com o aumento das doses de N em cobertura. Os maiores valores de massa seca foram obtidos, no presente experimento, para as cultivares IPR Maracanã, seguida por BRSMG Madrepérola, Pérola, IAC Milênio e BRSMG Uai.

A produtividade de grãos foi afetada pelas doses de N, cultivares, e a interação destas causas de variação (Tabela 4). Com base na interação, as cultivares podem ser agrupadas em quatro grupos em relação a resposta ao N. O Grupo I corresponde aos genótipos que produzem pouco (menos que 1.960 kg ha<sup>-1</sup>) em baixa dose do nutriente, mas tem a produtividade incrementada significativamente com o aumento da dose de N. Nesse grupo se encontram a IAC Alvorada, IAC Milênio, IPR Curió e TAA Dama. No Grupo II, situam-se as cultivares que produzem bem tanto na menor quanto na maior dose de N, isto é, com produtividades de grãos acima de 1.960 e de 2.500 kg ha<sup>-1</sup> na baixa e alta dose de N, respectivamente. Essas cultivares são BRSMG Uai, Pérola, BRS FC402, IPR Campos Gerais, IPR Maracanã e TAA Bola Cheia. O Grupo III é formado pelos materiais que produzem bem na baixa dose de N (mais que 1.960 kg ha<sup>-1</sup>), mas não tem as produtividades acrescidas significativamente em alto nível do nutriente. As cultivares enquadradas nesse agrupamento são BRS Estilo, BRSMG Madrepérola, IAC Sintonia e IPR Andorinha. No Grupo IV, correspondente as cultivares que apresentam baixa produtividade (menos que 1.960 kg ha<sup>-1</sup>) tanto na menor quanto na maior dose de N, encontram-se as cultivares ANFc 9 e IPR Celeiro.

A produtividade média na dose de 120 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura foi 91 kg ha<sup>-1</sup> acima da média do Estado de São Paulo (2.363 kg ha<sup>-1</sup>) para o feijoeiro de outono-inverno (terceira safra). A aplicação de 20 kg ha<sup>-1</sup> de N foi 347 kg ha<sup>-1</sup> inferior à produtividade média desse Estado (Conab, 2018). Comparando-se o resultado médio obtido dos materiais genéticos do Grupo II (2.949 kg ha<sup>-1</sup>) com a referência estadual, constatou-se aumento de 586 kg ha<sup>-1</sup> na produtividade de grãos. Esses resultados são bastante satisfatórios visto que, para o cultivo de feijoeiro nesse Estado, utiliza-se de alta tecnologia e doses próximas a 100 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura (Ambrosano et al., 1997). Portanto, cultivares pertencentes ao Grupo II devem ser priorizadas devido a maior eficiência e resposta ao N. A identificação de cultivares de feijoeiro quanto a eficiência e responsividade aos nutrientes é de suma importância, pois pode elevar o lucro do produtor rural e beneficiar os programas de melhoramento genético na seleção de genótipos (Fageria et al., 2013; Silva et al., 2016).

As cultivares que mais produziram massa seca da palha se enquadraram em três dos quatro grupos relacionados a maior eficiência de uso e/ou responsividade ao N (Grupo I, II e III). Segundo Fageria e Kluthkouski (1980) cultivares eficientes são aquelas que produzem bem sob baixa dose do nutriente, e responsivas, aquelas que incrementam a produtividade com o aumento da dose do nutriente. Esse efeito se deve ao fato de que plantas maiores e com mais ramificações resultam em maior número de estruturas reprodutivas (Crusciol et al., 2007) e, conseqüentemente, em maiores produtividades. Fageria et al. (2013) verificaram, em condição de casa de vegetação, que a massa seca da palha representou 83% da variabilidade da produção de grãos. Além disso, nesse mesmo estudo foi verificado que o número de vagens por planta é o componente da produção mais correlacionado com a produtividade.

As diferentes respostas ao N pelas cultivares não ocorrem somente devido a produção de massa seca da palha. Outros mecanismos morfológicos, bem como fisiológicos e bioquímicos, também são responsáveis pela diferenciação quanto ao uso do N por genótipos, com efeitos nos componentes de produção e, conseqüentemente, na produtividade (Fageria et al., 2013). O número de vagens por planta foi influenciado significativamente pela dose de N, cultivar e pela interação deles. O número de grãos por vagem foi afetado somente pela cultivar, e a massa de cem grãos, pelos fatores simples dose e cultivar (Tabela 5). A ausência de diferenças

significativas para o N no número de grãos por vagem se deve ao fato de que essa variável possui elevada herdabilidade genética, com pouca influência do ambiente (Nascente et al. 2017). Tais resultados corroboram com Crusciol et al. (2007) e Flôres et al. (2017) que não constataram incrementos no número de grãos por vagem com o fornecimento de N.

**Tabela 4.** Massa seca da palha de feijoeiro na maturidade fisiológica (R<sub>9</sub>) e produtividade de grãos em função das cultivares e das doses de nitrogênio (N) aplicadas em cobertura.

Cultivares	Massa seca da palha em R <sub>9</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )	Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> )	
		N20	N120
ANFc 9	1.626 c	1.783 cA	1.959 eA
BRSMG Uai	1.783 b	2.440 aB	3.172 aA
BRS Estilo	1.427 c	2.152 bA	2.159 dA
BRSMG Madrepérola	2.004 b	1.994 bA	2.116 dA
Pérola	1.816 b	2.682 aA	2.857 aA
BRS FC402	1.372 c	2.163 bB	2.798 bA
IAC Alvorada	1.242 c	1.847 cB	2.360 cA
IAC Milênio	1.795 b	1.598 dB	2.583 bA
IAC Sintonia	1.424 c	2.166 bB	2.452 cA
IPR Andorinha	1.483 c	2.070 bA	2.304 cA
IPR Campos Gerais	1.431 c	2.274 bB	2.978 aA
IPR Curió	1.338 c	1.172 eB	1.498 fA
IPR Celeiro	1.560 c	1.647 dA	1.732 eA
IPR Maracanã	2.399 a	2.187 bB	2.906 aA
TAA Dama	1.341 c	1.568 dB	2.403 cA
TAA Bola Cheia	1.270 c	2.511 aB	2.980 aA
CV% - C	29,39	23,29	
Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )			
N20	1.321 b	2.016 b	
N120	1.843 a	2.454 a	
CV% - N	17,22	7,31	
Teste F			
Cultivar (C)	3,57**	5,06**	
Dose de N (N)	117,68**	229,68**	
C X N	1,60 <sup>NS</sup>	6,81**	

Médias seguidas de letras distintas minúsculas nas colunas, e maiúsculas nas linhas diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. <sup>NS</sup> Não significativo pelo teste F. <sup>\*\*</sup> Significativo pelo teste F ( $p < 0,01$ ). <sup>\*</sup> Significativo pelo teste F ( $p < 0,05$ ).

O número de vagens por planta foi incrementado com a dose de 120 kg ha<sup>-1</sup> de N em comparação a aplicação de 20 kg ha<sup>-1</sup> de N para as cultivares do Grupo I (IAC Alvorada, IAC Milênio, e TAA Dama) e para o Grupo II (BRSMG Uai, Pérola, BRS

FC402, IPR Campos Gerais, IPR Maracanã e TAA Bola Cheia), com exceção para a IPR Curió (Grupo I) que não teve essa variável alterada. Entretanto, a ausência de diferenças significativas na dose de 20 kg ha<sup>-1</sup> de N, em função das cultivares, conjuntamente com os efeitos somente dos fatores simples para os demais componentes da produção, dificultam o entendimento da baixa e alta eficiência por esses genótipos. Para o Grupo III, a BRS Estilo e BRSMG Madrepérola não tiveram os números de vagens por planta modificados com o aumento da dose de N, enquanto a IAC Sintonia e a IPR Andorinha tiveram aumentos em 4,2 e 3,6 vagens por planta, respectivamente. No grupo IV, a ANFc9 não teve alteração significativa para essa variável, porém se enquadrou entre as cultivares com menor número de vagens por planta na dose mais alta com 7,7. Por outro lado, a IPR Celeiro, também do Grupo IV, teve seu número de vagens por planta acrescido significativamente com o aumento da dose de N.

Para o número de grãos por vagem, as cultivares foram separadas em quatro grupos pelo teste estatístico, caracterizando-os como superior, intermediário superior, intermediário inferior e inferior. As cultivares BRSMG Uai, BRSMG Madrepérola, IPR Campos Gerais, IPR Maracanã e TAA Bola Cheia foram classificadas como superiores. Como intermediárias superiores, enquadraram-se BRS Estilo, Pérola, BRS FC402, IAC Sintonia, IPR Andorinha e TAA Dama. A ANFc 9, IAC Alvorada e IPR Celeiro foram consideradas intermediárias inferiores. Como inferiores, foram identificadas IAC Milênio e IPR Curió. Salienta-se que as cultivares do Grupo II apresentaram os maiores números de grãos por vagens.

A massa de cem grãos também foi classificada na mesma quantidade de grupos em relação à produtividade de grãos. O grupo superior foi constituído pelas cultivares IAC Alvorada e IAC Milênio; o intermediário superior, por Pérola e TAA Bola Cheia; o intermediário inferior, pela ANFc 9, BRSMG Uai, BRS Estilo, IAC Sintonia, IPR Andorinha, IPR Maracanã e TAA Dama; e o inferior, por BRS FC402, IPR Campos Gerais, IPR Curió e IPR Celeiro. Por essa classificação, as cultivares do Grupo II, com exceção da Pérola e TAA Bola Cheia, se enquadraram nos grupos intermediários e inferior para a massa de cem grãos. Para o efeito da dose de N, verificou-se que a aplicação de 120 kg ha<sup>-1</sup> de N promoveu incremento médio de um grama na massa de cem grãos. Esse nutriente após ser absorvido se associa a compostos orgânicos,

dando origem as proteínas que conferem aumento de massa aos grãos (Perez et al., 2013; Amaral et al., 2016).

**Tabela 5.** Número de vagens por planta, número de grãos por vagem, massa de cem grãos do feijoeiro em função das cultivares e das doses de nitrogênio (N) aplicadas em cobertura.

