



GUSTAVO HENRIQUE DO NASCIMENTO

**MEDIDORES PORTÁTEIS DE CLOROFILA NA
ESTIMATIVA DA ADUBAÇÃO NITROGENADA EM
COBERTURA NO FEIJOEIRO**

**LAVRAS - MG
2019**

GUSTAVO HENRIQUE DO NASCIMENTO

**MEDIDORES PORTÁTEIS DE CLOROFILA NA ESTIMATIVA DA ADUBAÇÃO
NITROGENADA EM COBERTURA NO FEIJOEIRO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Grandes Culturas, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Silvino Guimarães Moreira
Orientador

Dr. Fábio Aurélio Dias Martins
Coorientador

**LAVRAS - MG
2019**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

do Nascimento, Gustavo Henrique.

Medidores portáteis de clorofila na estimativa da adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro. / Gustavo Henrique do Nascimento. - 2019.

98 p. : il.

Orientador(a): Silvino Guimarães Moreira.

Coorientador(a): Fábio Aurélio Dias Martins.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2019.

Bibliografia.

1. *Phaseolus vulgaris* L. 2. Nitrogênio. 3. Clorofilômetro. I. Moreira, Silvino Guimarães. II. Martins, Fábio Aurélio Dias. III. Título.

GUSTAVO HENRIQUE DO NASCIMENTO

**MEDIDORES PORTÁTEIS DE CLOROFILA NA ESTIMATIVA DA ADUBAÇÃO
NITROGENADA EM COBERTURA NO FEIJOEIRO**

**PORTABLE CHLOROPHYLL METERS FOR ESTIMATED COVERED
NITROGEN FERTILIZATION IN BEANS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Grandes Culturas, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 28 de agosto de 2019.

Dr. Fábio Aurélio Dias Martins EPAMIG

Dr. Cassio Hamilton Abreu Junior USP

Dr. Guilherme Vieira Pimentel UFLA

Prof. Dr. Silvino Guimarães Moreira
Orientador

**LAVRAS - MG
2019**

*Aos meus pais, Vicente e Conceição, à minha namorada Bruna, às minhas irmãs Carina e
Patrícia, e aos meus sobrinhos Ana Clara, Davi e Gabriel.*

Dedico

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, por me iluminar na conquista de mais uma etapa em minha vida.

Aos meus pais, Vicente e Conceição, pelo amor, carinho, apoio e incondicional confiança.

À minha namorada Bruna, por todo o seu amor, atenção e paciência, estando sempre presente nos momentos que precisei.

Às minhas irmãs Carina e Patrícia, e aos meus sobrinhos Ana Clara, Davi e Gabriel, pelo amor, amizade, e por estarem sempre presentes em minha vida.

Ao Professor Doutor Silvino Guimarães Moreira, pela orientação, total disponibilidade e ensinamentos que me acompanharão por toda a vida.

Ao Doutor Fábio Aurélio Dias Martins, pela coorientação e amizade.

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Agricultura, pela oportunidade concedida para realização do mestrado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de mestrado.

Aos membros da banca, pela disponibilidade e contribuições ao trabalho.

A todos os amigos/companheiros de trabalho do GMAP, por toda a colaboração, convivência e amizades construídas.

Aos funcionários do setor de grandes culturas, que não mediram esforços na condução do trabalho.

A todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

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

MUITO OBRIGADO!

RESUMO

O nitrogênio (N) é o nutriente requerido em maior quantidade pelo feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), no entanto, muitas vezes a adubação nitrogenada ocorre de maneira inadequada, por meio de doses insuficientes ou excessivas, baseadas em métodos defasados de recomendação. Nesse contexto, os medidores portáteis de clorofila podem ser empregados com intuito de melhorar a eficiência na utilização dos fertilizantes nitrogenados nas adubações de cobertura. Desse modo, objetivou-se estimar doses de nitrogênio aplicados em cobertura para as cultivares de feijão TAA Gol, Pérola, BRSMG Uai, e para a linhagem VR 20, por meio do uso de dois diferentes clorofilômetros, sendo eles Minolta SPAD-502 e o ClorofiLOG CFL 1030. O projeto foi desenvolvido no município de Lavras-MG, em duas etapas, sendo cada uma delas composta por oito experimentos, correspondentes a cada um dos diferentes genótipos combinados aos dois aparelhos utilizados. Na primeira etapa do projeto, realizada na safra 2017/18, em cada experimento, os tratamentos foram constituídos por aplicações de N relacionadas a quatro índices de suficiência de nitrogênio (ISN). Foi implantada uma área de referência para cada um dos genótipos avaliados, sendo ela em comum para os dois clorofilômetros utilizados. Após o estabelecimento dos ISN, foi realizada a adubação nitrogenada de cobertura, associando o critério de adubação a cada um deles. Para cada 1% inferior ao ISN do tratamento, aplicou-se 15 kg ha⁻¹ de N. Na segunda etapa do projeto, na safra 2018/19, em cada experimento foi adotado o ISN que apresentou os melhores resultados na primeira etapa experimental. Os tratamentos foram constituídos pelos fatores de adubações: 0; 5; 10 e 20 kg ha⁻¹ de N para cada 1% abaixo do ISN definido como adequado na etapa anterior. Por ocasião do florescimento, foram realizadas novas leituras com os aparelhos, as folhas amostradas foram destacadas e destinadas à análise foliar para a quantificação do N. Ao final do ciclo de cada genótipo, foram avaliados: o número de vagens por plantas, o número de grãos por vagem, a massa de 100 grãos, a produtividade de grãos e o teor de N nos grãos. Os dados foram submetidos a análises de variância e ao detectar diferenças significativas, as análises de regressão e os demais testes foram realizados. As discrepâncias entre os ISN obtidos pelos aparelhos em um mesmo genótipo e por um mesmo aparelho em genótipos diferentes não permitiu a realização de uma análise conjunta entre experimentos. Desse modo, observou-se a necessidade de ajustes na metodologia de utilização dos ISN para a definição das doses de N fornecidas em cobertura, de acordo com o genótipo cultivado e com o aparelho que será utilizado. Não foi possível a obtenção de ajustes precisos para a metodologia de utilização dos clorofilômetros na cultivar TAA Gol. A combinação do fator de adubação de 12,5 kg ha⁻¹ de N a cada 1 % abaixo do ISN de 90% mostrou-se eficiente para a cultivar Pérola, quando utilizado o clorofilômetro SPAD-502. Em genótipos com características de porte e ciclo semelhantes, a cultivar BRSMG Uai e a linhagem VR 20, com a utilização de um fator de adubação entre 14 e 16 kg ha⁻¹ de N, o ISN de 95% deve ser reduzido, visando aumentar a eficiência da adubação nitrogenada. Somente o índice relativo de clorofila, obtido no período de florescimento, não é eficiente para determinar o estado nutricional da lavoura em relação ao nitrogênio.

Palavras-chaves: *Phaseolus vulgaris* L. Nitrogênio. Clorofilômetro.

ABSTRACT

Nitrogen (N) is the nutrient most demanded by common bean (*Phaseolus vulgaris* L.), however, nitrogen fertilization often occurs inappropriately through insufficient or excessive doses based on outdated recommendation methods. In this context, portable chlorophyll meters can be used to improve the efficiency of nitrogen fertilizer use in topdressing fertilizers. Thus, the objective of this study was to estimate nitrogen rates applied to coverage for the cultivars TAA Gol, Pearl, BRSMG Uai, and for the strain VR 20, using two different chlorophyll meters, Minolta SPAD-502 and ClorofiLOG CFL 1030. The project was developed in the municipality of Lavras-MG, in two stages, each consisting of eight experiments, corresponding to each of the different genotypes combined with the two used devices. In the first stage of the project, which was carried out in the 2017/18 crop, in each experiment, the treatments consisted of N applications related to four nitrogen sufficiency indices (ISN). A reference area was implanted for each of the evaluated genotypes, being this area common for the two chlorophyll meters used. After the establishment of the ISN, nitrogen fertilization was performed, associating the fertilization criterion to each one of them. For each 1% lower than the ISN of the treatment, 15 kg ha⁻¹ of N. was applied. In the second stage of the project, in the 2018/19 harvest, in each experiment, the ISN that presented the best results in the first experimental stage was adopted. The treatments consisted of the fertilizer factors: 0; 5; 10 and 20 kg ha⁻¹ N for each 1% below the ISN defined as appropriate in the previous step. At flowering, new readings were performed with the devices, and the leaves were detached and destined for leaf analysis to quantify N. At the end of the cycle of each genotype, the number of pods per plant, the number of beans per pod, 100 grain mass, grain yield and N content in the grains were evaluated. Data were submitted to analysis of variance and when significant differences were detected, regression analyzes and other tests were performed. The discrepancies between ISN obtained by the devices in the same genotype and by the same device in different genotypes did not allow a joint analysis between experiments. Therefore, it was observed the need for adjustments in the methodology of use of ISN to define the doses of N provided in coverage, according to the genotype cultivated and the apparatus that will be used. It was not possible to obtain precise adjustments for the chlorophyll usage methodology meters in the cultivar TAA Gol. The combination of the fertilization factor of 12.5 kg ha⁻¹ of N every 1% below the 90% ISN proved to be efficient for the Pearl cultivar when the SPAD-502 chlorophyll meter was used. In genotypes with similar size and cycle characteristics, the cultivar BRSMG Uai and the strain VR 20, using a fertilization factor between 14 and 16 kg ha⁻¹ of N, the 95% ISN should be reduced, aiming to increase the efficiency of nitrogen fertilization. Only the relative chlorophyll index obtained during flowering is not efficient to determine the nutritional status of the crop in relation to nitrogen.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L. Nitrogen. Chlorophyllometer.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|---------|--|
| ANDA | Associação Nacional para Difusão de Adubos |
| CDCT | Centro de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Agropecuária da Universidade Federal de Lavras |
| CONAB | Companhia Nacional de Abastecimento |
| Cwa | Clima temperado úmido com inverno seco e verão quente |
| DAE | Dias após a emergência |
| DN | Dose de nitrogênio |
| EMBRAPA | Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária |
| FA | Fator de adubação |
| ICEAR | Intervalo de confiança da estimativa da análise de regressão |
| ICF | Índice de clorofila Falker |
| IRC | Índice relativo de clorofila |
| ISN | Índice de suficiência de nitrogênio |
| MAPA | Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento |
| MCG | Massa de 100 grãos |
| MOS | Matéria orgânica do solo |
| NF | Teor de nitrogênio foliar |
| NG | Teor de nitrogênio nos grãos |
| NCV | Número de grãos por vagem |
| NVP | Número de vagens por planta |
| PCFP | Plano Nacional Para o Desenvolvimento da Cadeia Produtiva do Feijão e Pulses |
| PROD | Produtividade de grãos |
| SPC | Sistema de plantio convencional |
| SPD | Sistema de plantio direto |

SUMÁRIO

| | | |
|--------------|--|-----------|
| | CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL | 11 |
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 11 |
| 2 | REFERENCIAL TEÓRICO | 13 |
| 2.1 | Panorama atual da cultura do feijão | 13 |
| 2.2 | Adubação na cultura do feijoeiro-comum..... | 14 |
| 2.3 | Adubação nitrogenada no feijoeiro-comum..... | 15 |
| 2.4 | Medidores portáteis de clorofila..... | 17 |
| 2.5 | Índice de suficiência de nitrogênio (ISN)..... | 19 |
| 2.6 | Fator de adubação para a definição da dose de nitrogênio na cultura do feijoeiro com base no uso de clorofilômetros..... | 21 |
| | REFERÊNCIAS..... | 23 |
| | CAPÍTULO 2 DEFINIÇÃO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA PARA AS CULTIVARES DE FEIJÃO TAA GOL E PÉROLA COM BASE NA UTILIZAÇÃO DE MEDIDORES PORTÁTEIS DE CLOROFILA | 28 |
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 30 |
| 2 | MATERIAL E MÉTODOS | 32 |
| 2.1 | Local..... | 32 |
| 2.2 | Cultivares utilizadas e tratamento de sementes | 34 |
| 2.3 | Delineamento experimental e implantação dos experimentos..... | 35 |
| 2.4 | Tratos culturais | 36 |
| 2.5 | Tratamentos | 36 |
| 2.5.1 | Experimentos para obtenção dos ISN..... | 36 |
| 2.5.2 | Experimentos para as definições dos fatores de adubação | 39 |
| 2.6 | Avaliação no florescimento | 40 |
| 2.7 | Colheita..... | 41 |
| 2.8 | Caracteres avaliados..... | 41 |
| 2.9 | Análises dos dados | 42 |
| 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 43 |
| 3.1 | Cultivar TAA Gol | 43 |
| 3.2 | Cultivar Pérola..... | 49 |
| 4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 58 |
| 5 | CONCLUSÕES..... | 61 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| | REFERÊNCIAS..... | 62 |
| | APÊNDICE A..... | 66 |
| | APÊNDICE B..... | 67 |
| | APÊNDICE C..... | 68 |
| | CAPÍTULO 3 – DEFINIÇÃO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA DE COBERTURA EM GENÓTIPOS MODERNOS DE FEIJÃO COM AUXÍLIO DE MEDIDORES PORTÁTEIS DE CLOROFILA | 69 |
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 71 |
| 2 | MATERIAL E MÉTODOS | 73 |
| 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 77 |
| 4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 89 |
| 5 | CONCLUSÕES..... | 91 |
| | REFERÊNCIAS..... | 92 |
| | APÊNDICE D..... | 96 |
| | APÊNDICE E..... | 97 |
| | APÊNDICE F | 98 |

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL

1 INTRODUÇÃO

O feijoeiro-comum (*Phaseolus vulgaris L.*) é uma leguminosa pertencente à família Fabaceae, que se caracteriza como um constituinte básico na dieta alimentar da população brasileira. Segundo o Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2018a), 70% dos brasileiros consomem feijão diariamente e a média desse consumo atinge 17 kg por habitante por ano no país.

A produção de feijão estende-se por grande parte do território brasileiro, formando elos na cadeia produtiva que envolvem desde pequenos agricultores familiares a grandes produtores e empresários rurais. De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2018a), a profissionalização do cultivo de feijão de forma empresarial tem proporcionado altas produtividades à cultura (superior a 2500 kg ha⁻¹), possibilitando um importante equilíbrio na oferta do produto, principalmente no segundo semestre do ano.

Para se alcançar elevadas produtividades na cultura é necessário o emprego de manejos validados cientificamente. Com o aumento da perspectiva de retorno financeiro aos produtores, nos últimos anos, foram registrados acréscimos no consumo de insumos, como defensivos agrícolas e adubos minerais. No entanto, muitas vezes estes são utilizados de maneira inadequada (MARTINS, 2016).

O nitrogênio (N) é o nutriente requerido em maior quantidade pelo feijoeiro-comum. Quando se almeja altas produtividades, normalmente é necessário seu fornecimento por meio de adubações, uma vez que a quantidade de N obtida por associações com bactérias simbiotes do gênero *Rhizobium*, não são suficientes para suprir toda necessidade da cultura (AMBROSANO et al., 1996; SILVA, 1998; LEMOS et al., 2003).

Dada a importância do N à cultura, e a inexistência de métodos laboratoriais precisos para sua quantificação no solo, deve-se buscar novas técnicas de manejo a fim de otimizar a adubação nitrogenada (BARBOSA FILHO et al., 2008), garantindo maior eficiência de uso do N, além de reduzir os riscos de poluição ambiental e gerar economia na aquisição de fertilizantes (FAGERIA et al., 1999; BARBOSA FILHO et al., 2009).

A dinâmica complexa na qual o N está sujeito no solo, dificulta a correta recomendação da adubação nitrogenada (SILVEIRA et al., 2003; BARBOSA FILHO et al., 2009). Assim, tem sido indicado o acompanhamento da relação entre a concentração de N na planta e a disponibilidade de N no solo, para garantir o melhor aproveitamento desse

nutriente, através de uma adubação nitrogenada definida de maneira precisa e realizada no momento correto (BREDEMEIER; MUNDSTOCK, 2000).

Nesse contexto, os medidores portáteis de clorofila, denominados clorofilômetros, permitem determinar em tempo real a intensidade da cor verde da folha, que apropriadamente calibrada, estima os teores de clorofila nas folhas. Como o teor de clorofila está relacionado ao teor de N foliar, esses equipamentos têm potencial no monitoramento e no auxílio do manejo da fertilização nitrogenada, podendo ser uma ferramenta para indicar de forma simples e com baixo custo o teor de N nas folhas (PENG et al., 1993; CHAPMAN; BARRETO, 1997; CARVALHO et al., 2012). Esses aparelhos emitem feixes de luz através das folhas, permitindo estimar uma relação entre o índice relativo de clorofila (IRC) e o teor de N foliar, por meio de leituras instantâneas e de forma não destrutiva (SILVEIRA et al., 2003; BARBOSA FILHO et al., 2009).

Inicialmente, os clorofilômetros foram utilizados com intuito de detectar deficiências de N na cultura do feijoeiro, e empregados como ferramentas de suporte na tomada de decisão sobre a necessidade e identificação da melhor época de aplicação desse nutriente. Recentemente, estuda-se a obtenção de um fator de adubação que irá ajustar a dose de N a ser aplicada em cobertura, de acordo com as leituras obtidas momentos antes da aplicação do fertilizante (BARBOSA FILHO et al., 2009; MAIA et al., 2012; SILVEIRA; GONZAGA, 2017). No entanto, as informações sobre a definição da dose de N, realizada com base nas leituras dos clorofilômetros ainda são escassas, sendo a maioria dos trabalhos desenvolvidos com a cultivar Pérola. Nesse sentido, evidencia-se a necessidade de maiores informações para genótipos com características diferentes.

Desse modo, objetivou-se estimar as doses de nitrogênio aplicadas em cobertura, com a utilização de clorofilômetros para as cultivares de feijão TAA Gol, Pérola, BRSMG Uai e na linhagem VR 20, através do uso de dois diferentes medidores portáteis de clorofila. Pretendeu-se também, verificar a precisão dos aparelhos em relacionar os índices relativos de clorofila (IRC), obtidos através das leituras, com o estado nutricional das plantas, em relação ao N.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Panorama atual da cultura do feijão

O feijão apresenta grande importância social e econômica, principalmente em países em desenvolvimento, onde grande parte da população o consome em sua dieta alimentar como principal fonte de proteína e nutrientes como ferro, zinco, além de carboidratos e vitaminas. No entanto, com a falta de reconhecimento do seu valor no mercado, aliado ao baixo consumo entre os países de primeiro mundo, e ao fato de que os maiores produtores são também grandes consumidores, há baixo excedente exportável. Com isso, existe um pequeno fluxo dessa leguminosa, dificultando a expansão do comércio internacional (BORÉM; CARNEIRO, 2006; CONAB, 2018a).

O Myanmar é o país que apresenta a maior produção de feijão, seguido pela Índia. O Brasil ocupa a terceira posição no *ranking* de produção, em escala mundial, e a primeira posição entre os países do Mercosul, seguido pela Argentina, Paraguai e Uruguai, com participação na produção e consumo superior a 90% do total (CONAB, 2018a).

Por apresentar uma ampla adaptação edafoclimática, o feijão é cultivado em grande parte do território brasileiro, característica que combinada a um ciclo curto, torna possível seu cultivo em até três safras durante o ano, desde que não aconteça limitações de umidade e temperatura (MESQUITA et al., 2007; ABRANTES et al., 2011).

Na safra 2017/18 no Brasil, foram cultivados aproximadamente 3,17 milhões de hectares (ha), com produtividade média de 982 kg ha⁻¹. Na mesma safra, o estado do Paraná foi o maior produtor, seguido pelo estado de Minas Gerais, com uma produção total de 513,6 mil toneladas em uma área de 339,2 mil ha, o que correspondeu a uma produtividade média de 1514 kg ha⁻¹ (CONAB, 2019a).

De acordo com as projeções do agronegócio, levantadas pelo MAPA (2018b), a estimativa da taxa de crescimento da produção anual de feijão entre os anos de 2018 e 2028 está entre -0,1% e 1,9%, o que representa praticamente manter a mesma produção. No entanto, em 2018 foi lançado o Plano Nacional Para o Desenvolvimento da Cadeia Produtiva do Feijão e Pulses (PCFP). ‘Pulses’ se caracteriza como um grupo de doze culturas que inclui além dos feijões, as ervilhas secas, grão de bico e lentilhas. O PCFP tem como objetivo promover o aumento da produção e do consumo interno de pulses, além de aumentar a inserção internacional de alguns tipos de grãos. Sendo assim, a concretização bem-sucedida

do PCFP, pode fazer com que a produção brasileira de feijão cresça além das estimativas projetadas.

2.2 Adubação na cultura do feijoeiro-comum

Na busca por aumentos de produtividade, vale ressaltar a importância do fornecimento adequado e equilibrado de nutrientes por meio da aplicação de fertilizantes. Segundo a ANDA (2019), o consumo acumulado de fertilizantes no Brasil, em 2018, registrou 35,5 milhões de toneladas, apresentando crescimento de 3,1% quando comparado ao ano de 2017, com 34,4 milhões de toneladas.

Nesse contexto, o feijoeiro se apresenta muito exigente nutricionalmente, sobretudo em função do seu sistema radicular pouco desenvolvido e pelo ciclo curto apresentado pela cultura (ROSOLEM; MARUBAYASHI, 1994). Sendo assim, é recomendado que a aplicação dos fertilizantes seja realizada próximo ao sistema radicular das plantas, de modo que os nutrientes fornecidos estejam prontamente disponíveis nos momentos de demanda pela cultura (SILVA; SILVEIRA, 2000).

Em Minas Gerais, as recomendações de adubação para o feijoeiro consideram os teores de cada nutriente no solo, obtidos através da análise química, e o nível de tecnologia que será adotado pelo produtor durante a implantação e condução da lavoura. De acordo com essa metodologia, as recomendações podem variar entre 30 a 110 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 20 a 50 kg ha⁻¹ de K₂O, enquanto que a dose acumulada referente à semeadura e a cobertura realizada com nitrogênio, está entre 40 a 100 kg ha⁻¹ (SILVA; PELOSO, 2006).

De acordo com a CONAB (2018b), o custo operacional médio estimado para a produção de feijão na safra 2018/19 no estado de Minas Gerais foi de R\$3726,00 por hectare, sendo o custo referente aos fertilizantes utilizados responsáveis por 29,8% desse valor (R\$1109,81). Conforme os dados da CONAB (2019b) o preço médio, em Minas Gerais, da tonelada de ureia (45% de N) em 2018 foi de R\$1668,08. A título de curiosidade, utilizando-se a máxima dose de N (100 kg ha⁻¹) recomendada por de Silva e Peloso (2006), combinada ao valor da tonelada de ureia apresentado, o custo médio da adubação nitrogenada seria de R\$370,67 por hectare, valor considerável em meio às demais práticas de cultivo.

2.3 Adubação nitrogenada no feijoeiro-comum

O nitrogênio é o nutriente requerido em maior quantidade pelo feijoeiro-comum, sendo sua deficiência altamente limitante à cultura. O N é constituinte de proteínas, ácidos nucleicos, membranas, dentre outros, atuando na formação de órgãos e tecidos, influenciando diretamente no crescimento, floração e enchimento de grãos das plantas. A deficiência deste nutriente pode ser observada de forma prática pelo surgimento de uma clorose generalizada nas folhas, iniciando-se pelas mais velhas, em função da sua alta mobilidade na planta. No feijoeiro, o florescimento é considerado a fase em que há a maior demanda de N pela cultura (PORTES, 1996; LEMOS et al., 2003; SOUZA; FERNANDES, 2006).