Cultivares	Vagens por planta		Grãos por vagem	Massa de cem grãos (g)
	N20	N120		
ANFc 9	6,4 aA	7,7 bA	3,5 c	26,18 c
BRSMG Uai	8,2 aB	10,9 aA	4,4 a	25,66 c
BRS Estilo	7,5 aA	7,8 bA	4,0 b	26,54 c
BRSMG Madrepérola	6,4 aA	7,8 bA	4,5 a	25,48 c
Pérola	6,1 aB	10,0 aA	3,9 b	28,40 b
BRS FC402	5,4 aB	10,8 aA	4,0 b	24,57 d
IAC Alvorada	6,1 aB	9,9 aA	3,6 c	29,29 a
IAC Milênio	8,0 aB	10,5 aA	3,2 d	29,53 a
IAC Sintonia	5,7 aB	9,9 aA	3,9 b	26,13 c
IPR Andorinha	7,0 aA	8,5 bA	3,8 b	26,72 c
IPR Campos Gerais	6,2 aB	8,4 bA	4,2 a	24,04 d
IPR Curió	6,6 aA	6,4 bA	3,1 d	23,87 d
IPR Celeiro	6,0 aB	9,6 aA	3,7 c	23,70 d
IPR Maracanã	7,2 aB	10,8 aA	4,3 a	25,21 c
TAA Dama	5,6 aB	8,8 bA	3,9 b	25,76 c
TAA Bola Cheia	5,5 aB	8,2 bA	4,2 a	27,37 b
CV% - C	22,03		10,12	6,25
Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )				
N20	6,5 b		3,8 a	25,65 b
N120	9,1 a		3,9 a	26,65 a
CV% - N	18,61		9,55	5,36
Teste F				
Cultivar (C)	2,05*		8,35**	9,61**
Dose de N (N)	105,03**		2,17 <sup>NS</sup>	16,25**
C X N	2,12*		0,72 <sup>NS</sup>	1,58 <sup>NS</sup>

Médias seguidas de letras distintas minúsculas nas colunas, e maiúsculas nas linhas diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. <sup>NS</sup> Não significativo pelo teste F. <sup>\*\*</sup> Significativo pelo teste F ( $p < 0,01$ ). <sup>\*</sup> Significativo pelo teste F ( $p < 0,05$ ).

Os resultados obtidos para massa de cem grãos seguem padrão de resposta inverso aos obtidos para os demais componentes de produção, em que as cultivares mais eficientes e responsivas ao N apresentaram maior número de vagens por planta e grãos por vagem. Tal efeito pode ser explicado pelo mecanismo de ajuste no balanço fonte e dreno para os fotoassimilados (Binotti, 2015), em que o aumento no número de vagens por planta e grãos por vagens (dreno) fazem com que a quantidade de

fotoassimilados distribuídos para cada grão seja menor. Além disso, na fase de enchimento de grãos, os assimilados produzidos em um ramo são distribuídos em sua maior parte dentro do mesmo ramo do feijoeiro (Binotti, 2015). Dessa forma, plantas com elevado número de vagens e grãos por vagem podem ter a massa de cem grãos reduzida. No entanto, a maior quantidade de vagens por planta e de grãos por vagem compensa essa diferença quanto a massa de cem grãos, garantindo maior produtividade de grãos.

O acúmulo de N na parte aérea do feijoeiro em R<sub>9</sub> foi influenciado significativamente pelos fatores simples dose de N e cultivar (Tabela 6). Para essa variável, as cultivares foram divididas em dois grupos pelo teste estatístico. Os maiores valores foram obtidos pelos materiais BRSMG Uai, BRS Estilo, Pérola, IAC Milênio, IPR Maracanã e TAA Dama. Destaca-se que os materiais precoces (IPR Andorinha e IPR Curió) estiveram no grupo inferior para essa variável. O aumento da dose de N também acarretou em incremento médio de 23,5 kg ha<sup>-1</sup> de N na parte aérea do feijoeiro em R<sub>9</sub>. O valor médio de N acumulado para a dose 120 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura, ao final do ciclo do feijoeiro, foi menor que aqueles informados na literatura quando aplicada a dose recomendada, 90 kg ha<sup>-1</sup> desse nutriente (Soratto et al., 2013b). Os mesmos autores verificaram acúmulos em R<sub>9</sub> de 101,2 e 116,8 kg ha<sup>-1</sup> de N para as cultivares Pérola e IAC Alvorada, respectivamente. A menor quantidade de N extraída é explicada pelos diferentes manejos adotados, e pelo reduzido acúmulo ocorrido até R<sub>6</sub>, como consequência das baixas temperaturas no estágio vegetativo (Figura 2). A média de N acumulado com a maior dose, em R<sub>6</sub>, foi abaixo dos 77,8 e 50,7 kg ha<sup>-1</sup> desse nutriente verificados por Flôres et al. (2017) e Perez et al. (2013) para IAC Imperador e Pérola, respectivamente. No entanto, as áreas experimentais desses autores estavam no sistema de plantio direto por mais tempo (4 e 23 anos da implantação); as doses de N na semeadura e pré-semeadura (20 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de N) foram maiores, e realizou-se parcelamento do nutriente em cobertura. Esses fatores contribuem para a menor imobilização, melhor aproveitamento de N e, conseqüentemente, maior extração.

Nesse experimento, foram observados da semeadura até o estágio R<sub>6</sub> 24 dias com temperaturas mínimas do ar abaixo de 12 °C. Nesse mesmo período, constatou-se por três vezes a ocorrência de temperaturas menores que 10 °C. O feijoeiro comum

é uma espécie sensível, sendo seu crescimento vegetativo diminuído por temperaturas inferiores a 12 °C (Crookston et al., 1975), e paralisado por menores que 10 °C (Wutke et al., 2000). Sob frio, tem-se a redução da formação de ramos laterais ou axilares, do índice de área foliar e da taxa fotossintética (Fancelli e Dourado-Neto, 1999) e, conseqüentemente, menores acúmulos. As cultivares precoces foram mais prejudicadas pelos efeitos das baixas temperaturas. Esses materiais, por apresentarem hábito de crescimento determinado (Tipo I), não tiveram novos ramos e folhas emitidos após R<sub>6</sub>, acarretando em pouca massa seca da parte aérea e baixo acúmulo de N ao final do ciclo do feijoeiro. Por outro lado, aquelas cultivares com hábito de crescimento indeterminado (Tipos II e III), que emitem novos ramos e folhas no período reprodutivo, foram capazes de se recuperar. Maiores acúmulos de biomassa têm sido associados a ciclos mais longos do feijoeiro (Araújo e Teixeira, 2008).

O acúmulo de N nos grãos em R<sub>9</sub> foi significativamente influenciado pela dose do nutriente, cultivar, e pela interação deles (Tabela 6). As cultivares aumentaram a exportação de N para os grãos com o incremento da dose, exceto a IPR Campos Gerais, que teve os valores inalterados. Sob a menor dose, os materiais genéticos foram separados em três grupos. Com valores superiores, pode-se mencionar BRS Estilo, Pérola, BRS FC402, IAC Milênio e IPR Maracanã. Os materiais genéticos intermediários para essa variável foram BRSMG Uai, IAC Sintonia, IPR Campos Gerais, TAA Dama e TAA Bola Cheia. Essas cultivares também foram classificadas como Grupo II em função da produtividade (elevada eficiência). As cultivares precoces IPR Andorinha e IPR Curió se enquadraram no grupo com a menor quantidade de N acumulada nos grãos. Na maior dose, as cultivares BRSMG Uai, BRS Estilo, Pérola, BRS FC 402, IPR Maracanã e TAA Dama tiveram as maiores exportações.

Pelo estudo de correlação simples, constatou-se que a massa seca da palha se correlacionou positivamente com a produtividade de grãos (Tabela 7), porém com baixa magnitude. Tal resultado indica que a produtividade de grãos não é função somente da massa seca da palha, o que viabiliza o desenvolvimento de cultivares, pelos programas de melhoramento genético, com elevado potencial produtivo, porém com menor massa seca de palha, como no caso de cultivares precoces. Além disso, essa associação pode ser explicada pela também correlação positiva entre massa

seca da palha em R<sub>9</sub> e número de vagens por planta, grãos por vagem e massa de cem grãos. Dentre os componentes de produção, observou-se, nas condições desse experimento, os maiores coeficientes de correlação e grau de significância da massa seca da palha com o número de vagens por planta e grãos por vagem em comparação com a massa de cem grãos. A produtividade de grãos teve maior associação com o número de vagens por planta, grãos por vagem e massa de cem grãos, respectivamente.

**Tabela 6.** Acúmulo de nitrogênio (N) na parte aérea e nos grãos do feijoeiro na maturidade fisiológica (R<sub>9</sub>), e na parte aérea no florescimento pleno (R<sub>6</sub>) em função das cultivares e das doses de N aplicadas em cobertura.