Outra característica importante do N é a função estrutural na clorofila, pigmento verde encontrado em grande quantidade nas folhas, o qual é responsável pela absorção da energia solar, além de atuar na oxidação da água com conseqüente liberação do oxigênio e redução do dióxido de carbono para a formação de cadeias carbônicas, como açúcares. Em caso de indisponibilidade de N no solo, a molécula de clorofila é degradada e o N é redistribuído para regiões de crescimento ativo, dando às plantas uma coloração amarelada pela predominância de outros pigmentos (FURLANI JÚNIOR et al., 1996; TAIZ; ZEIGER, 2013).

O fornecimento de N ao feijoeiro pode ocorrer através da fixação biológica de nitrogênio, pela mineralização da matéria orgânica do solo (MOS) e/ou pela utilização de fertilizantes nitrogenados (MARTINS, 2016). Devido a grande demanda de N pela planta para obtenção de altas produtividades, o fornecimento via adubação nitrogenada é necessário (SILVEIRA et al., 2003).

A atmosfera terrestre é o principal reservatório de N, pois entre todos os gases presentes, 78% é nitrogênio. No entanto, ele está presente como N_2 , um gás inerte que as plantas não conseguem assimilar (LOPES et al., 2007). Para ser assimilado, o gás N_2 passa por processos industriais onde é combinado ao hidrogênio derivado de gás de petróleo. Assim, quando submetidos a altas temperaturas e pressão, darão origem a amônia (NH_3), para ser transformada nos fertilizantes nitrogenados sintéticos (CARVALHO, 2002).

Resultados obtidos através de um grande número de estudos apontam valores para a recuperação do N fornecido às culturas entre 50 e 60%, podendo estes, variar de acordo com o tipo de solo, cultura, dose e fonte do nutriente utilizado, condições ambientais, dentre outros (CANTARELLA, 2007). De acordo com Fageria e Baligar (2005), a eficiência de utilização do N em culturas anuais, como o feijoeiro, encontra-se ao redor de 50%, devido ao emprego

de fontes, doses e épocas de aplicações inadequadas, combinados aos processos de perdas pelos quais o N está sujeito no solo.

Na busca de altas produtividades, combinadas à baixa eficiência de utilização do N, as recomendações de adubação normalmente são realizadas de maneira imprecisa, a partir de cálculos referentes à taxa de exportação desse nutriente e da produtividade esperada pelo produtor. Além disso, também são baseados em boletins de recomendações ultrapassados ou até mesmo de forma totalmente empírica, por meio de análises visuais realizadas frequentemente quando as plantas já apresentam sintomas de deficiência. Dessa maneira, pode haver queda na produtividade da cultura e/ou aumento nos custos de produção (BARBOSA FILHO et al., 2007; SILVEIRA; GONZAGA, 2017).

Binotti et al. (2007) trabalharam com diferentes técnicas de manejo do solo e épocas de aplicação de nitrogênio na cultura do feijoeiro e concluíram que as diferentes épocas de fornecimento de N não proporcionaram diferenças na produtividade. No entanto, as plantas adubadas com N aumentaram a produtividade em 62% quando comparada ao controle, sem o fornecimento de N.

Valderrama et al. (2009) trabalharam com doses de N que variaram entre 0 e 120 kg ha⁻¹. A produtividade de feijão aumentou linearmente com as doses do nutriente aplicado em cobertura.

Com o objetivo de avaliar a resposta do feijoeiro a diferentes doses de N, aplicadas em três estádios fenológicos diferentes da cultura, Meira et al. (2005) testaram as doses de 0, 40, 80, 120, 160, 200 e 240 kg ha⁻¹ de N, aplicadas em cobertura nos estádios V4-5, R5 e R6, correspondendo, respectivamente, a 21, 32 e 38 dias após a emergência das plantas. Os autores concluíram que o N aplicado nas diferentes fases da cultura não interferiu nos componentes de produção, sendo a máxima produtividade de grãos estimada com a dose de 164 kg ha⁻¹ de N.

Carvalho et al. (2003) avaliaram épocas de aplicação, doses de N em cobertura e teores foliares N e de clorofila no feijoeiro. A produtividade máxima foi alcançada com dose superior a 140 kg ha⁻¹ de N. A concentração de N na folha variou de 28,3 a 43,5 g kg⁻¹. O maior teor de N nas folhas (44,0 g kg⁻¹) foi estimado com a dose de 108 kg ha⁻¹ de N. As plantas que receberam a adubação parcelada obtiveram maiores concentrações de clorofila nas folhas, além de apresentarem incremento no teor de clorofila com o aumento da dose de N em cobertura. Por fim, os autores indicam a necessidade de se estudar a marcha de absorção do nutriente e a viabilidade do uso de medidores de clorofila, para avaliar o estado nutricional do N na cultura do feijoeiro.

2.4 Medidores portáteis de clorofila

Os medidores portáteis de clorofilas, vulgarmente chamados clorofilômetros, são equipamentos que estimam de forma indireta o teor de clorofila nas folhas das plantas. O equipamento mais difundido no mercado e amplamente utilizado em trabalhos experimentais é o clorofilômetro modelo Minolta SPAD-502, o qual utiliza emissores de luz com dois comprimentos de onda, na faixa de 650 e 940 nm, luz essa emitida através da folha. O aparelho mede a diferença de atenuação da luz entre os dois comprimentos de ondas como um índice de intensidade de cor ou de concentração de clorofila (YADAWA, 1986).

Com tecnologia brasileira, cita-se o clorofilômetro ClorofiLOG, modelo CFL 1030, que diferentemente do modelo descrito anteriormente, utiliza emissores de luz em três comprimentos de ondas, dois próximos aos picos de cada clorofila (635 e 680 nm) e um terceiro no infravermelho próximo (880 nm). Seus resultados são expressos por unidades denominadas índice de clorofila Falker (ICF), resultantes de valores adimensionais (FALKER, 2008).

O N apresenta uma dinâmica complexa no solo e está sujeito a diferentes possibilidades de perdas, como lixiviação, volatilização e desnitrificação, dependendo do tipo e classe de solo, bem como das condições ambientais (temperatura, umidade etc.). Esses fatores dificultam a correta recomendação da adubação nitrogenada, aumentando ainda mais, as chances de que a adubação não coincida com o período de maior demanda pela cultura (SILVEIRA et al., 2003; BARBOSA FILHO et al., 2009). Para um melhor aproveitamento do nutriente é de fundamental importância o acompanhamento da relação entre a concentração de N na planta e a disponibilidade de N no solo, garantindo que adubação seja estimada de maneira precisa e realizada no momento correto (BREDEMEIER; MUNDSTOCK, 2000).

Nesse contexto, a relação entre os índices relativos de clorofila (IRC), ou seja, os valores obtidos através das leituras realizadas com os aparelhos, e o teor de N nas folhas, possibilitam que as plantas sejam monitoradas quanto a necessidade de N, e que a adubação seja realizada no momento mais adequado para a cultura (BARBOSA FILHO et al., 2009). Segundo Furlani Júnior et al. (1996), excelentes relações entre as leituras feitas com os aparelhos e os teores de N nas folhas foram obtidas. Isso permite que a deficiência nutricional desse nutriente no feijoeiro tenha grandes chances de ser detectada apenas com a leitura direta obtida pelos clorofilômetros portáteis, de forma simples, rápida e com baixo custo.

A utilização dos clorofilômetros portáteis requer cuidados no momento da amostragem, sendo de grande importância que as plantas amostradas estejam nos

espaçamentos adequados, em locais onde não haja compactação de solo ou manchas de fertilidade. As leituras nas folhas devem representar de maneira precisa e uniforme a coloração verde das mesmas, evitando nervuras e folhas que sofreram algum tipo de estresse (MURDOCK et al., 1997; SHAPIRO et al., 2006).

De acordo com diferentes autores, o uso dos clorofilômetros podem proporcionar algumas vantagens em relação ao método químico de análise de N nas folhas, tais como: a obtenção do IRC de maneira instantânea, a possibilidade de se fazer quantas amostragens forem necessárias, sem que haja a destruição das folhas, o baixo custo de manutenção do aparelho, a economia de tempo e dinheiro, por não ser necessário o envio de amostras a laboratórios, e ainda, a possibilidade de que a deficiência seja detectada e corrigida na mesma safra, uma vez que a análise foliar permite que seus resultados sirvam apenas como parâmetros indicativos para os próximos cultivos (DWYER et al., 1991; PIEKIELEK; FOX 1992; SANT'ANA et al., 2010). Contudo, é importante lembrar que algumas vantagens serão obtidas somente após a devida calibração dos aparelhos.

De acordo Blackmer et al. (1993), outra importante vantagem proporcionada pela medição do IRC, refere-se a leitura realizada pelo clorofilômetro não ser influenciada pelo consumo de luxo da planta, uma vez que o excesso de N absorvido pela planta é acumulado na forma de nitrato. O N na forma de nitrato não se associa à molécula de clorofila, ou seja, não pode ser quantificado pelos clorofilômetros (DWYER et al., 1995).

Silveira et al. (2003) trabalharam com as cultivares Pérola e Jalo Precoce, avaliando diferentes doses de N em cobertura no feijoeiro. Foram realizadas leituras com o clorofilômetro Minolta SPAD-502 em períodos pré-determinados e no decorrer dos trabalhos. Foi observada resposta linear à fertilização nitrogenada até a dose de 120 kg ha⁻¹ de N para a cultivar Jalo Precoce. Para a cultivar Pérola, a produtividade máxima foi estimada com apenas 62 kg ha⁻¹ de N. Os autores concluíram que a utilização do aparelho como indicador da necessidade do fornecimento de N pode ser eficiente, isso porque através das leituras realizadas pelo clorofilômetro foi possível mensurar a probabilidade de resposta à adubação nitrogenada.

Trabalhando com a cultivar BRS Horizonte e doses de N em cobertura, variando entre 0 e 240 kg ha⁻¹, Sant'Ana et al. (2010) observaram correlação positiva para os parâmetros, leituras do aparelho Minolta SPAD-502 e teor de N nas folhas com a produtividade de grãos. O teor de N nas folhas aumentou linearmente, com as doses de N. A produtividade de grãos e as leituras SPAD apresentaram resposta quadrática às doses de N fornecidas em cobertura. A

dose de 76 kg ha⁻¹ de N proporcionou 90% da máxima produtividade de grãos, ou seja, a máxima eficiência técnica.

Salgado et al. (2012) avaliaram a resposta à adubação nitrogenada em doze genótipos de feijoeiro, simulando alto e baixo teor de N. Mensuraram os índices relativos de clorofila, através do clorofilômetro portátil ClorofilLOG, modelo CFL 1030. As plantas que receberam N em cobertura (100 kg ha⁻¹) apresentaram maiores teores de clorofila nas folhas. Houve respostas à adubação nitrogenada em coberturas diferenciadas entre os genótipos testados.

No Rio Grande do Sul, Damian et al. (2018) utilizaram as cultivares de feijoeiro ‘Gralha’ e ‘Olho de Pomba’ para testar diferentes doses e épocas para o a aplicação de N no período de safrinha. Por ocasião do florescimento foi determinado o IRC, por meio da utilização do clorofilômetro CFL 1030. Na cultivar ‘Gralha’ não houve interação entre as épocas e doses de N avaliadas em relação ao IRC, enquanto que na cultivar ‘Olho de Pomba’ o desdobramento dos efeitos das doses e épocas de aplicação de N para o IRC não permitiu identificar o comportamento dessa variável, em virtude dos fatores que afetam as leituras realizadas pelos clorofilômetros. Dessa maneira, segundo os autores, são necessários mais estudos com a finalidade de utilizar as leituras obtidas por medidores portáteis de clorofila como uma ferramenta para estimar a adubação nitrogenada em tempo real.

2.5 Índice de suficiência de nitrogênio (ISN)

Inicialmente empregado na cultura do arroz irrigado para predizer a necessidade do fornecimento de N à cultura, o índice de suficiência de nitrogênio (ISN) foi determinado a partir de leituras do clorofilômetro em relação a uma parcela de referência. A parcela de referência consistiu em uma área que recebeu alta dose de N, de modo a evitar o surgimento da deficiência nutricional correspondente a esse nutriente. Depois de obtidas as leituras referentes a todas as parcelas, ou seja, as áreas previamente adubadas (parcela referência) e as áreas que ainda seriam adubadas, calculou-se o ISN, através da fórmula: $ISN (\%) = (\text{média de leituras das parcelas a serem adubadas} / \text{média de leituras das parcelas referência}) \times 100$. Desse modo, o trabalho de pesquisa indicou que a decisão de efetuar a fertilização nitrogenada na cultura deve ser tomada sempre que o ISN obtido for menor que 90% da parcela considerada como referência (HUSSAIN et al., 2000).

A utilização do ISN visa isolar o efeito do teor de N foliar de outros fatores que possam influenciar na leitura dos medidores portáteis de clorofila, pois além do teor de N na folha, a disponibilidade de outros nutrientes, o estágio fenológico da lavoura, a densidade

populacional, o teor de água ou diferentes tipos de estresses ambientais, podem afetar a intensidade da cor verde na folha e, conseqüentemente, a leitura obtida pelo aparelho (BLACKMER et al., 1993; HUSSAIN et al., 2000; SILVEIRA; GONZAGA, 2017).

Barbosa Filho et al. (2008) propuseram analisar a eficácia da recomendação da adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro através do ISN. Trabalhando com a cultivar Pérola e o clorofilômetro Minolta SPAD-502, avaliaram diferentes doses de N, sendo que a parcela de referência recebeu 240 kg ha^{-1} e os demais tratamentos foram ajustados de acordo com recomendações regionais para o feijoeiro ou de acordo com o ISN, utilizando-se o índice de suficiência de N menor que 90%. Desse modo, sempre que o ISN estivesse menor que 90% em relação à área de referência, uma dose de 30 kg ha^{-1} de N seria aplicada em cobertura. As leituras começaram aos 28 dias após a emergência (DAE) e desde então passaram a ser realizadas semanalmente.

Ainda segundo os autores, o tratamento realizado com auxílio do clorofilômetro para a determinação da época em que a lavoura necessitava do fornecimento de N via adubação, não diferenciou do tratamento realizado com base nas recomendações regionais para a cultura, proporcionando maior eficiência agrônômica na utilização do nutriente, com economia de 60 kg ha^{-1} de N. De acordo com o critério da produtividade relativa, proposto por Cate e Nelson (1971), os IRC obtidos através das leituras realizadas pelo aparelho SPAD-502, iguais a 43 aos 28 DAE e 46 aos 49 DAE, são os mínimos para a obtenção da produtividade superior a 90% da máxima. Sendo assim, os autores concluíram que o clorofilômetro é uma ferramenta eficiente para o monitoramento da lavoura na determinação da necessidade da adubação nitrogenada.

Com o objetivo de avaliar formas e épocas de aplicação da fertilização nitrogenada em cobertura no feijoeiro, Barbosa Filho et al. (2009), conduziram um experimento com a cultivar Pérola. Auxiliados pelo medidor portátil de clorofila SPAD-502, adotando um ISN de 90% como proposto por Hussain et al. (2000), e a realização da aplicação de 30 kg ha^{-1} de N sempre que o ISN calculado estivesse abaixo deste valor, obtiveram uma maior eficiência agrônômica na adubação nitrogenada quando comparada aos tratamentos realizados com base em recomendações tradicionais. Desta forma, os autores concluíram que o uso do ISN menor que 90% pode ser um bom indicador da necessidade de N em cobertura e que os valores das leituras iguais a 42 aos 30 DAE e de 46 no pleno florescimento do feijoeiro precisam ser alcançados para a obtenção de 90% da produtividade máxima, de acordo com o critério da produtividade relativa, proposto por Cate e Nelson (1971).

Baseado no trabalho de Varve et al. (1997), Maia et al. (2012) também propuseram trabalhar com ISN de 90 e 95%. Foi avaliada a cultivar de feijão Pérola com base nas leituras dos IRC obtidos com o clorofilômetro portátil modelo Minolta SPAD-502. Uma dose de 30 kg ha⁻¹ de N foi utilizada sempre que o ISN, calculado de acordo com a área de referência, estivesse abaixo do ISN correspondente ao tratamento. Sendo assim, com o emprego do aparelho, foi possível monitorar o IRC, permitindo definir a melhor época para aplicação do N em cobertura. O ISN de 90% se mostrou mais eficiente na tomada de decisão do momento da aplicação, proporcionando maior eficiência na utilização do fertilizante.

Maia et al. (2013) testaram na cultivar de feijoeiro IAC Alvorada, a eficiência dos ISN de 90% e 95%, obtidos com base nas leituras do medidor portátil de clorofila Minolta SPAD-502, comparando-os às recomendações locais para a cultura. Nos tratamentos realizados com o emprego do ISN para a tomada de decisão sobre o momento de realização da cobertura nitrogenada, foi adotada uma dose de 30 kg ha⁻¹ de N, quando o ISN calculado estivesse abaixo do correspondente ao tratamento (90 ou 95%). De acordo com os resultados, foi observado que o ISN de 90% se mostrou superior em relação ao ISN de 95%, para a cultivar testada, por possibilitar o uso de menores doses de N, com maior eficiência do fertilizante aplicado.

2.6 Fator de adubação para a definição da dose de nitrogênio na cultura do feijoeiro com base no uso de clorofilômetros

Diversas pesquisas foram realizadas, a fim de definir o melhor momento para o fornecimento de N em cobertura para a cultura do feijoeiro-comum, com o auxílio de medidores portáteis de clorofila. Para minimizar as influências de fatores que poderiam interferir na intensidade da cor verde das folhas, foi empregado o ISN, o qual seria considerado na tomada de decisão sobre o fornecimento de N em cobertura à cultura.

No entanto, Silveira e Gonzaga (2017) propuseram, além da determinação do valor do ISN, a definição da dose de N a ser aplicada em cobertura de acordo com estes índices. Os autores implantaram um primeiro experimento, com a cultivar Pérola. Após a obtenção do ISN, através das leituras realizadas com aparelho SPAD-502, seis tratamentos foram estabelecidos, sendo neles testados a aplicação de N para os seis diferentes ISN (95; 94; 93; 92; 91 e 90%) que seriam alcançados. Cada tratamento foi associado a dois critérios de fertilização nitrogenada: aplicação de 1,0 e 1,5 kg ha⁻¹ de N por cada 0,1 ponto percentual inferior ao ISN do tratamento. Além disso, mais dois experimentos foram realizados, um com

a cultivar Pérola e outro com a linhagem CNPF 15874, em ambos, o ISN pretendido pelos autores foi de 95% e os tratamentos foram os fatores de adubação de 0,4; 0,8; 1,2; e 1,6 kg ha⁻¹ de N, aplicados para cada 0,1 ponto percentual abaixo do ISN de 95%.

Os resultados obtidos mostraram que o efeito da dose de N sobre o rendimento de grãos foi positivo. No primeiro experimento com a cultivar Pérola, pode-se estimar a produtividade máxima de grãos, de 3.063 kg ha⁻¹, obtida com 96 kg ha⁻¹ de N, utilizando o ISN de 95% e o fator de adubação de 1,1 kg ha⁻¹ de N a cada 0,1% abaixo dele. No segundo experimento, realizado também com a cultivar Pérola, e adotando-se um ISN de 95%, o fator de adubação que apresentou o melhor resultado foi de 1,5 kg ha⁻¹ de N. Para a linhagem CNPF 15874, com uma dose de 125 kg ha⁻¹ de N, foi alcançado uma produtividade média de 3.166 kg ha⁻¹, proporcionado pelo fator de adubação de 1,3 kg ha⁻¹ para cada 0,1 ponto percentual abaixo do ISN de 95%. Dessa maneira, os autores concluíram que o ISN adequado para o feijoeiro é 95%, e para cada 0,1% abaixo desse valor, uma dose entre 1,1 e 1,5 kg ha⁻¹ de N deve ser fornecida através da adubação nitrogenada.

Os resultados obtidos nos trabalhos citados evidenciam que há uma resposta diferenciada das cultivares em relação à dose de adubo nitrogenado aplicado em cobertura, estimada com base no uso dos clorofilômetros. Assim como as divergências nos resultados obtidas entre autores, indicam a necessidade de maiores esclarecimentos sobre qual ISN é mais adequado para o feijoeiro-comum. Visto que diferentes genótipos de feijoeiro cultivados em um mesmo ambiente, podem apresentar diferentes índices de suficiência de nitrogênio considerados como adequados e ainda, é possível que exista diferenças de precisão na obtenção do índice relativo de clorofila entre diferentes aparelhos medidores de clorofila.

REFERÊNCIAS

- ABRANTES, F. A.; SÁ, M. E.; SOUZA, L. C. D.; SILVA, M. P.; SIMIDU, H. M.; ANDREOTTI, M.; BUZETTI, S.; VALÉRIO FILHO, W. V.; ARRUDA, N. Uso do regulador de crescimento em cultivares de feijão de inverno. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 21, p. 148-154, 2011.
- AMBROSANO, E. J.; TANAKA, R. T.; MASCARENHAS, H. A. A. Leguminosas e oleaginosas. In: RAIJ, B.; VAN; CANTARELA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônômico e Fundação IAC, 1996. p.189-203.
- ANDA. Associação Nacional para Difusão de Adubos. **Estatística**: principais indicadores do setor de fertilizantes, 2019. Disponível em:<<http://www.anda.org.br>>. Acesso em: 29 jun. 2019.
- BARBOSA FILHO, M. P.; COBUCCI, T.; FAGERIA, N. K.; MENDES, P. N. **Utilização do medidor do teor de clorofila para recomendação da adubação nitrogenada de cobertura do feijoeiro irrigado**. Embrapa Arroz e Feijão, 2007. (Comunicado Técnico).
- BARBOSA FILHO, M. P.; COBUCCI, T.; FAGERIA, N. K.; MENDES, P. N. Determinação da necessidade de adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro irrigado com auxílio do clorofilômetro portátil. **Ciência Rural**, v. 38, p. 1843-1848, 2008.
- BARBOSA FILHO, M. P.; COBUCCI, T.; FAGERIA, N. K.; MENDES, P. N. Época de aplicação de nitrogênio no feijoeiro irrigado monitorada com auxílio de sensor portátil. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, p. 425-431, 2009.
- BINOTTI, F. F. S.; ROMANINI, A. A. O.; FERNANDES, F. A.; SÁ, M. E.; BUZETTI, S. Manejo do solo e da adubação nitrogenada na cultura de feijão de inverno e irrigado. **Bragantia**, v. 66, p. 121-129, 2007.
- BLACKMER, T. M.; SCHEPERS, J. S.; VIGIL, M. F. Chlorophyll meter readings in corn as affected by plant spacing. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 24, p. 2507-2516, 1993.
- BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria v. 30, p. 365-372, 2000.
- BORÉM, A.; CARNEIRO, J. E. S. A cultura. In: VIEIRA, C.; PAULA JUNIOR, T. J.; BORÉM, A (Ed.). **Feijão**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2006. p.13-18.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 375-470.
- CARVALHO, E. A. **Avaliação agrônômica da disponibilização de nitrogênio a cultura de feijão sob sistema de semeadura direta**. 2002. 80 p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2002.

CARVALHO, M. A. C.; FURLANI JUNIOR, E.; ARF, O.; SÁ, M. E.; PAULINO, H. B.; BUZETTI, S. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio e teores foliares deste nutriente e de clorofila em feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, 2003.

CARVALHO, M. A. F.; SILVEIRA, P. M.; SANTOS, A. B. **Utilização do clorofilômetro para racionalização da adubação nitrogenada nas culturas do arroz e do feijoeiro**. Embrapa Arroz e Feijão, 2012. (Comunicado Técnico).