Cultivares	Acúmulo de N na parte aérea (R <sub>6</sub> ) (kg ha <sup>-1</sup> )	Acúmulo de N na parte aérea (R <sub>9</sub> ) (kg ha <sup>-1</sup> )	Acúmulo de N nos grãos (R <sub>9</sub> ) (kg ha <sup>-1</sup> )	
			N20	N120
ANFc 9	36,8 a	50,7 b	25,3 cB	43,6 dA
BRSMG Uai	25,6 b	68,2 a	38,2 bB	70,1 aA
BRS Estilo	23,6 b	62,3 a	43,8 aB	56,1 bA
BRSMG Madrepérola	22,3 c	58,4 b	25,3 cB	40,4 dA
Pérola	31,3 a	68,9 a	43,8 aB	68,7 aA
BRS FC402	29,1 a	58,4 b	45,6 aB	56,9 bA
IAC Alvorada	22,1 c	50,8 b	30,3 cB	52,4 cA
IAC Milênio	26,5 b	62,7 a	40,4 aB	53,2 cA
IAC Sintonia	31,0 a	54,1 b	34,5 bB	51,9 cA
IPR Andorinha	26,7 b	43,3 b	20,5 cB	35,5 dA
IPR Campos Gerais	27,0 b	52,5 b	34,8 bA	39,8 dA
IPR Curió	16,3 d	43,3 b	16,9 cB	38,3 dA
IPR Celeiro	25,6 b	50,9 b	24,1 cB	41,8 dA
IPR Maracanã	27,1 b	72,7 a	46,5 aB	58,0 bA
TAA Dama	28,0 b	67,5 a	36,5 bB	75,1 aA
TAA Bola Cheia	31,7 a	54,4 b	32,2 bB	49,0 cA
CV% - C	20,46	30,89	34,67	
Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )				
N20	22,2 b	45,7 b	33,7 b	
N120	31,7 a	69,2 a	51,9 a	
CV% - N	19,49	16,57	17,70	
Teste F				
Cultivar (C)	5,85**	2,04*	3,53**	
Dose de N (N)	105,24**	196,32**	186,07**	
C X N	2,03*	1,72 <sup>NS</sup>	2,37*	

Médias seguidas de letras distintas minúsculas nas colunas, e maiúsculas nas linhas diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. <sup>NS</sup> Não significativo pelo teste F. \*\* Significativo pelo teste F (p < 0,01). \* Significativo pelo teste F (p < 0,05).



**Tabela 7.** Coeficientes de correlação (r) da produtividade de grãos e da massa seca da palha na maturidade fisiológica (R<sub>9</sub>) com os números de vagens por planta (VPP) e de grãos por vagem (GPV), massa de cem grãos (MCG), massa seca da palha em R<sub>9</sub> (MSP R<sub>9</sub>), acúmulo de nitrogênio (N) na parte aérea em R<sub>9</sub> (NPA R<sub>9</sub>) e no florescimento - R<sub>6</sub> (NPA R<sub>6</sub>) e acúmulo de N nos grãos em R<sub>9</sub> (NG R<sub>9</sub>) do feijoeiro.

Coeficiente de correlação (r)	VPP	GPV	MCG	MSP R <sub>9</sub>	NPA R <sub>9</sub>	NG R <sub>9</sub>	NPA R <sub>6</sub>
Produtividade de grãos	0,50**	0,50**	0,22*	0,40**	0,54**	0,57**	0,50**
Massa seca da palha (R <sub>9</sub> )	0,57**	0,30**	0,21*	-	0,85**	0,70**	0,29*

\*\* Significativo (p < 0,01). \* Significativo (p < 0,05).

As extrações de N em R<sub>9</sub> e R<sub>6</sub> correlacionaram-se positivamente com a produtividade e massa seca da palha do feijoeiro. Os coeficientes de correlação entre o acúmulo de N em R<sub>9</sub> e a produtividade, e entre essa variável e massa seca da palha foram maiores que os constatados para os componentes de produção, que se explica pelo fato de a produtividade ser função da combinação desses componentes.

Nascente et al. (2016) concluíram que cultivares que absorvem mais N são mais produtivas, e que estresses por esse nutriente afetam a redistribuição do N para as estruturas reprodutivas. Além disso, o grau de associação entre o acúmulo de N na parte aérea em R<sub>6</sub> foi maior para a produtividade do que para a massa seca da palha, porém ambos inferiores aos verificados para R<sub>9</sub>. Os menores coeficientes no florescimento em relação à maturidade podem ser explicados pela grande quantidade de eventos, dependentes dos fatores genético e ambiental, que ocorrem de um estágio fenológico ao outro, acarretando em redução nas correlações. Araújo e Teixeira (2008) não constataram correlações significativas entre acúmulo de N na parte aérea em R<sub>6</sub> com a produção de grãos e palha, no entanto essas variáveis foram associadas (p < 0,05) no estágio fenológico de enchimento de grãos (R<sub>8</sub>). Tais resultados confirmam que o feijoeiro é capaz de ter altas taxas de absorção de N mesmo na fase reprodutiva (Araújo e Teixeira, 2008). Fageria et al. (2013) verificaram que o N acumulado na palha e nos grãos variam em função dos genótipos. Além disso, observou-se que o acúmulo de N em R<sub>9</sub> é a variável estudada mais fortemente associada à produtividade, e com elevada relação com a massa seca da palha. Esses resultados corroboram com Fageria et al. (2013) que, em estudos de regressão, verificaram coeficientes de determinação maiores entre o N acumulado no grão e a produção de grãos (R<sup>2</sup> = 0,91\*\*) do que entre o acúmulo desse nutriente na parte aérea e o rendimento de grãos do feijoeiro (R<sup>2</sup> = 0,41\*\*). O acúmulo de N nos grãos

pode ser uma característica agrônômica interessante para seleção de genótipos eficientes no uso de N, principalmente por ocorrer melhoramento simultâneo para altas produtividade e proteína nos grãos (Fageria et al., 2013).

As eficiências agrônômica (EA), fisiológica (EF), agrofisiológica (EAF), de recuperação (ER) e de utilização (EU) foram significativamente afetadas pelas cultivares (Figura 3). Para todos esses índices, os materiais genéticos foram separados em dois grupos: superior e inferior. As maiores EA foram verificadas para BRSMG Uai, BRS FC402, IAC Alvorada, IAC Milênio, IPR Campos Gerais, IPR Maracanã, TAA Dama e TAA Bola Cheia. Essa eficiência variou entre 0,1 a 9,8 kg de grão produzido por kg de N aplicado via fertilizante, reforçando a importância desse índice para a escolha da cultivar (Fageria et al., 2013) e do manejo da adubação (Amaral et al. 2016). O valor médio para esse índice foi 47% inferior aos 8,2 kg kg<sup>-1</sup> constatados por Fageria et al. (2013). Porém, o experimento desses autores foi conduzido em vasos em casa de vegetação, em que os processos de perda de N e os estresses ambientais são menores.

Entre as cultivares previamente classificadas como responsivas ao N (Grupos I e II) em função da produtividade pelo teste estatístico, apenas a Pérola apresentou baixa EA, indicando forte relação entre produtividade e esse índice. Fageria et al. (2013) constataram que todas as eficiências contribuem com a produção de grãos. No entanto, esses mesmos autores verificaram que os maiores coeficientes de determinação foram entre produção de grãos do feijoeiro e eficiência agrônômica ( $R^2 = 0,57^{**}$ ), seguida pelas eficiências de utilização ( $R^2 = 0,47^{**}$ ), agrofisiológica ( $R^2 = 0,37^{**}$ ), de recuperação ( $R^2 = 0,34^{**}$ ), e eficiência fisiológica ( $R^2 = 0,27^{**}$ ).

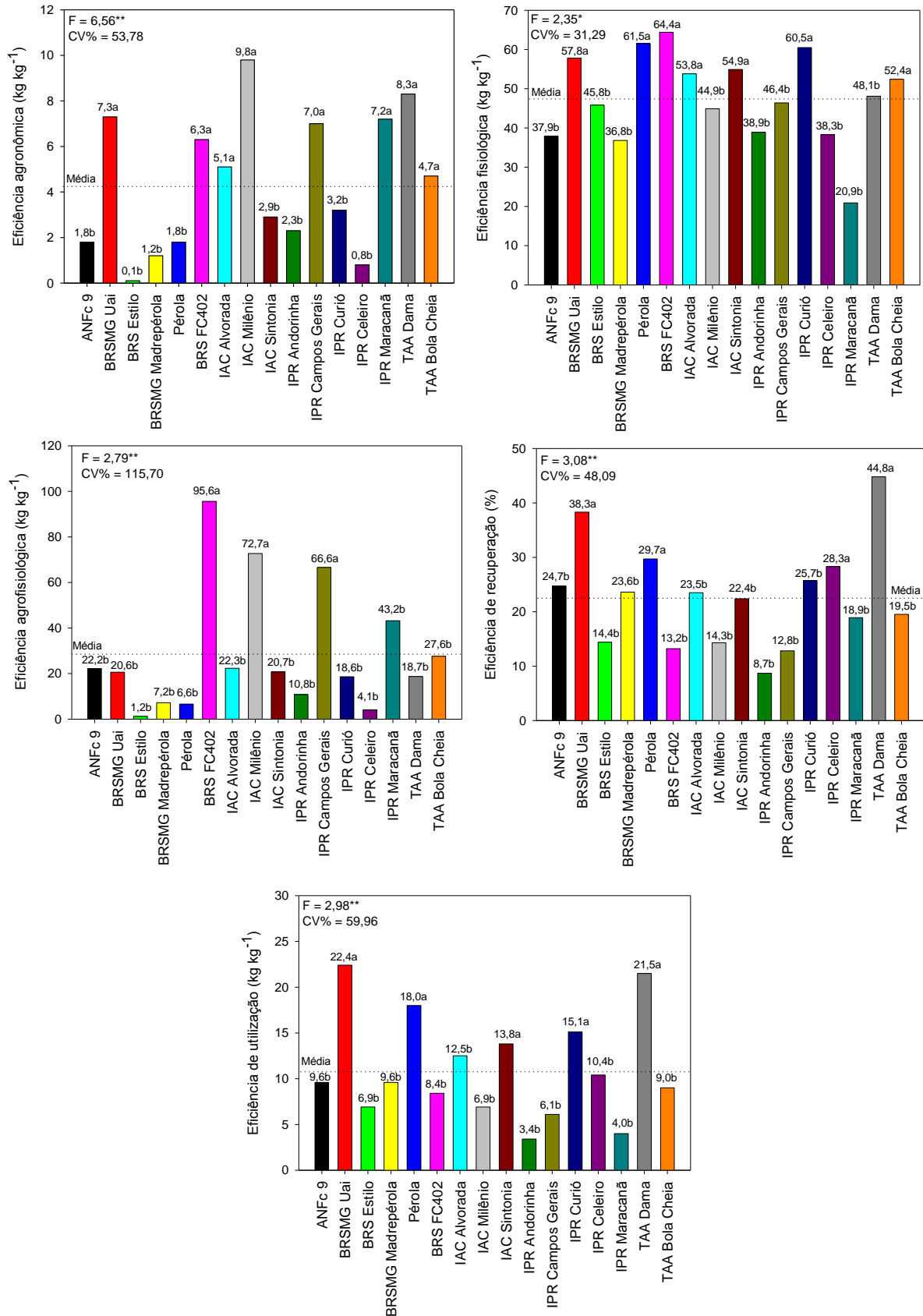
As maiores EF foram verificadas para BRSMG Uai, Pérola, BRS FC402, IAC Alvorada, IAC Sintonia, IPR Curió e TAA Bola Cheia. Os valores variaram entre 20,9 a 64,4 kg de massa seca da parte aérea produzido por kg de nutriente extraído. Esse índice para a IPR Curió foi elevado, mesmo sendo um material precoce cujo acúmulo de N foi bastante afetado pelo frio. No entanto, o cálculo dessa eficiência é dado pela relação entre as diferenças da produção biológica (palha e grãos) e do acúmulo de N na parte aérea sob alta e baixa dose do nutriente. Assim, essa cultivar pode ter tido seu índice incrementado, pois teve aumentada a massa seca da parte aérea em 1.506 kg ha<sup>-1</sup> de 20 para 120 kg ha<sup>-1</sup> de N. Esse ganho é maior que o incremento médio de

1.146 kg ha<sup>-1</sup> do experimento.