CATE, R. B.; NELSON, L. A. A simple statistical procedure for partitioning soil correlation data into classes. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 35, p. 658-660, 1971.

CHAPMAN, S. C.; BARRETO, H. J. Using a chlorophyll meter to estimate specific leaf nitrogen of tropical maize during vegetative growth. **Agronomy Journal**, Madison v. 89, p. 557-562, 1997.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Perspectivas para a agropecuária**. Brasília, v. 6, p. 1-112, ago. 2018a. Disponível em < <https://www.conab.gov.br/perspectivas-para-a-agropecuaria>>. Acesso em: 05 jun. 2019.

_____. Companhia Nacional de Abastecimento. **Planilha de custo de produção-culturas de 1ª safra**, março de 2018b. Disponível em: < <https://www.conab.gov.br/info-agro/custos-de-producao/planilhas-de-custo-de-producao/itemlist/category/406-planilhas-de-custos-de-producao-culturas-de-1-safra>>. Acesso em: 25 jun. 2019.

_____. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira: Grãos**. v. 6. Safra 2018/19 - Sétimo levantamento, Brasília, abril 2019a. p. 1-69.

_____. Companhia Nacional de Abastecimento. **Insumos Agropecuários, grupo: fertilizante químico**, 2019b. Disponível em: < <http://consultaweb.conab.gov.br/consultas/consultaInsumo.do;jsessionid=C8C5E74071EEA97F266FFB1355C9F012?method=acaoListarConsulta>>. Acesso em: 29 jun. 2019.

DAMIAN, J. M.; SANTI, A. L.; CHERUBIN, M. R.; DE CASTRO PIAS, O. H.; SIMON, D. H.; SILVA, R. F. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio para o feijoeiro cultivado na safrinha. **Agrarian**, v. 11(40), p. 105-113, 2018.

DWYER, L. M.; TOLLENAAR, M.; HOUWING, L. A nondestructive method to monitor leaf greenness in corn. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 71, p. 505-509, 1991.

DWYER, L. M.; ANDERSON, A. M.; MA, B. L. Quantifying the nonlinearity in chlorophyll meter response to corn leaf nitrogen concentration. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 75, n. 1, p. 179-182, 1995.

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

FAGERIA, N. K.; STONE, L. F.; SANTOS, A. B. **Maximização da eficiência de produção das culturas**. Brasília, DF: Embrapa Comunicação para Transferência Tecnologia, 1999.

FALKER, A. A. **Medidor eletrônico de clorofila ClorofiLOG CFL 1030**: Manual de instrução. Porto Alegre, 2008. 33 p.

FURLANI JÚNIOR, E.; NAKAGAWA, J.; BULHÕES, L. J.; MOREIRA, J. A. A.; GRASSI FILHO, H. Correlação entre leituras de clorofila e níveis de nitrogênio aplicados em feijoeiro. **Bragantia**, Campinas v. 55, p. 171-175, 1996.

HUSSAIN, F.; BRONSON, K. F.; PENG, S. Use of chlorophyll meter sufficiency indices for nitrogen management of irrigated rice in Asia. **Agronomy Journal**, v. 92, p. 875-879, 2000.

LEMO, L. B.; FORNASIERI FILHO, D.; CAMARGO, M. B.; SILVA, T. R. B.; SORATTO, R. P. Inoculação de rizóbio e adubação nitrogenada em genótipos de feijoeiro. **Agronomia**, v. 37, 2003.

LOPES, A. S.; BASTOS, A. R. R.; DAHER, E. Uso eficiente de fertilizantes nitrogenados e sulfatados na agricultura brasileira: uma visão do futuro. In: YAMADA, T.; STIPP, S. R.; VITTI, G. C. (Eds.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: INPI, 2007. p. 161-187.

MAIA, S. C. M.; SORATO, R. P.; BIAZOTTO, F. O.; ALMEIDA, A. Q. d. Estimativa da necessidade de nitrogênio em cobertura no feijoeiro IAC Alvorada com clorofilômetro portátil. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, 2013.

MAIA, S. C. M.; SORATO, R. P.; NASTARO, B.; FREITAS, L. B. d. The nitrogen sufficiency index underlying estimates of nitrogen fertilization requirements of common bean. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 183-192, 2012.

MAPA. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Plano Nacional para o Desenvolvimento da Cadeia Produtiva do Feijão e Pulses**. Brasília, DF, 2018a. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/noticias/plano-para-aumentar-producao-de-feijao-e-pulses-e-lancado-no-mapa/cartilhafeijaobaixa.pdf>>. Acesso em: 05 jun. 2019.

_____. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Projeções do Agronegócio. Brasil 2017/18 a 2027/28. Projeções de Longo Prazo**. Brasília, 2018b.

MARTINS, F. A. D. **Sistemas de manejo e população de plantas na cultura do feijoeiro comum**. 159 p. Tese (Agronomia/Fitotecnia); Universidade Federal de Lavras (UFLA), 2016.

MEIRA, F. D. A.; BUZETTI, S.; ARF, O. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio no feijoeiro irrigado cultivado em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, p. 383-388, 2005.

MESQUITA, F. R.; CORRÊA, A. D.; ABREU, C. M. P.; LIMA, R. A. Z.; ABREU, A. Linhagens de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.): composição química e digestibilidade protéica. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1413-70542007000400026&lng=en&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 10 jun. 2019.

MURDOCK, L.; JONES, S.; BOWLEY, C.; NEEDHAM, P.; JAMES, J.; HOWE, P. **Using a chlorophyll meter to make nitrogen recommendations on wheat.** University of Kentucky Cooperative Extension Service: Lexington, KY, 1997.

PENG, S.; GARCIA, F. V.; LAZA, R. C.; CASSMAN, K. G. Adjustment for specific leaf weight improves chlorophyll meter estimate of rice leaf nitrogen concentration. **Agronomy Journal**, Madison, v. 85, p. 987-990, 1993.

PIEKIELEK, W. P.; FOX, R. H. Use of a chlorophyll meter to predict sidedress nitrogen requirements for maize. **Agronomy Journal**, Madison, v. 84, p. 59-65, 1992.

PORTES, T. A. Ecofisiologia. In: ARAÚJO, R. S. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil.** Piracicaba: Potafós, 1996. p.101-131.

ROSOLEM, C.; MARUBAYASHI, O. M. Seja o doutor do seu feijoeiro. **Informações agrônômicas**, Piracicaba: Potafos, v. 68, p. 01-16, 1994.

SALGADO, F. H. M.; SILVA, J.; OLIVEIRA, T. C. de; BARROS, H. B.; PASSOS, N. G. de; FIDELIS, R. R. Eficiência de genótipos de feijoeiro em resposta à adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, 2012.

SANT'ANA, E. V. P.; SANTOS, A. B.; SILVEIRA, P. M. de. Adubação nitrogenada na produtividade, leitura SPAD e teor de nitrogênio em folhas de feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, 2010.

SHAPIRO, C. A.; SCHEPERS, J. S.; FRANCIS, D. D.; SHANAHAN, J. F. Using a chlorophyll meter to improve N management. Neb G 1632. **Coop. Ext. Serv.**, Univ. of Nebraska, Lincoln, 2006.

SILVA, C. C. d. **Influência de sistemas agrícolas em características do solo e na resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) irrigado à adubação nitrogenada em cobertura.** 1998. 96 p. Tese (Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 1998.

SILVA, C. C.; SILVEIRA, P. M. Influência de sistemas agrícolas na resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) irrigado à adubação nitrogenada em cobertura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 30, n. 1, p. 86-96, 2000.

SILVA, C. C.; PELOSO, M. J. **Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro comum na região Central-brasileira 2005–2007.** Santo Antônio de Goiás, GO, 2006.

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

SILVEIRA, P. M. de.; GONZAGA, A. C. de. O. Portable chlorophyll meter can estimate the nitrogen sufficiency index and levels of topdressing nitrogen in common bean. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 47, p. 1-6, 2017.

SOUZA, S. R.; FERNANDES, M. S. Nitrogênio. In: Fernandes MS (Ed.) **Nutrição mineral de plantas.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 215-252.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.

VALDERRAMA, M.; BUZETTI, S.; BENETT, C. G. S.; ANDREOTTI, M.; ARF, O.; de SÁ, M. E. Fontes e doses de nitrogênio e fósforo em feijoeiro no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, p.191-196, 2009.

VARVE, G. E.; SCHEPERS, J. S.; FRANCIS, D. D. Ability for in-season correction of nitrogen deficiency in corn using chlorophyll meters. **Soil Science Society of America Journal**, v. 61, p. 1233-1239, 1997.

YADAWA, U. L. A rapid and nondestructive method to determine chlorophyll in intact leaves. **HortScience**, v. 21, p. 1449-1450, 1986.

CAPÍTULO 2 DEFINIÇÃO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA PARA AS CULTIVARES DE FEIJÃO TAA GOL E PÉROLA COM BASE NA UTILIZAÇÃO DE MEDIDORES PORTÁTEIS DE CLOROFILA

RESUMO

Diante da importância da adubação nitrogenada na cultura do feijoeiro, alguns trabalhos foram realizados com o objetivo de melhorar a eficiência de utilização dos fertilizantes nitrogenados. Nesse contexto, estão inseridos os medidores portáteis de clorofila, utilizados na tomada de decisão sobre quando e quanto nitrogênio fornecer à cultura, depois de realizadas as devidas calibrações e validações. No entanto, poucos são os trabalhos que estudaram cultivares de ciclo precoce. Desse modo, objetivou-se avaliar a utilização dos medidores portáteis de clorofila na definição da adubação nitrogenada em cobertura para duas cultivares de feijão, uma precoce, a TAA Gol, e outra de ciclo normal, a Pérola, com dois diferentes clorofilômetros portáteis. Os estudos foram desenvolvidos no município de Lavras-MG, em duas etapas, sendo cada uma delas composta por quatro experimentos, correspondentes a cada uma das cultivares combinadas a cada um dos aparelhos utilizados. Na primeira etapa do projeto, realizada na safra 2017/18, para cada experimento os tratamentos foram constituídos por aplicações de N correspondentes a quatro índices de suficiência de nitrogênio (ISN). Foi implantada uma área de referência para cada um dos genótipos avaliados, sendo ela em comum para os dois clorofilômetros. Após o estabelecimento dos ISN, foi realizada a adubação nitrogenada de cobertura, associando o critério de adubação a cada um deles, no qual a cada 1% inferior ao ISN do tratamento, aplicou-se 15 kg ha⁻¹ de N. Na segunda etapa do projeto, na safra 2018/19, em cada experimento foi adotado o ISN que apresentou os melhores resultados na primeira etapa experimental. Os tratamentos foram constituídos pelos fatores de adubações: 0; 5; 10 e 20 kg ha⁻¹ de N para cada 1% abaixo do ISN do tratamento. Por ocasião do florescimento foram realizadas novas leituras com os aparelhos, as folhas amostradas foram destacadas e destinadas à análise foliar para quantificação do N. Ao final do ciclo de cada cultivar foram avaliados: o número de vagens por plantas, o número de grãos por vagem, a massa de 100 grãos, a produtividade de grãos e o teor de N nos grãos. Os dados foram submetidos a análises de variância e ao detectar diferenças significativas, as análises de regressão e os demais testes foram realizados. As discrepâncias entre os ISN obtidos pelos aparelhos em uma mesma cultivar, e por um aparelho em cultivares diferentes, não permitiu a realização de uma análise conjunta entre experimentos. Sendo assim, observa-se a necessidade do ajuste da metodologia de utilização dos ISN, para a definição das doses de N fornecidas em cobertura, de acordo com o genótipo cultivado e com o aparelho que será utilizado. Não foi possível a obtenção de ajustes precisos para metodologia de utilização dos clorofilômetros para a cultivar TAA Gol. A combinação do fator de adubação de 12,5 kg ha⁻¹ de N a cada 1 % abaixo do ISN de 90% mostrou-se eficiente para a cultivar Pérola, quando utilizado o clorofilômetro SPAD-502. Somente o índice relativo de clorofila obtido no período de florescimento, não é eficiente para determinar o estado nutricional da lavoura em relação ao nitrogênio.