Os genótipos superiores para EAF foram BRS FC402, IAC Milênio e IPR Campos Gerais. A variação nesse índice foi de 1,2 a 95,6 kg de grão produzido por kg de N acumulado na parte aérea. Akter et al. (2017) associaram as diferenças nas respostas para essa eficiência às genéticas distintas em relação ao metabolismo do N, a capacidade de distribuição e redistribuição do nutriente absorvido entre os órgãos do vegetal, a eficiência fotossintética e aos fatores ambientais. A EAF é uma característica importante da planta que pode ser utilizada em programas de melhoramento genético (Akter et al., 2017).

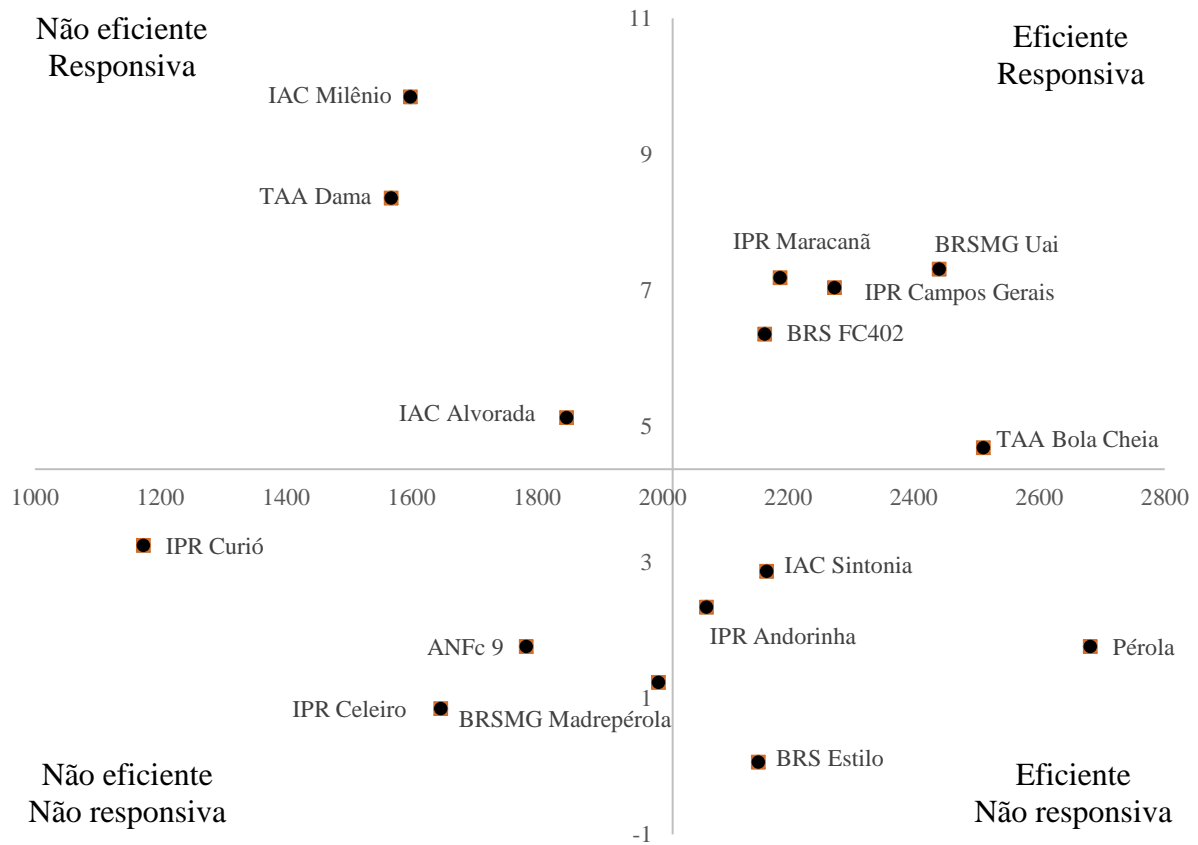
As cultivares com maior ER foram BRSMG Uai, Pérola, IPR Celeiro e TAA Dama. A variação nesse índice foi de 8,7 a 44,8 kg de N acumulado na parte aérea por kg do nutriente aplicado. A IPR Andorinha e IPR Curió se enquadraram no grupo inferior, que pode ser associado a um menor crescimento de raízes, e conseqüentemente, absorção reduzida. Menores massas de raízes têm sido relacionadas a genótipos com hábito de crescimento determinado (Araújo e Teixeira, 2008). A BRSMG Madrepérola e a IPR Maracanã tiveram baixas recuperações do N, podendo também estar relacionadas à semi-precocidade desses genótipos. No entanto, a IPR Maracanã teve ciclo de 91 dias nas condições experimentais. Além disso, esse índice tem interferência da diferenciação da fixação biológica de N (FBN) pelas cultivares. Fageria et al. (2014) verificaram maior FBN para a Pérola em relação a BRS Estilo na média de dois anos agrícolas, que ajuda a elucidar as diferenças entre esses materiais quanto a ER. As maiores EU foram constatadas para BRSMG Uai, Pérola, IAC Sintonia, IPR Curió e TAA Dama. Os valores médios variaram de 4,0 a 22,4 kg de massa seca da parte aérea para cada kg de N aplicado.

As altas produtividades da BRSMG Uai esteve relacionada aos seus elevados valores em quatro das cinco eficiências, sendo elas: EA, EF, ER e EU. Assim, essa cultivar é capaz de recuperar melhor o N aplicado via fertilizante, converter esse nutriente acumulado em folhas, ramos e vagens, e conseqüentemente, produzir mais grãos. A cultivar Pérola, embora tenha apresentado altas EF, ER e EU, teve reduzidos valores relacionados a produção de grãos (EA e EAF). Tais resultados indicam que esse material utiliza o N acumulado mais para o desenvolvimento e crescimento de ramos, folhas e vagens do que para a formação e enchimento dos grãos.



**Figura 3.** Eficiências agrônômica (EA), fisiológica (EF), agrofisiológica (EAF), de recuperação (ER) e de utilização (EU) das cultivares de feijoeiro comum.

O quadro proposto por Fageria e Kluthcouski (1980) permitiu classificar como genótipos eficientes no uso do N, aqueles com produtividades de grãos, sob a menor dose de N, superiores à média nessa condição, e como responsivos ao nutriente, aqueles com eficiência agrônômica acima da média do experimento (Figura 4).



**Figura 4.** Eficiência no uso e resposta à aplicação de nitrogênio (N) em cobertura por cultivares de feijoeiro. No eixo das abscissas (x), encontra-se a produtividade de grãos sob baixa dose de N, e no eixo das ordenadas (y), a eficiência agrônômica. O ponto de origem dos eixos representa a eficiência média e a resposta média das cultivares.

As cultivares eficientes e responsivas foram BRSMG Uai, BRS FC 402, IPR Maracanã, IPR Campos Gerais e TAA Bola Cheia. As eficientes e não responsivas: BRS Estilo, Pérola, IAC Sintonia e IPR Andorinha. Os genótipos não eficientes e responsivos foram IAC Alvorada, IAC Milênio e TAA Dama. Como não eficientes e não responsivos foram identificadas ANFc 9, BRSMG Madrepérola, IPR Curio e IPR Celeiro, representando 25% do grupo genético.

#### 4.2. Qualidade dos grãos de feijão em função do uso de nitrogênio

A porcentagem de grãos retidos nas P11 a P15 foi significativamente

influenciada pelos fatores cultivar e dose de N, exceto para a P12 que não foi afetada pelo incremento do nutriente (Tabela 8). Para P15, houve interação de cultivar e dose. A dose de 20 kg ha<sup>-1</sup> de N proporcionou maiores P11 e P13, enquanto a aplicação de 120 kg ha<sup>-1</sup> de N resultou em maior porcentagem de P14 e P15.

**Tabela 8.** Porcentual de grãos retidos nas peneiras de beneficiamento 11 (P11), 12 (P12), 13 (P13), 14 (P14) e 15 (P15) em função das cultivares e das doses de nitrogênio (N) aplicadas em cobertura.