Palavras-chaves: *Phaseolus vulgaris* L. Cultivar de ciclo precoce. Adubação de cobertura.

NITROGEN FERTILIZATION DEFINITION FOR TAA GOL AND PÉROLA BEAN CULTIVARS BASED ON THE USE OF PORTABLE CHLOROPHYLL METERS

ABSTRACT

Given the importance of nitrogen fertilization in common bean crop, some studies were carried out aiming to improve the efficiency of nitrogen fertilizer utilization. In this context, portable chlorophyll meters are used, adopted to make decisions about when and how much nitrogen to supply to the culture, after the necessary calibrations and validations. However, few studies have studied early cycle cultivars. Thus, the objective was to evaluate the use of portable chlorophyll meters in the definition of nitrogen fertilization in coverage for two bean cultivars, one early, TAA Gol and the other with normal cycle, Pearl, with two different portable chlorophyll meters. The studies were carried out in the city of Lavras-MG, in two stages, each consisting of four experiments, corresponding to each of the cultivars combined to each of the used devices. In the first stage of the project, which was carried out in the 2017/18 crop, for each experiment the treatments consisted of N applications corresponding to four nitrogen sufficiency indices (ISN). A reference area was implanted for each of the evaluated genotypes, being this area common for both chlorophyll meters. After the establishment of the ISN, nitrogen fertilization was performed, associating the fertilization criterion to each one of them, in which each 1% lower than the treatment ISN, 15 kg ha⁻¹ of N was applied. In the 2018/19 crop year, the ISN adopted the best results in the first experimental stage. The treatments consisted of the fertilizer factors: 0; 5; 10 and 20 kg ha⁻¹ N for each 1% below the treatment ISN. At flowering, new readings were performed with the devices, the leaves were detached and destined for leaf analysis to quantify N. At the end of the cycle of each cultivar, the number of pods per plant, the number of beans per pod, 100 grain mass, grain yield and N content in grains were evaluated. Data were submitted to analysis of variance and when detecting significant differences, regression analysis and other tests were performed. The discrepancies between the ISN obtained by the devices in the same cultivar and by one device in different cultivars did not allow a joint analysis between experiments. For this reason, there is a need to adjust the methodology of use of ISN to define the doses of N provided in coverage, according to the genotype cultivated and the apparatus that will be used. It was not possible to obtain precise adjustments for the chlorophyll usage methodology meters for TAA Gol cultivar. The combination of a fertilization factor of 12.5 kg ha⁻¹ of N every 1% below the 90% ISN proved to be efficient for the Pearl cultivar when the SPAD-502 chlorophyll meter was used. Only the relative chlorophyll index obtained during flowering is not efficient to determine the nutritional status of the crop in relation to nitrogen.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L. Early-cycle cultivar. Coating fertilization.

1 INTRODUÇÃO

O nitrogênio (N) é o nutriente exigido em maior quantidade pelo feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.), necessitando que o manejo da adubação nitrogenada seja feito da melhor forma possível. A disponibilidade de N às plantas caracteriza-se como um dos fatores de maior influência sobre produtividade de grãos (ALBUQUERQUE et al., 2012).

A absorção de nutrientes ocorre durante todo o ciclo da cultura, sendo a fase antecessora ao florescimento descrita como a mais exigente. Contudo, a eficiência do fornecimento de nutrientes ao feijoeiro está diretamente ligada ao teor de matéria orgânica do solo, ao sistema de plantio adotado, à palhada remanescente sobre o solo e às características físicas do solo (BARBOSA FILHO; SILVA, 2000).

O nitrogênio está sujeito a uma série de processos no solo, os quais poderão influenciar sua disponibilidade às plantas e, conseqüentemente, na correta recomendação da adubação nitrogenada (BARBOSA FILHO et al., 2009). Diante dessa dinâmica complexa, diferentes autores têm citado o monitoramento do índice de clorofila nas folhas, através do emprego de clorofilômetros, após sua devida calibração, como alternativa para melhorar a eficiência de utilização dos fertilizantes nitrogenados (BARBOSA FILHO et al., 2008; MAIA et al., 2012; MAIA et al., 2013; MENEGOL et al., 2015). Segundo Soratto et al. (2004), a eficiência dos clorofilômetros é baseada na correlação positiva existente entre o teor de clorofila e o teor de nitrogênio nas folhas.

Com os clorofilômetros, é possível obter o índice relativo de clorofila (IRC), de forma instantânea e não destrutiva. No entanto, diversos fatores podem influenciar a medição da concentração de clorofila realizada por esses aparelhos no momento das leituras (SILVEIRA; GONZAGA, 2017). Nesse contexto, foi criado o índice de suficiência de nitrogênio (ISN), que tem como objetivo isolar o efeito do teor de N foliar de outros fatores que possam interferir na quantificação do IRC, feita pelos clorofilômetros (HUSSAIN et al., 2000).

Maia et al. (2012; 2013) avaliaram a eficiência da utilização de diferentes ISN, visando aumentar a eficiência de utilização dos fertilizantes nitrogenados. Silveira e Gonzaga (2017), propuseram além da definição do ISN como indicador da necessidade do fornecimento de N, a quantificação da adubação nitrogenada, através da combinação entre um fator de adubação e um ISN considerado como adequado para o feijoeiro. No entanto, os estudos foram realizados com poucas variações entre os genótipos analisados e, de acordo com o MAPA (2019), há atualmente no Brasil 351 cultivares de feijão registradas, sendo grande parte delas pertencente ao grupo comercial carioca.

Conforme Silveira e Gonzaga (2017), as recomendações seriam que a adubação nitrogenada da área de referência fosse realizada em aproximadamente 8 dias após a emergência do feijoeiro, sendo as leituras de clorofila e a determinação do ISN realizadas 10 a 15 dias após essa adubação. Dessa forma, aparentemente, a adubação nitrogenada seria um pouco tardia para cultivares precoces, com ciclo entre aproximadamente 65 e 70 dias e florescimento entre 27 a 33 dias (REZENDE JÚNIOR, 2016). Esses fatos evidenciam a necessidade de outros estudos, principalmente para as cultivares precoces existentes no mercado brasileiro.

Desse modo, objetivou-se avaliar o potencial de utilização dos medidores portáteis de clorofila como ferramentas de auxílio na definição da adubação nitrogenada em cobertura para duas cultivares de feijão (TAA Gol e Pérola), através do uso de dois diferentes clorofilômetros portáteis. Pretendeu-se também, verificar a precisão dos aparelhos em relacionar os valores das leituras realizadas por ocasião do florescimento ao estado nutricional apresentado pelas plantas, em relação ao nitrogênio.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A obtenção dos índices de suficiência de nitrogênio (ISN) e a definição das doses de nitrogênio relacionadas aos ISN foram realizadas em duas etapas, sendo cada uma delas compostas por quatro experimentos referentes as duas cultivares analisadas com cada um dos aparelhos utilizados.

2.1 Local

Em ambas as etapas, os experimentos foram desenvolvidos no Centro de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Agropecuária da Universidade Federal de Lavras (CDCT) – Fazenda Muquém, localizado no município de Lavras, sul de Minas Gerais.

A fazenda localiza-se em 21°14'43" S e 44°59'59" W, em uma altitude de 919 metros. A classificação climática da região, segundo Köppen, é do tipo Cwa (temperado chuvoso) com inverno seco e verão chuvoso. A temperatura média anual é de 20,4 °C, sendo janeiro o mês mais quente, com temperatura média de 22,9 °C, em que a média máxima é de 28,0 °C e a mínima de 17,8 °C. Julho, o mês mais frio, apresenta média de 16,9 °C, sendo 23,9 °C e 10,0 °C as médias máxima e mínima, respectivamente. A precipitação anual média é de 1433,3 mm.

Os experimentos foram realizados em Latossolo Vermelho Amarelo (EMBRAPA, 2006). Os atributos químicos do solo, na camada de 0-20 cm, estão apresentados na Tabela 1. Os dados relativos à precipitação pluviométrica e às temperaturas máximas e mínimas ocorridas durante o período de condução dos experimentos estão ilustrados nas Figuras 1 e 2.

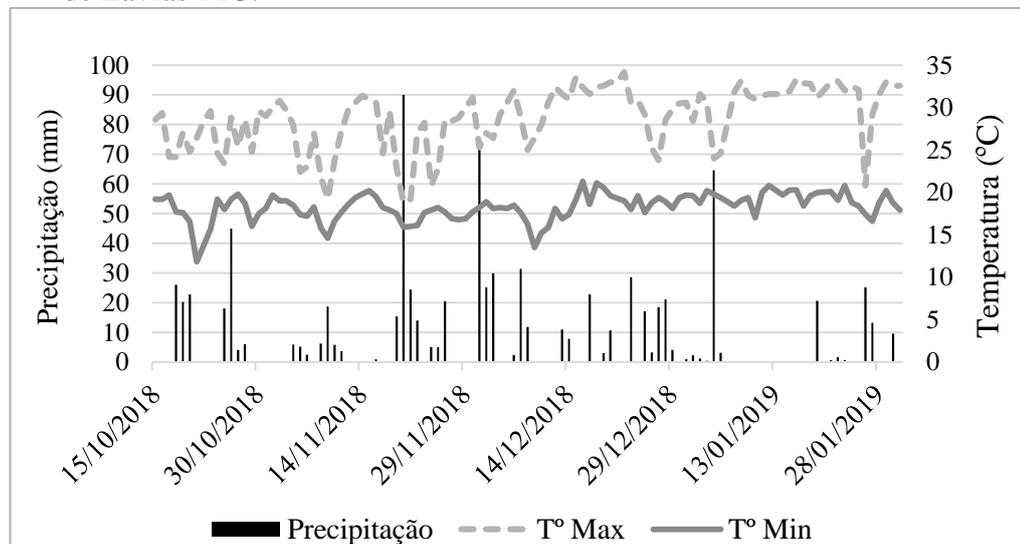
Tabela 1 - Resultado das análises químicas de solo, na camada de 0-20 cm de profundidade, referentes às áreas de implantação dos experimentos realizados para obtenção dos ISN (2017/2018) e para definição dos fatores de adubação (2018/2019). Lavras, MG.

| Atributos | Experimentos | |
|--------------------------------|---------------|---------------|
| | Safra 2017/18 | Safra 2018/19 |
| pH* | 5,2 | 6,5 |
| K (mg dm ⁻³) | 120,5 | 117,8 |
| P (mg dm ⁻³)** | 12,5 | 4,6 |
| Ca (cmolc dm ⁻³) | 2,3 | 4,0 |
| Mg (cmolc dm ⁻³) | 0,6 | 1,4 |
| Al (cmolc dm ⁻³) | 0,04 | 0,00 |
| H+AL (cmolc dm ⁻³) | 4,8 | 1,5 |
| SB (cmolc dm ⁻³) | 3,24 | 5,72 |
| t (cmolc dm ⁻³) | 3,28 | 5,72 |
| T (cmolc dm ⁻³) | 8,01 | 7,22 |
| V (%) | 40,5 | 79,2 |
| m (%) | 1,25 | 0,00 |
| M.O (dag kg ⁻¹) | 2,0 | 3,6 |
| P-Rem (mg L ⁻¹) | 24,0 | 16,3 |
| Zn (mg dm ⁻³) | 4,88 | 3,4 |
| Fe (mg dm ⁻³) | 71,1 | 47,6 |
| Mn (mg dm ⁻³) | 10,0 | 8,6 |
| Cu (mg dm ⁻³) | 1,0 | 0,5 |
| B (mg dm ⁻³) | 0,29 | 0,24 |
| S (mg dm ⁻³) | 0,74 | 4,90 |

*pH em H₂O; **P –Mehlich-1.