Cultivares	P11 (%)	P12 (%)	P13 (%)	P14 (%)	P15 (%)	
					N20	N120
ANFc 9	4,2 c	12,6 d	27,7 e	38,9 b	10,0 bB	13,3 bA
BRSMG Uai	3,6 c	15,6 c	47,2 c	25,7 c	3,0 dB	4,8 eA
BRS Estilo	6,0 b	18,1 c	47,6 c	21,0 d	2,3 dA	1,4 fA
BRSMG Madrepérola	6,0 b	23,1 b	58,1 a	8,3 e	0,6 eA	0,9 fA
Pérola	4,8 b	16,3 c	38,1 d	30,4 b	2,3 dB	4,9 eA
BRS FC402	9,1 a	27,8 a	53,8 b	3,9 e	0,2 eA	0,2 fA
IAC Alvorada	4,4 c	14,5 c	29,0 e	33,3 b	15,2 aA	16,5 aA
IAC Milênio	4,9 b	15,6 c	32,9 d	36,1 b	5,5 cB	7,7 dA
IAC Sintonia	6,2 b	19,4 c	51,3 b	17,5 d	1,1 eA	1,3 fA
IPR Andorinha	3,2 c	13,3 d	34,5 d	42,5 a	3,9 dA	4,4 eA
IPR Campos Gerais	5,4 b	18,2 c	42,9 c	25,7 c	1,4 eB	3,0 eA
IPR Curió	9,9 a	29,3 a	44,4 c	9,0 e	0,6 eA	0,9 fA
IPR Celeiro	9,2 a	28,4 a	49,7 b	6,7 e	0,5 eA	1,4 fA
IPR Maracanã	9,0 a	24,2 b	42,9 c	16,9 d	2,9 dA	4,0 eA
TAA Dama	2,8 c	9,8 e	25,5 e	48,4 a	9,2 bA	10,4 cA
TAA Bola Cheia	2,5 c	9,2 e	26,2 e	48,2 a	9,1 bB	11,0 cA
CV% - C	29,01	19,93	14,32	26,36	45,75	
Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )						
N20	6,0 a	18,7 a	42,5 a	24,2 b	4,2 b	
N120	5,4 b	18,2 a	39,0 b	27,4 a	5,4 a	
CV% - N	26,12	18,35	11,76	21,88	22,90	
Teste F						
Cultivar (C)	16,91**	24,39**	25,60**	37,60**	35,83**	
Dose de N (N)	4,27*	0,64 <sup>NS</sup>	17,30**	10,57**	35,30**	
C X N	0,61 <sup>NS</sup>	1,00 <sup>NS</sup>	0,90 <sup>NS</sup>	1,22 <sup>NS</sup>	1,92*	

Médias seguidas de letras distintas minúsculas nas colunas, e maiúsculas nas linhas diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. <sup>NS</sup> Não significativo pelo teste F. <sup>\*\*</sup> Significativo pelo teste F ( $p < 0,01$ ). <sup>\*</sup> Significativo pelo teste F ( $p < 0,05$ ).

Como consequência dos maiores valores de P14, as cultivares com maior RP foram ANFc 9, BRSMG Uai, BRSMG Madrepérola, IAC Alvorada, IAC Milênio, IPR Andorinha, TAA Dama e TAA Bola Cheia (Tabela 9). No entanto, é importante destacar que todas as cultivares tiveram RP maiores que 70%, valor referência pelas

empacotadoras para o pagamento de gratificação ao produtor pelo fato de serem grãos graúdos e de boa aceitação no mercado (Carbonell et al., 2010).

**Tabela 9.** Rendimento de peneira (RP), produção relativa de grãos em peneiras (PRGP), teor de proteína bruta (PROT) e volume final de água absorvida (VFabs) em função das cultivares e das doses de nitrogênio (N) aplicadas em cobertura.

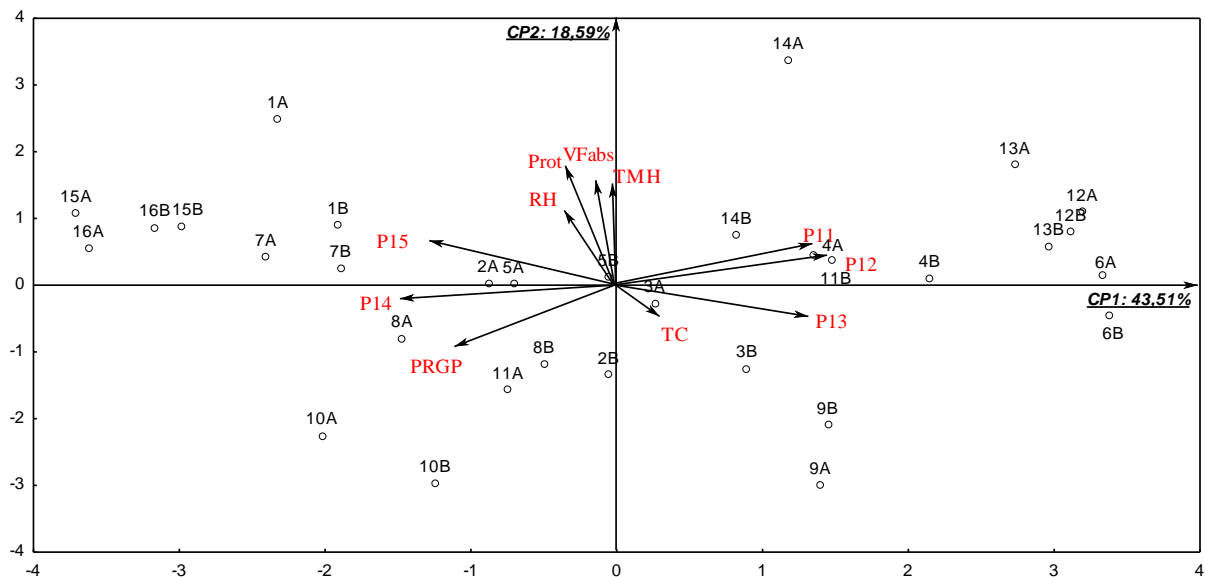
Cultivares	RP (%)	PRGP	PROT (%)	VFabs (mL)	
				N20	N120
ANFc 9	90,9 a	8,3 a	18,2 a	68,7 bA	71,2 bA
BRSMG Uai	92,3 a	8,7 a	16,9 a	72,5 aA	75,0 aA
BRS Estilo	88,5 b	8,4 a	16,4 b	68,7 bA	73,7 aA
BRSMG Madrepérola	90,3 a	8,3 a	18,4 a	67,5 bA	67,5 bA
Pérola	88,4 b	8,3 a	16,8 b	70,0 bA	68,7 bA
BRS FC402	85,6 c	7,9 b	16,3 b	67,5 bA	68,7 bA
IAC Alvorada	92,7 a	8,2 a	17,8 a	67,5 bA	70,0 bA
IAC Milênio	91,1 a	8,5 a	15,9 b	70,0 bA	68,7 bA
IAC Sintonia	89,3 b	8,4 a	14,7 b	70,0 bA	65,0 bA
IPR Andorinha	94,4 a	8,9 a	16,6 b	66,2 bA	66,2 bA
IPR Campos Gerais	89,2 b	8,1 b	15,9 b	75,0 aA	67,5 bB
IPR Curió	83,5 c	7,7 b	17,8 a	73,7 aA	72,5 aA
IPR Celeiro	85,7 c	7,8 b	17,1 a	72,5 aA	73,7 aA
IPR Maracanã	87,5 b	8,5 a	17,3 a	73,7 aB	80,0 aA
TAA Dama	93,5 a	8,7 a	17,9 a	71,2 bA	76,2 aA
TAA Bola Cheia	93,8 a	8,7 a	17,4 a	77,5 aA	75,0 aA
CV% – C	3,65	5,65	9,14	5,00	
Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )					
N20	89,6 a	8,3 a	16,7 b	70,8 a	
N120	90,0 a	8,3 a	17,3 a	71,2 a	
CV% - N	3,37	5,26	8,05	5,26	
Teste F					
Cultivar (C)	7,45**	4,33**	3,13**	6,47**	
Dose de N (N)	0,55 <sup>NS</sup>	0,01 <sup>NS</sup>	5,72*	0,50 <sup>NS</sup>	
C X N	0,89 <sup>NS</sup>	1,1643 <sup>NS</sup>	1,09 <sup>NS</sup>	1,91*	

Médias seguidas de letras distintas minúsculas nas colunas, e maiúsculas nas linhas diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. <sup>NS</sup> Não significativo pelo teste F. <sup>\*\*</sup> Significativo pelo teste F ( $p < 0,01$ ). <sup>\*</sup> Significativo pelo teste F ( $p < 0,05$ ).

Os genótipos com índices superiores para PRGP foram ANFc 9, BRSMG Uai, BRS Estilo, BRSMG Madrepérola, Pérola, IAC Alvorada, IAC Milênio, IAC Sintonia, IPR Andorinha, IPR Maracanã, TAA Dama e TAA Bola Cheia. As médias de PRGP para todos os genótipos foram acima do valor 7, proposto por Carbonell et al. (2010) como grãos de boa aceitação pelo mercado e pelas indústrias empacotadoras. Esses resultados demonstram a preocupação dos programas de melhoramento genético

quanto ao desenvolvimento de cultivares com maiores tamanhos de grãos. O RP e a PRGP não foram afetadas significativamente pelas doses de N (Tabela 9). A ausência de diferença significativa para essas variáveis se deve ao fato de que a aplicação de 20 kg ha<sup>-1</sup> de N proporcionou maiores valores de P13 em comparação a P14. Ambas as peneiras são superiores a P12 e apresentam a mesma nota no cálculo do PRGP.

Por análise multivariada de componentes principais (CPs) (Figura 5), verificou-se que os dois primeiros CPs foram responsáveis por 62,1% da variabilidade total dos dados. As variáveis que mais discriminaram o CP1 foram aquelas relacionadas a distribuição dos grãos em peneiras. Os elevados escores fatoriais da P11 (0,89), P12 (0,96), P13 (0,87), P14 (-0,97), P15 (-0,83) e PRGP (-0,72) com o CP1 permitiram a separação dos genótipos pelo tamanho de grãos. A análise do gráfico biplot permite constatar correlação positiva entre as peneiras menores (P11 a P13), e correlação negativa dessas com as peneiras maiores (P14 e P15). As variáveis mais correlacionadas com o CP2 foram o teor de proteína (0,75), VFabs (0,67) e TMH (0,63).



**Figura 5.** Gráfico biplot dos componentes principais para a distribuição das cultivares de feijoeiro sob doses de nitrogênio em função das variáveis tecnológicas dos grãos. Números indicam cultivares e letras doses de N: 20 (A) e 120 (B) kg ha<sup>-1</sup> de N. 1 – ANFc 9; 2 – BRSMG Uai; 3 – BRS Estilo; 4 – BRSMG Madrepérola; 5 – Pérola; 6 – BRS FC402; 7 – IAC Alvorada; 8 – IAC Milênio; 9 – IAC Sintonia; 10 – IPR Andorinha; 11 – IPR Campos Gerais; 12 – IPR Curió; 13 – IPR Celeiro; 14 – IPR Maracanã; 15 – TAA Dama e 16 – TAA Bola Cheia.



Os teores de proteína bruta foram incrementados com a dose de 120 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura. O N após ser absorvido se associa a compostos orgânicos, dando origem as proteínas que conferem aumento de massa aos grãos (Perez et al., 2013; Amaral et al., 2016), e conseqüentemente, incremento nos tamanhos dessas estruturas. As maiores porcentagens foram verificadas para ANFc 9, BRS MG Uai, BRSMG Madrepérola, IAC Alvorada, IPR Curió, IPR Celeiro, IPR Maracanã, TAA Dama e TAA Bola Cheia. Os valores de proteínas variaram de 14,7 a 18,4% (Tabela 9). Esses valores foram abaixo dos teores médios de 20,2%, 21,6% e 20,3% constatados por Farinelli e Lemos (2010), Mingotte et al. (2013) e Miano et al. (2018), que são explicados devido as maiores doses e ao parcelamento do N em cobertura aplicados nesses trabalhos.

O VFabs foi influenciado significativamente pela interação dose e cultivar. Os genótipos com grãos que mais absorveram água, sob o menor nível de N, foram BRSMG Uai, IPR Campos Gerais, IPR Curió, IPR Celeiro, IPR Maracanã e TAA Bola Cheia. Na condição de maior dose, os maiores volumes absorvidos foram constatados para BRSMG Uai, BRS Estilo, IPR Curió, IPR Celeiro, IPR Maracanã, TAA Dama e TAA Bola Cheia. Com o incremento de N, a IPR Campos Gerais teve sua capacidade de absorver água reduzida em 7,5 mL por 50 gramas de feijão, enquanto a IPR Maracanã, aumentada em 6,7 mL.

O TMH foi afetado significativamente apenas pelas cultivares (Tabela 10). O maior TMH foi obtido para a ANFc 9, necessitando 15 horas e 50 minutos para ter sua máxima hidratação. Os grãos de feijoeiro que hidrataram mais rapidamente foram BRSMG Uai, BRS Estilo, IAC Alvorada, IAC Sintonia, IPR Andorinha e IPR Campos Gerais, variando entre 11 horas e 54 minutos a 12 horas e 18 minutos. Os resultados obtidos para estes materiais, próximos de 12 horas, foram satisfatórios, visto que os consumidores geralmente submetem os grãos de feijão à embebição na noite anterior ao cozimento (Farinelli e Lemos, 2010; Mingotte et al., 2013).

As RH foram superiores para a ANFc 9, BRSMG Uai, BRS Estilo, BRSMG Madrepérola, Pérola, IAC Alvorada, IPR Campos Gerais, IPR Celeiro, IPR Maracanã, TAA Dama e TAA Bola Cheia (Tabela 10). Embora as diferenças tenham sido significativas entre as cultivares, é importante destacar que todos os valores foram próximos de dois, indicando boa capacidade dos grãos em absorver água. Esses

resultados corroboram com Farinelli e Lemos (2010), Mingotte et al. (2013) e Flores et al. (2017) que verificaram que os grãos de feijão foram capazes de absorver em massa de água aproximadamente o equivalente as suas massas iniciais. O incremento de N via adubação de cobertura não promoveu aumentos na RH. Embora a maior dose de N tenha aumentado o teor de proteína nos grãos, a diferença entre os manejos de adubação foi mínima (0,6%). Dessa forma, mesmo a proteína sendo hidrofílica (Farinelli e Lemos, 2010), ou seja, com grande capacidade de absorção de água, essa diferença não foi suficiente para o incremento do TMH e do RH sob alta dose de N. Além disso, as diferentes proteínas presentes no grão de feijão se diferenciam quanto a hidrofiliidade, variando em função do genótipo (Oliveira et al., 2017). Miano et al. (2018) citam que a cinética de hidratação dos grãos do feijoeiro também é dependente de outros fatores genéticos, tais como teor de gordura, amido, superfície específica e aspectos morfológicos do grão.

O TC foi influenciado significativamente pela cultivar e pela interação cultivar e dose (Tabela 10). Os menores TC foram obtidos com o uso de 20 kg ha<sup>-1</sup> de N, para BRS Estilo, IPR Campos Gerais, IPR Maracanã, TAA Dama e TAA Bola Cheia. Na condição da aplicação de 120 kg ha<sup>-1</sup> de N, as cultivares que tiveram seus grãos cozidos mais rapidamente foram IPR Campos Gerais e IPR Maracanã, seguidas por IAC Alvorada, IAC Milênio, IPR Andorinha, IPR Celeiro, TAA Dama e TAA Bola Cheia. Os genótipos ANFc 9, BRSMG Uai, BRS Estilo e IPR Curió tiveram seus TC aumentados significativamente com o incremento da dose de N.

De acordo com a escala proposta por Proctor e Watts (1987), as cultivares ANFc 9, BRSMG Uai, BRSMG Madrepérola, Pérola, BRS FC402, IAC Milênio, IAC Sintonia e IPR Andorinha foram classificados como de resistência normal dos grãos ao cozimento (21 a 28 minutos). As cultivares IAC Alvorada, IPR Campos Gerais, IPR Maracanã, TAA Dama e TAA Bola Cheia são agrupadas nos materiais de grãos com suscetibilidade média ao cozimento (16 a 20 minutos). Destaca-se que BRS Estilo e IPR Curió tiveram sua classificação modificada de suscetibilidade média a resistência normal com o aumento da dose de N. Por outro lado, a IPR Celeiro foi da resistência normal a suscetibilidade média com o incremento do nutriente em cobertura, embora não tenha sido constatada diferença significativa entre as doses para TC (Tabela 10).

**Tabela 10.** Tempo para máxima hidratação (TMH), relação de hidratação (RH), tempo de cozimento (TC) e resistência ao cozimento (RC) dos grãos de feijão em função das cultivares e das doses de N aplicadas em cobertura.

Cultivares	TMH (hh:mm)	RH	TC (mm:ss)		RC <sup>(1,2)</sup>	
			N20	N120	N20	N120
ANFc 9	15:50 a	2,00 a	21:56 aB	24:32 aA	RN	RN
BRSMG Uai	11:54 c	2,03 a	23:37 aB	26:45 aA	RN	RN
BRS Estilo	11:55 c	2,01 a	17:47 bB	22:12 bA	SM	RN
BRSMG Madrepérola	13:16 b	2,02 a	21:09 aA	21:11 bA	RN	RN
Pérola	13:45 b	2,02 a	21:36 aA	21:45 bA	RN	RN
BRS FC402	13:40 b	1,98 b	21:37 aA	22:27 bA	RN	RN
IAC Alvorada	11:48 c	2,02 a	19:50 aA	19:07 cA	SM	SM
IAC Milênio	13:07 b	1,98 b	21:21 aA	20:26 cA	RN	RN
IAC Sintonia	12:01 c	1,97 b	21:53 aA	21:16 bA	RN	RN
IPR Andorinha	11:58 c	1,93 c	20:10 aA	20:22 cA	RN	RN
IPR Campos Gerais	12:18 c	2,00 a	17:16 bA	16:32 dA	SM	SM
IPR Curió	13:11 b	1,95 c	19:54 aB	23:17 bA	SM	RN
IPR Celeiro	13:02 b	2,01 a	21:06 aA	19:07 cA	RN	SM
IPR Maracanã	14:06 b	2,03 a	18:22 bA	16:57 dA	SM	SM
TAA Dama	13:23 b	2,02 a	17:58 bA	18:29 cA	SM	SM
TAA Bola Cheia	12:56 b	2,01 a	17:52 bA	18:29 cA	SM	SM
CV% – C	9,17	0,96	8,26		-	
Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )						
N20	13:00 a	1,99 a	20:48 a		SM	
N120	13:01 a	2,00 a	20:13 a		SM	
CV% - N	5,39	0,86	8,18		-	
Teste F						
Cultivar (C)	6,29**	18,72**	12,83**		-	
Dose de N (N)	0,08 <sup>NS</sup>	2,46 <sup>NS</sup>	4,00 <sup>NS</sup>		-	
C X N	0,81 <sup>NS</sup>	1,28 <sup>NS</sup>	2,43*		-	

Médias seguidas de letras distintas minúsculas nas colunas, e maiúsculas nas linhas diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. <sup>NS</sup> Não significativo pelo teste F. <sup>\*\*</sup> Significativo pelo teste F ( $p < 0,01$ ). <sup>\*</sup> Significativo pelo teste F ( $p < 0,05$ ). <sup>(1)</sup> RN: resistência normal ao cozimento; <sup>(2)</sup> SM: suscetibilidade média ao cozimento.

Pelo CP2, observou-se correlação direta entre o teor de proteína bruta nos grãos, TMH, VFabs e RH (0,48), embora para esse último o escore seja menor que 0,60. Além disso, verifica-se que o TC apresenta correlação inversa com as variáveis acima. No entanto, essa relação não é tão pronunciada, uma vez que o escore do TC com o CP2 é baixo (-0,20). Pereira et al. (2017) e Mingotte et al. (2013) não verificaram correlações significativas entre o TC e o teor de proteína para o conjunto de genótipos estudados. Farinelli e Lemos (2010) constataram diminuição no TC em função do aumento do teor de proteína no sistema de plantio direto. Esses resultados sugerem

que o tempo de cozimento não é influenciado somente pelo teor de proteína, existindo a interferência de outros fatores dependentes dos genótipos. Esse fato dificulta a utilização do teor de proteína para a seleção indireta de cultivares com menor tempo de cozimento. O teor de sólidos solúveis totais, a capacidade de absorção de água pelos grãos (Perina et al., 2014), o teor de ferro dos grãos (Ribeiro et al., 2013) e a adubação nitrogenada (Farinelli e Lemos, 2010; Soratto et al., 2011) também afetam o TC.