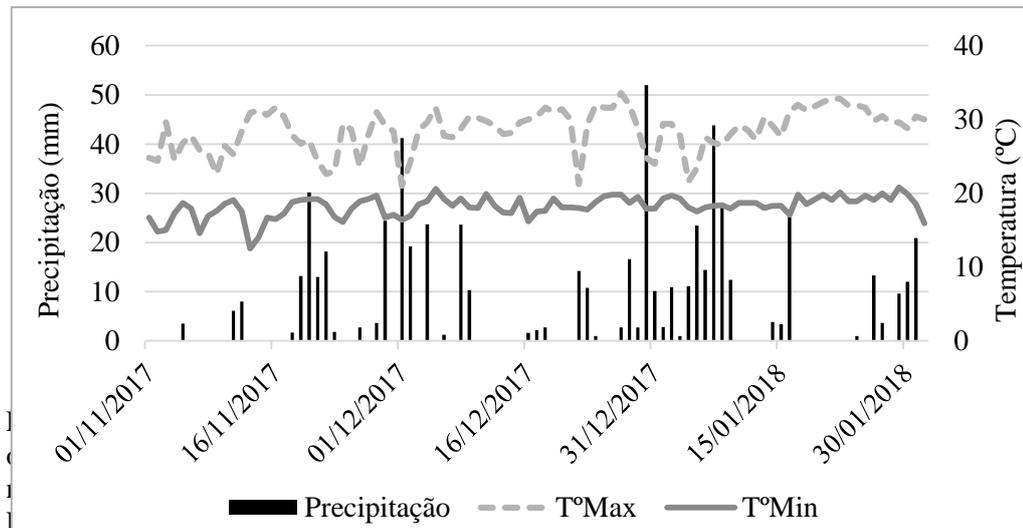
Fonte: Do autor (2019).

Figura 1 - Precipitação, temperaturas máximas (T°Max) e mínimas (T°Min) referentes ao período de realização dos experimentos conduzidos na safra 2017/2018, na cidade de Lavras-MG.



Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (2019).

Figura 2 - Precipitação, temperaturas máximas (T°Max) e mínimas (T°Min) referentes ao período de realização dos experimentos conduzidos na safra 2018/2019, na cidade de Lavras-MG.



Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (2019).

2.2 Cultivares utilizadas e tratamento de sementes

Em ambas as etapas do projeto foram utilizadas as cultivares de feijão TAA Gol e Pérola. Como pode ser consultado no Registro Nacional de Cultivares, realizado pelo MAPA (2019), a cultivar Pérola é classificada como uma planta tipo III, apresentando hábito de crescimento indeterminado, porte semiereto e seu ciclo, entre a emergência e a maturação fisiológica, com aproximadamente 90 dias. A cultivar de feijão TAA Gol, assim como a cultivar Pérola, pertence ao grupo comercial carioca, possui hábito de crescimento determinado, sendo classificada como tipo I, e ciclo por volta de 70 dias, entre a emergência e a maturidade fisiológica.

O tratamento de sementes foi realizado previamente às semeaduras com um produto fungicida/inseticida a base de piraclostrobina (25 g L^{-1}), tiofanato metílico (225 g L^{-1}) e fipronil (250 g L^{-1}), na dose de 2 mL kg^{-1} de sementes. Juntamente ao produto protetor, foi adicionado o tratamento nutricional a base de cobalto ($6,0 \text{ g L}^{-1}$), molibdênio (120 g L^{-1}) e níquel (12 g L^{-1}), na dose de 150 mL ha^{-1} .

2.3 Delineamento experimental e implantação dos experimentos

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com quatro repetições. Realizou-se a semeadura no espaçamento de 0,60 m entre linhas. O número de plantas por metro foi definido em função das características de porte apresentadas por cada cultivar. Assim foram utilizadas 11 e 17 sementes por metro para as cultivares Pérola e TAA Gol, respectivamente. Cada parcela experimental foi composta por 4 linhas de 5 metros de comprimento, e as duas linhas centrais consideradas área útil.

A primeira etapa experimental, foi implantada em solo, sob sistema de plantio direto com palhada de milho. A semeadura foi realizada em 08/11/2017, durante a safra primavera-verão de 2017/2018, com o objetivo de estabelecer o ISN mais adequado para cada cultivar avaliada de acordo com o aparelho utilizado. Foi realizada a correção do solo, visando elevar a saturação de bases a 70%, com o fornecimento de 3 toneladas ha^{-1} de calcário. A adubação de plantio foi feita com 270 kg ha^{-1} do formulado NPK 09-38-00 + 18% de enxofre (S); 0,15% de boro (B); 0,15% de cobre (Cu); 0,45% de manganês (Mn) e 0,45% de zinco (Zn), sendo realizada no dia seguinte ao plantio, adubação a lanço em área total com 50 kg ha^{-1} de K_2O .

Os experimentos da segunda etapa do projeto foram implantados em solo sob sistema de preparo convencional, com objetivo de validar a eficiência dos ISN adotados na etapa anterior e verificar qual seria a dose adequada para aplicação de N. A semeadura foi realizada em 24/10/2018, durante a safra primavera-verão de 2018/2019. A adubação de plantio foi realizada com 416 kg ha^{-1} do formulado NPK 01-28-00 + 10% de cálcio (Ca) e 5% de S. No dia seguinte ao plantio realizou-se a adubação a lanço em área total com 20 kg ha^{-1} de N e 80 kg ha^{-1} de K_2O , utilizando-se como fonte a ureia (45% de N) e o cloreto de potássio (60% de K_2O), respectivamente. Na segunda etapa experimental, o fornecimento de micronutrientes foi realizado através de aplicações foliares. Assim como na etapa anterior, a adubação foi realizada de acordo com a análise de solo seguindo as recomendações de Souza e Lobato (2004).

2.4 Tratos culturais

Durante o período de condução dos experimentos os controles de plantas daninhas de espécies de folhas largas e de folhas estreitas, foram realizados com um intervalo de tempo de 5 dias entre um e outro. Ambos aconteceram no estádio V4, com o uso de herbicidas seletivos e registrados para o feijoeiro.

No controle de doenças e pragas também foram utilizados produtos registrados para a cultura, baseando-se no monitoramento de insetos e doenças, de forma que fosse minimizada a interferência nos resultados experimentais. A Tabela 2 apresenta a relação de princípio ativo, concentração e dose dos produtos utilizados.

Tabela 2 - Relação de princípio ativo, concentração (g i a. L⁻¹) e dose (L ha⁻¹) dos produtos utilizados para o controle de plantas daninhas, pragas e doenças dos experimentos conduzidos durante as duas etapas do projeto.

| Finalidade | Princípio ativo | Concentração (g i a. L ⁻¹) | Dose (L ha ⁻¹) |
|------------|-----------------------|--|----------------------------|
| Herbicida | Bentazona | 600 | 1,0 |
| | Imazamoxi | 28 | 1,0 |
| | Fomesafem | 250 | 0,5 |
| | Fluasifope-P-Butílico | 250 | 0,6 |
| Inseticida | Tiametoxam | 141 | 0,2 |
| | Lambda-Cialotrina | 106 | 0,2 |
| | Clorpirifós | 480 | 1,0 |
| Fungicida | Hidróxido de fentina | 400 | 0,5 |
| | Trifloxistrobina | 150 | 0,4 |
| | Protioconazol | 175 | 0,4 |

Fonte: Do autor (2019).

2.5 Tratamentos

2.5.1 Experimentos para obtenção dos ISN

Na primeira etapa do projeto, foram determinados quatro experimentos, sendo cada um deles referentes a uma das cultivares avaliadas, com cada um dos aparelhos utilizados. Os tratamentos em cada um dos experimentos foram constituídos por quatro ISN pretendidos. Para cada cultivar analisada foi implantada uma única área de referência, sendo elas em comum para os clorofilômetros Minolta SPAD-502 e o ClorofiLOG, modelo CFL1030.

No dia 23/11/2017, oito dias após a emergência das plantas (15/11/2017), foram realizadas as implantações das áreas de referência, conforme os trabalhos de Silveira e Gonzaga (2017). Nestas áreas, foram fornecidos 150 kg ha⁻¹ de N na cobertura, utilizando-se

ureia (45% de N), com aplicação manual entre as linhas de semeadura. De acordo com a literatura, a cultura do feijão exporta entre 23 e 38 kg de N por tonelada de grão. Portanto, entendendo-se que a dose fornecida é suficiente para suprir as necessidades da cultura, em relação ao N, e alcançar uma elevada produtividade de grãos (FAGERIA; SANTOS, 1998; FAGERIA et al., 2004; MOREIRA, 2011).

Ressalta-se que, caso a dose de N fornecida seja excedente à necessidade da cultura, as leituras realizadas pelos aparelhos não serão influenciadas pelo consumo de luxo da planta, uma vez que o excesso de N absorvido pela planta é acumulado na forma de nitrato. O N na forma de nitrato não se associa à molécula de clorofila, ou seja, não pode ser quantificado pelo aparelho medidor de clorofila (DWYER et al., 1995).

As leituras com os clorofilômetros foram realizadas a partir da abertura do terceiro trifólio do feijoeiro (estádio V4), no dia 06/12/2017, treze dias após a implantação das áreas de referência. De acordo com Carvalho et al. (2012), é preciso que o intervalo de tempo entre a adubação da área de referência, e a realização das leituras para a obtenção dos ISN, seja de no mínimo 10 dias, período necessário para que a planta absorva o N fornecido e o transporte para a folha.

As leituras foram realizadas em cinco plantas por parcela, escolhendo-se um trifólio por planta e realizando uma leitura por folíolo, totalizando assim 15 leituras por parcela. As leituras foram feitas no 1º trifólio maduro a partir do ápice de cada planta amostrada, sendo também realizadas nas chamadas áreas de referências, as quais foram previamente adubadas.

Após a obtenção dos IRC referentes a todas as parcelas, juntamente com os IRC das áreas de referências de cada genótipo, calculou-se os ISN através da fórmula:

$$ISN (\%) = (m\u00e9dia \ de \ leituras \ das \ parcelas \ a \ serem \ adubadas \ / \ m\u00e9dia \ de \ leituras \ das \ parcelas \ de \ refer\u00eancia) \times \ 100$$

Esse procedimento foi desenvolvido para cada um dos clorofilômetros testados, com a parcela de referência em comum para os dois aparelhos, quando analisada a mesma cultivar. De acordo com o ISN obtido por cultivar, com cada um dos aparelhos utilizados, foram estipulados quatro ISN almejados.

Os quatro ISN testados foram definidos da seguinte maneira: primeiramente foi calculada a diferença entre o índice obtido no momento das leituras e o índice de 95% (definido como ISN máximo a ser alcançado). O valor da diferença foi dividido em quatro intervalos iguais, sendo o valor de cada intervalo somado em sequência ao ISN obtido no momento das leituras. A seguir, tem-se um exemplo de como os quatro ISN foram definidos: se obtido o ISN de 87% no momento das leituras e definindo o ISN de 95% como índice

máximo a ser alcançado, a diferença entre eles (8%), seria dividida em quatro intervalos iguais. Sendo assim, a soma em sequência de cada um desses intervalos (2%) ao ISN de 87% resultaria nos índices 89%, 91%, 93% e 95% a serem avaliados.

A Tabela 3 apresenta a relação das cultivares e aparelhos utilizados, assim como os ISN obtidos no estádio V4 e os ISN almeçados, definidos conforme apresentado no exemplo anterior.

Tabela 3 - Cultivares e aparelhos utilizados, ISN obtidos no estádio V4 e ISN almeçados, referentes aos experimentos conduzidos na primeira etapa do projeto, durante a safra 2017/18.

| Cultivar | Aparelho | ISN obtido | ISN almeçados | | | |
|----------|----------|------------|---------------|----|----|----|
| | | | 1° | 2° | 3° | 4° |
| TAA Gol | SPAD-502 | 75,98 | 81 | 86 | 90 | 95 |
| | CFL 1030 | 81,21 | 85 | 88 | 92 | 95 |
| Pérola | SPAD-502 | 76,90 | 81 | 86 | 90 | 95 |
| | CFL 1030 | 85,35 | 88 | 90 | 93 | 95 |

Fonte: Do autor (2019).