## **5. CONCLUSÕES**

A produtividade de grãos de feijoeiro comum é dependente da interação cultivar e dose de nitrogênio. As cultivares mais produtivas com a aplicação da dose de 120 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura são BRSMG Uai, Pérola, IPR Campos Gerais, IPR Maracanã e TAA Bola Cheia.

A cultivar BRSMG Uai destaca-se pelas maiores eficiências agrônômica (EA), fisiológica (EF), de recuperação (ER) e de utilização (EU) de N.

Os genótipos BRSMG Uai, BRS FC402, IPR Campos Gerais, IPR Maracanã e TAA Bola Cheia são eficientes e responsivos a aplicação de N em cobertura. As cultivares eficientes e não responsivas foram BRS Estilo, Pérola, IAC Sintonia e IPR Andorinha. Os materiais genéticos não eficientes e responsivos foram IAC Alvorada, IAC Milênio e TAA Dama. Como não eficientes e não responsivas foram identificadas ANFc 9, BRSMG Madrepérola, IPR Curió e IPR Celeiro.

Os atributos qualitativos dos grãos de feijoeiro comum são mais influenciados pela cultivar utilizada do que pelas doses de nitrogênio em cobertura. As cultivares BRSMG Uai, IAC Alvorada, TAA Dama e TAA Bola Cheia têm as melhores características de qualidade dos grãos.

## **6. REFERÊNCIAS**

Akter Z, Lupwayi NZ, Balasubramanian PM (2017). Nitrogen use efficiency of irrigated dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes in southern Alberta. **Canadian Journal of Plant Science** 97:610-619. <https://dx.doi.org/10.1139/cjps-2016-0254>

Amaral CB, Pinto CC, Flôres JA, Mingotte FLC, Lemos LB, Fornasieri Filho D (2016). Produtividade e qualidade do feijoeiro cultivado sobre palhadas de gramíneas e adubado com nitrogênio em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 51:1602-1609. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2016000900060>

Ambrosano EJ, Wutke EB, Bulisani EA, Cantarella H (1997). Feijão. In: Raij B Van, Cantarella H, Quaggio JA, Furlani AMC (Eds) **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), p. 194-195.

Araújo AP, Teixeira MG 2008. Relationships between grain yield and accumulation of biomass, nitrogen and phosphorus in common bean cultivars. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 32:1977-1986. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000500019>

Associação Nacional para Difusão de Adubos - ANDA (2005). **Anuário estatístico do setor de fertilizantes 2005**. São Paulo, 162p.

Associação Nacional para Difusão de Adubos - ANDA (2008). **Anuário estatístico do setor de fertilizantes 2008**. São Paulo, 160p.

Associação Nacional para Difusão de Adubos - ANDA (2011). **Anuário estatístico do setor de fertilizantes 2011**. São Paulo, 178p.

Associação Nacional para Difusão de Adubos - ANDA (2014). **Anuário estatístico do setor de fertilizantes 2014**. São Paulo, 176p.

Associação Nacional para Difusão de Adubos - ANDA (2017). **Anuário estatístico do setor de fertilizantes 2017**. São Paulo, 176p.

Association of Official Analytical Chemists – AOAC (1995) - **Official methods of analysis**. 16.ed. Washington: AOAC, 200p.

Binotti FFS (2015). Descrição e fisiologia da planta. In: Arf O, Lemos LB, Soratto RS, Ferrari S (Eds). **Aspectos gerais da cultura do feijão *Phaseolus vulgaris***. Botucatu: FEPAF, p. 29-38.

Carbonell SAM, Chiorato AF, Gonçalves JGR, Perina EF, Carvalho CRL (2010). Tamanho de grão comercial em cultivares de feijoeiro. **Ciência Rural** 40:2067-2073. <https://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782010005000159>

Carmeis Filho ACA, Cunha TPL, Mingotte FLC, Amaral CB, Lemos LB, Fornasieri Filho D (2014). Adubação nitrogenada no feijoeiro após palhada de milho e braquiária no plantio direto. **Revista Caatinga** 27:66-75.

Companhia Nacional de Abastecimento – Conab (2018). **Portal de Informações Agropecuárias, Observatório Agrícola, Grãos – Série histórica** [internet]. Brasília, DF: Conab, 2018. Disponível em: <<https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/index.php/safra-serie-historica-dashboard>>. Acesso em 07 jan. 2019.

Crookston RK, Treharne KJ, Ludfor P, Ozbun JL (1975). Response of beans of shading. **Crop Science** 15:412-416.

Crusciol CAC, Soratto RP, Silva LM, Lemos LB (2007). Fontes e doses de nitrogênio para o feijoeiro em sucessão a gramíneas no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 31:1545-1552. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832007000600031>

Doorenbos J, Kassan AH (Eds) (1979) **Yield response to water**. Roma: FAO, 193p.

Fageria NK, Ferreira EPB, Melo LC, Knupp AM (2014). Genotypic Differences in dry bean yield and yield components as influenced by nitrogen fertilization and rhizobia. **Communications in Soil Science and Plant Analysis** 45:1583-1604. <http://dx.doi.org/10.1080/00103624.2013.875204>

Fageria NK, Kluthcouski J (1980). **Metodologia para avaliação de cultivares de arroz e feijão para condições adversas de solo**. Brasília: Embrapa-CNPAP, 22p.

Fageria NK, Melo LC, Oliveira J (2013). Nitrogen use efficiency in dry bean genotypes. **Journal of Plant Nutrition** 36:2179-2190. <https://dx.doi.org/10.1080/01904167.2013.836225>

Fageria NK, Stone LF, Santos AB, Carvalho MCS (2015). Nutrição mineral do feijoeiro. In: \_\_\_\_\_. **Nitrogênio**. Brasília: EMBRAPA, p. 95-151.

Fancelli AL, Dourado-Neto D (1999). Estresses de água e temperatura na cultura de feijão. In: Fancelli AL, Dourado-Neto D (Eds). **Feijão irrigado: estratégias básicas de manejo**. Piracicaba: ESALQ-USP, p. 155-169.

Farinelli R, Lemos LB (2010). Produtividade, eficiência agronômica, características nutricionais e tecnológicas do feijão adubado com nitrogênio em plantio direto e convencional. **Bragantia** 69:165-172. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052010000100021>

Flôres JA, Amaral CA, Pinto CC, Mingotte FLC, Lemos LB (2017). Agronomic and qualitative traits of common bean as a function of the straw and nitrogen fertilization. **Pesquisa Agropecuária Tropical** 47: 195-201. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-40632016v4743979>

Gourley CJP, Allan DL, Russelle MP (1994). Plant nutrient efficiency: a comparison of definitions and suggested improvement. **Plant and Soil** 158:29-37. <https://dx.doi.org/10.1007/BF00007914>

Isfan D (1993). Genotypic variability for physiological efficiency index of nitrogen in oats. **Plant and Soil** 1:53-59. [https://dx.doi.org/10.1007/978-94-017-2496-8\\_31](https://dx.doi.org/10.1007/978-94-017-2496-8_31)

Kaiser HF (1958). The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. **Psychometrika** 23:187-200. <https://dx.doi.org/10.1007/BF02289233>

Leal FT, Lemos BL (2018). Como as plantas utilizam os nutrientes? **Revista Agro S/A** 6:74-75.

Lemos BL, Mingotte FLC, Farinelli R (2015). Cultivares. In: Arf O, Lemos LB, Soratto RS, Ferrari S (Eds). **Aspectos gerais da cultura do feijão *Phaseolus vulgaris***. Botucatu: FEPAF, p. 181-207.

Marschner H (2012). **Mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. London: Elsevier, 643p.

Miano AC, Saldaña E, Campestrini LH, Chiorato AF, Augusto PED (2018). Correlating the properties of different carioca bean cultivars (*Phaseolus vulgaris*) with their hydration kinetics. **Food Research International** 107:182-194. <https://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2018.02.030>

Mingotte FLC, Guarnieri CCO, Farinelli R, Lemos LB (2013). Desempenho produtivo e qualidade pós-colheita de genótipos de feijão do grupo comercial carioca cultivados na época de inverno-primavera. **Bioscience Journal** 29:1101-1110.

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA (2019). **Registro Nacional de Cultivares**. Disponível em: <[http://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/cultivares\\_registradas.php](http://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/cultivares_registradas.php)>. Acesso em: 07 jan. 2019.

Nascente AS, Carvalho MCS, Rosa PH (2016). Growth, nutrient accumulation in leaves and grain yield of super early genotypes of common bean. **Pesquisa Agropecuária Tropical** 46:292-300. <https://dx.doi.org/10.1590/1983-40632016v46a1144>

Nascente AS, Stone, LF, Melo LC (2017). Common bean grain yield as affected by sulfur fertilization and cultivars. **Revista Ceres** 64:548-552. <http://dx.doi.org/10.1590/0034-737X201764050013>

Oliveira AP, Andrade GF, Mateó BSO, Naozuka J (2017). Protein and Metalloprotein Distribution in Different Varieties of Beans (*Phaseolus vulgaris* L.): Effects of Cooking. **International Journal of Food Science** 2017:1-8. <https://dx.doi.org/10.1155/2017/5957178>

Pereira HS, Alvares RC, Melo LC, Costa AF, Carvalho HWL (2017). Culinary and nutritional quality of common bean lines with Carioca grain type and interaction with environments. **Revista Ceres** 64:159-166. <http://dx.doi.org/10.1590/0034-737x201764020008>

Perez AAG, Soratto RP, Manzatto NP, Souza EFC (2013). Extração e exportação de nutrientes pelo feijoeiro adubado com nitrogênio, em diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 37:1276-1287. <http://dx.doi.org/10.1590/S010006832013000500017>

Perina EF, Carvalho CRL, Chiorato AF, Lopes RLT, Gonçalves JGR, Carbonell SAM (2014). Technological quality of common bean grains obtained in different growing seasons. **Bragantia** 73:14-22. <https://dx.doi.org/10.1590/brag.2014.008>



Proctor JR, Watts BM (1987). Development of a modified Mattson Bean Cooker procedure based on sensory panel cookability evaluation. **Canadian Institute of Food Science and Technology Journal** 20:9-14. [https://dx.doi.org/10.16/S0315-5463\(87\)70662-2](https://dx.doi.org/10.16/S0315-5463(87)70662-2)

Ribeiro ND, Mambrin RB, Storck L, Prigol M, Nogueira CW (2013). Combined selection for grain yield, cooking quality and minerals in the common bean. **Revista Ciência Agronômica** 44:869-877. <https://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902013000400025>

Rodrigues JA, Ribeiro ND, Londero PMG, Cargnelutti Filho A, Garcia DC (2005). Correlação entre absorção de água e tempo de cozimento de cultivares de feijão. **Ciência Rural** 35:209-214. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782005000100034>

Silva DA, Esteves JAF, Gonçalves JGR, Azevedo CVG, Ribeiro T, Chiorato AF, Carbonell SAM (2016). Evaluation of common bean genotypes for phosphorus use efficiency in Eutrophic Oxisol. **Bragantia** 75:152-153. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.454>

Silva SC, Ribeiro JR (2009). Zoneamento Agroclimático para o Feijão (2ª Safra) nos Estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e Bahia. In: Kluthcouski J, Stone LF, Aidar H (Eds). **Fundamentos para uma agricultura sustentável, com ênfase na cultura do feijoeiro**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, p. 97-106.

Soratto RP, Catuchi TA, Souza EFC, Garcia JLN (2017). Plant density and nitrogen fertilization on common bean nutrition and yield. **Revista Caatinga** 30:670-678. <https://dx.doi.org/10.1590/1983-21252017v30n315rc>

Soratto RP, Fernandes AM, Pilon C, Crusciol CAC, Borghi E (2013a). Épocas de aplicação de nitrogênio em feijoeiro cultivado após milho solteiro ou consorciado com braquiária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 48:1351-1359. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2013001000006>

Soratto RP, Fernandes AM, Santos LA, Job AL (2013b). Nutrient extraction and exportation by common bean cultivars under different fertilization levels: I - macronutrients. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 37:1027-1042. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832013000400020>

Soratto RP, Fernandes AM, Souza EFC, Souza-Schlick GD (2011). Produtividade e qualidade dos grãos de feijão em função da aplicação de nitrogênio em cobertura e via foliar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 35:2019-2028. <https://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2016000900060>

Wutke EB, Brunini O, Barbano MT, Castro JL, Gallo PB, Kanthack RAD, Martins ALM, Pereira JCVNA, Bortoleto N, Paulo EM, Sakai M, Saes IA, Ambrosano EJ, Carbonell SAM, Silveira LCP (2000). Estimativa de temperatura base e graus-dia para feijoeiro nas diferentes fases fenológicas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia** 8:55-61.

## **APÊNDICES**

**Tabela 1A.** Valores diários de temperaturas máxima, mínima e média do ar e precipitação pluviométrica durante o mês de junho de 2017. Fonte: Estação Agroclimatológica, Departamento de Ciências Exatas da FCAV/UNESP - Câmpus de Jaboticabal, SP.

Dia/Mês 2017	T máxima (°C)	T mínima (°C)	T média (°C)	Precipitação (mm)
01/jun	21,0	14,5	18,0	0
02/jun	23,8	12,9	16,9	0
03/jun	29,2	11,2	19,0	0
04/jun	30,3	14,9	22,3	0
05/jun	30,0	16,4	22,3	0
06/jun	30,1	17,1	23,1	0
07/jun	29,9	16,3	22,8	0
08/jun	29,5	14,7	22,1	0,9
09/jun	24,8	13,7	18,1	0
10/jun	20,8	7,2	13,6	0
11/jun	25,7	7,5	16,0	0
12/jun	19,1	13,3	16,3	3,6
13/jun	23,6	14,3	18,2	0,2
14/jun	26,1	14,0	19,1	0
15/jun	25,9	12,5	18,4	0
16/jun	26,8	12,3	18,7	0
17/jun	27,5	12,5	19,5	0
18/jun	27,2	13,0	19,7	0
19/jun	28,6	15,5	21,5	0
20/jun	26,3	14,6	19,0	0
21/jun	26,3	13,9	19,1	0
22/jun	26,0	13,8	19,3	0
23/jun	26,0	12,9	18,8	0
24/jun	26,0	11,7	18,4	0
25/jun	24,7	12,3	17,9	0
26/jun	25,2	11,4	17,7	0
27/jun	25,8	12,5	18,3	0
28/jun	25,8	12,5	18,8	0
29/jun	26,5	13,2	19,5	0
30/jun	27,3	12,4	20,2	0
Total				4,7

**Tabela 2A.** Valores diários de temperaturas máxima, mínima e média do ar e precipitação pluviométrica durante o mês de julho de 2017. Fonte: Estação Agroclimatológica, Departamento de Ciências Exatas da FCAV/UNESP - Câmpus de Jaboticabal, SP.

Dia/Mês 2017	T máxima (°C)	T mínima (°C)	T média (°C)	Precipitação (mm)
01/jul	26,4	15,1	20,3	0
02/jul	23,4	12,0	16,8	0
03/jul	22,8	9,8	15,3	0
04/jul	21,6	8,1	14,3	0
05/jul	22,5	9,1	14,8	0
06/jul	24,1	9,3	15,9	0
07/jul	25,4	11,9	17,3	0
08/jul	24,6	11,4	17,3	0
09/jul	25,6	11,7	17,9	0
10/jul	26,5	11,9	18,7	0
11/jul	27,2	13,2	19,2	0
12/jul	27,6	13,4	19,7	0
13/jul	27,5	11,8	19,2	0
14/jul	26,2	11,9	18,6	0
15/jul	26,7	11,8	18,5	0
16/jul	27,4	12,1	19,4	0
17/jul	27,5	11,4	19,6	0
18/jul	17,5	9,5	12,7	0
19/jul	24,5	8,6	15,5	0
20/jul	27,2	10,6	18,3	0
21/jul	28,0	13,2	20,1	0
22/jul	27,6	12,0	19,9	0
23/jul	28,8	12,7	19,8	0
24/jul	26,7	11,2	18,9	0
25/jul	27,2	11,9	19,4	0
26/jul	26,1	12,3	19,2	0
27/jul	25,9	11,7	18,6	0
28/jul	26,9	10,6	18,3	0
29/jul	26,5	10,9	18,4	0
30/jul	26,1	12,1	18,3	0
31/jul	25,4	11,1	17,7	0
Total				0

**Tabela 3A.** Valores diários de temperaturas máxima, mínima e média do ar e precipitação pluviométrica durante o mês de agosto de 2017. Fonte: Estação Agroclimatológica, Departamento de Ciências Exatas da FCAV/UNESP - Câmpus de Jaboticabal, SP.

Dia/Mês 2017	T máxima (°C)	T mínima (°C)	T média (°C)	Precipitação (mm)
01/ago	26,1	12,4	18,9	0
02/ago	28,3	11,8	19,6	0
03/ago	24,1	12,5	17,8	0
04/ago	24,1	10,0	16,0	0
05/ago	25,6	10,4	17,2	0
06/ago	27,5	9,8	18,1	0
07/ago	29,7	10,6	20,3	0
08/ago	31,2	14,4	22,3	0
09/ago	33,0	13,7	23,9	0
10/ago	32,9	15,9	24,3	0
11/ago	31,8	13,9	22,6	0
12/ago	33,6	15,1	23,6	0
13/ago	33,0	17,1	24,7	0
14/ago	28,9	18,3	22,5	0
15/ago	26,3	17,1	20,5	0
16/ago	23,5	16,3	18,7	3,8
17/ago	18,5	16,0	17,1	5,1
18/ago	20,4	16,3	17,8	1,2
19/ago	28,1	17,0	20,8	0
20/ago	32,5	16,7	21,2	7,0
21/ago	22,0	12,9	17,2	0
22/ago	28,5	11,3	19,5	0
23/ago	30,3	14,9	21,7	0
24/ago	29,7	14,8	21,5	0
25/ago	29,8	13,4	21,3	0
26/ago	31,1	14,7	22,5	0
27/ago	31,6	14,7	22,9	0
28/ago	32,4	14,5	23,2	0
29/ago	33,8	13,7	24,0	0
30/ago	34,8	16,4	25,5	0
31/ago	33,7	17,5	24,4	0
Total				17,1

**Tabela 4A.** Valores diários de temperaturas máxima, mínima e média do ar e precipitação pluviométrica durante o mês de setembro de 2017. Fonte: Estação Agroclimatológica, Departamento de Ciências Exatas da FCAV/UNESP - Câmpus de Jaboticabal, SP.

Dia/Mês 2017	T máxima (°C)	T mínima (°C)	T média (°C)	Precipitação (mm)
01/set	32,1	15,1	22,6	0
02/set	31,0	14,5	22,3	0
03/set	30,3	12,6	21,4	0
04/set	30,1	12,9	21,6	0
05/set	31,1	12,9	22,7	0
06/set	31,8	14,5	23,4	0
07/set	32,6	14,4	23,7	0
08/set	34,1	14,7	24,5	0
09/set	33,6	16,9	24,3	0
10/set	33,1	14,8	24,3	0
11/set	34,4	17,9	25,7	0
12/set	33,6	17,3	25,5	0
13/set	34,0	17,4	25,3	0
14/set	33,6	18,1	25,5	0
15/set	34,6	18,1	26,1	0
16/set	34,9	16,4	25,5	0
17/set	33,6	16,5	25,2	0
18/set	34,0	14,7	25,5	0
19/set	33,6	18,3	25,6	0
20/set	34,0	17,4	25,2	0
21/set	32,9	17,1	24,5	0
22/set	31,4	16,8	24,0	0
23/set	32,8	16,6	25,1	0
24/set	33,3	18,0	25,3	0
25/set	32,7	15,9	24,3	0
26/set	32,2	15,5	23,9	0
27/set	34,1	17,6	25,6	0
28/set	34,4	16,6	25,2	0
29/set	34,4	18,3	23,7	7,0
30/set	23,8	15,8	18,8	18,9
Total				25,9