Depois de definidos os ISN a serem alcançados, realizou-se no dia 08/12/2017 a adubação nitrogenada de cobertura, utilizando a ureia como fonte de N. Conforme já discutido por Silveira e Gonzaga (2017), a cada 1% inferior ao ISN do tratamento, aplicou-se 15 kg ha⁻¹ de N. Desse modo, a Tabela 4 apresenta a relação das cultivares, dos aparelhos utilizados e os ISN avaliados com suas respectivas doses de N fornecidas em cobertura.

Tabela 4 - Cultivares e aparelhos utilizados, ISN avaliados e doses de N fornecidas em cobertura, referentes aos experimentos conduzidos na primeira etapa do projeto, durante a safra 2017/18.

| Cultivar TAA Gol | | | | Cultivar Pérola | | | |
|------------------|-------------------------------|----------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|----------|-------------------------------|
| SPAD-502 | | CFL 1030 | | SPAD-502 | | CFL 1030 | |
| ISN (%) | Dose N (kg ha ⁻¹) | ISN (%) | Dose N (kg ha ⁻¹) | ISN (%) | Dose N (kg ha ⁻¹) | ISN (%) | Dose N (kg ha ⁻¹) |
| 81 | 75 | 85 | 57 | 81 | 62 | 88 | 40 |
| 86 | 150 | 88 | 102 | 86 | 137 | 90 | 70 |
| 90 | 210 | 92 | 162 | 90 | 197 | 93 | 115 |
| 95 | 285 | 95 | 207 | 95 | 272 | 95 | 145 |

Fonte: Do autor (2019).

2.5.2 Experimentos para as definições dos fatores de adubação

Na segunda etapa do projeto, quatro experimentos foram implantados com as mesmas cultivares e aparelhos da etapa anterior. O ISN adotado foi o que obteve melhor desempenho para cada aparelho em cada cultivar, na primeira etapa. Os tratamentos nesta ocasião foram constituídos pelos fatores de adubações, 0; 5; 10 e 20 kg ha⁻¹ de N para cada 1% abaixo do ISN almejado. Foi implantada uma parcela de referência em cada cultivar analisada, sendo ela associada aos dois diferentes clorofilômetros utilizados.

A título de esclarecimentos, segue um exemplo de utilização dos fatores de adubação combinados ao ISN definido como mais adequado na primeira etapa experimental. Se obtido o ISN de 88% no momento das leituras e definido o ISN de 92% como mais adequado para a cultivar com o aparelho avaliado na primeira etapa experimental, a diferença entre eles (4%) seria combinada a cada um dos fatores de adubação estudados, considerando que a cada 1% inferior ao ISN almejado seriam fornecidos 0, 5, 10 ou 20 kg ha⁻¹ de N. Seguindo o exemplo exposto, combinando a diferença de 4%, observada entre o ISN obtido e o ISN almejado, com os diferentes fatores de adubação, as doses de N a serem fornecidas seriam de 0, 20, 40 e 80 kg ha⁻¹, caracterizando assim, os tratamentos da segunda etapa.

No dia 05/11/2018, sete dias após a emergência das plantas (29/10/2018), foram realizadas as implantações das áreas de referência, com o fornecimento de 150 kg ha⁻¹ de N na cobertura, utilizando-se a ureia (45% de N) como fonte de N. As aplicações foram realizadas a lanço, de forma manual entre as linhas de semeadura.

Seguindo a mesma metodologia utilizada na etapa anterior, as leituras com os clorofilômetros foram realizadas a partir da abertura do terceiro trifólio do feijoeiro (estádio V4), no dia 15/11/2018, dez dias após a implantação das áreas de referência.

Após obtenção das leituras e cálculo dos ISN para cada uma das cultivares avaliadas, com cada um dos aparelhos, foi feita a adubação de cobertura no dia 16/11/2018, visando alcançar os ISN que apresentaram os melhores resultados na etapa anterior do projeto. Foi atrelado a eles cada um dos fatores de adubação, resultando finalmente nos tratamentos referentes à segunda etapa. Na Tabela 5 estão descritas as cultivares e aparelhos utilizados, os ISN obtidos, os almejados e as doses de N, definidas de acordo com os fatores de adubação (FA).

Tabela 5 - Cultivares e aparelhos utilizados, ISN obtidos no momento das leituras, ISN almejados e dose de N, definidas de acordo com os fatores de adubação (FA), referentes aos experimentos realizados na segunda etapa do projeto, na safra 2018/19.

| Cultivar | Aparelho | ISN obtido | ISN almejado | Doses de N (kg ha ⁻¹) | | | |
|----------|----------|------------|--------------|-----------------------------------|----|----|-----|
| | | | | FA | 0 | 5 | 10 |
| TAA Gol | SPAD-502 | 84,1 | 90 | 0 | 30 | 59 | 118 |
| | CFL 1030 | 90 | 92 | 0 | 10 | 20 | 40 |
| Pérola | SPAD-502 | 86,6 | 90 | 0 | 17 | 34 | 68 |
| | CFL 1030 | 88,8 | 90 | 0 | 6 | 12 | 24 |

Fonte: Do autor (2019).

2.6 Avaliação no florescimento

Nas duas etapas do projeto, por ocasião do florescimento (estádio R6), em cada experimento foram realizadas novas leituras com os clorofilômetros em todas as parcelas. As amostras foram tomadas como anteriormente, no entanto, foram realizadas no trifólio completamente formado a partir da ponta do ramo principal. Após as obtenções das leituras, os trifólios foram destacados, submetidos a uma lavagem com água destilada, acondicionadas em sacos de papel e colocados para secar em estufa com circulação forçada de ar a uma temperatura de 65 °C, por 72 horas. Posteriormente, passaram pela análise foliar, através do método de digestão sulfúrica, conforme Silva (2009), a fim de se quantificar o teor de N foliar.

Os resultados provindos da análise foliar referentes à quantificação do N total na folha foram comparados às doses utilizadas e às leituras obtidas pelos aparelhos em cada um dos tratamentos, com o intuito de constatar a precisão de cada aparelho em relacionar os valores das leituras ao estágio nutricional, apresentados pelas folhas, em relação ao N.

2.7 Colheita

Em ambas as etapas do projeto, a colheita foi realizada de acordo com a maturidade apresentada pela cultivar em avaliação. Desse modo, as colheitas na primeira etapa do projeto foram realizadas nos dias 25/01/2018 e 01/02/2018 para as cultivares TAA Gol e Pérola, respectivamente. Na segunda etapa, as colheitas dos experimentos referentes a cultivar TAA Gol foram realizadas no dia 09/01/2019, enquanto que, os experimentos referentes a cultivar Pérola foram colhidos no dia 28/01/2018. Em todos os experimentos, as plantas foram arrancadas manualmente nas duas linhas centrais de cada parcela, e posteriormente trilhadas mecanicamente.

2.8 Caracteres avaliados

Para todos os experimentos foram avaliados o número de vagens por planta, o número de grãos por vagem e a massa de 100 grãos (g), após a padronização da umidade de grãos para 13%. Foram tomadas cinco plantas ao acaso, por parcela.

A produtividade de grãos (kg ha^{-1}) foi determinada a partir da colheita das duas linhas centrais de 5 metros de cada parcela. Após a padronização da umidade de grãos para 13%, foi definida a produtividade de grãos a partir da estimativa do rendimento por hectare, em função da área colhida na parcela.

O teor de N foliar foi quantificado através da análise do N presente na folha por meio do método de digestão sulfúrica conforme Silva (2009), seguindo a metodologia citada anteriormente.

Para avaliar o teor de N nos grãos foi coletada uma amostra aleatória dos grãos de cada parcela e colocada em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C, por 72 horas. Na sequência, foram moídas em moinho tipo Willey marca TECNAL, e submetidas à análise de grão por meio do método de digestão sulfúrica, conforme Silva (2009).

2.9 Análises dos dados

Os dados foram submetidos à análise de variância com aplicação do teste F, utilizando-se o *software* de análise estatística Sisvar® (FERREIRA, 2011). As variáveis que apresentaram significância a 5% no teste F foram submetidas à análise de regressão. Os dados referentes ao número de vagens por planta e ao número de grãos por vagem foram transformados em raiz-quadrada, para realizar as análises estatísticas.

Para justificar a escolha do ISN, na primeira etapa do trabalho, foi determinado o intervalo de confiança da estimativa da análise de regressão (ICEAR), através da Equação 1 (BATISTA, 2006).

$$ICEAR = \left[\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_0 \pm t_{(1-\frac{\alpha}{2}; n-2)} \sqrt{QME \left(\frac{1}{n} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \right)} \right] \quad (1)$$

onde,

ICEAR = intervalo de confiança da estimativa da análise de regressão;

$\hat{\beta}_0$ e $\hat{\beta}_1$ = coeficientes da regressão;

x_0 = valor de interesse pertencente à amostra;

t = valor tabelado, distribuição t Student;

α = nível de significância adotado;

n = número total de parcelas;

QME = quadrado médio do erro;

x_i = valores observados da variável preditora;

\bar{x} = valor médio das amostras;

Também foi utilizado o critério da produtividade relativa (%), proposto por Cate-Nelson (1971), calculada pela divisão das médias dos rendimentos de grãos pela média do tratamento com a maior produtividade de grãos. Os valores críticos dos ISN foram determinados nos níveis de 90% da produtividade máxima, abaixo dos quais há indicação de que possa haver resposta à aplicação de N suplementar (BARBOSA FILHO et al., 2008).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Comparando os dois clorofilômetros utilizados em uma mesma cultivar e os valores obtidos por um mesmo aparelho em cultivares diferentes, foram observadas divergências entre os índices de suficiência de nitrogênio (ISN) obtidos no momento das leituras, em ambas as etapas experimentais.

Sendo assim, na primeira etapa do projeto são apresentados resultados referentes às análises dos ISN definidos com cada um dos aparelhos, em cada cultivar avaliada. A etapa subsequente refere-se aos resultados apresentados conforme os fatores de adubação (FA), atrelados aos ISN, definidos previamente como adequados em cada cultivar e aparelho utilizado.

Nas sessões seguintes estão relacionados os dados referentes às aferições realizadas nas duas etapas do projeto com os dois aparelhos por cultivar avaliada, visto que não foi possível a realização de uma análise conjunta.

3.1 Cultivar TAA Gol

Na primeira etapa do projeto, observou-se que o incremento nas doses de N fornecidas à cultura, definidas previamente com base nos respectivos clorofilômetros, proporcionou efeito significativo somente para a produtividade de grãos (PROD), não apresentando variações quanto ao número de vagens por planta (NVP), ao número de grãos por vagem (NGV) e à massa de 100 grãos (APÊNDICE A).

Em relação aos caracteres agronômicos avaliados na segunda etapa, realizada durante a safra primavera/verão de 2018/19, houve efeito significativo na análise de variância para o NVP e para a PROD em função dos fatores de adubação (FA), no experimento conduzido com o emprego do clorofilômetro SPAD-502. A resposta do NVP foi linear e positiva, semelhante à produtividade de grãos, frente às doses de N fornecidas em cobertura. Alves et al. (2009) acreditam que o NVP é o componente de rendimento que apresenta maior correlação positiva com a produtividade, uma vez que o mesmo possui prioridade no uso de *inputs* (nutrientes, água etc.) disponíveis, quando comparado aos demais componentes. Os valores médios dos componentes do rendimento de grãos, avaliados de acordo com cada um dos aparelhos utilizados, estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Números médios de vagens por planta (NVP), de grãos por vagem (NGV) e massa de 100 grãos (MCG) da cultivar de feijão TAA Gol em função dos índices de suficiência de nitrogênio (ISN) e dos fatores de adubação (FA), referentes aos experimentos conduzidos nas safras 2017/18 e 2018/19, respectivamente, com auxílio dos clorofilômetros SPAD-502 e CFL 1030. Lavras-MG.

| Safr 2017/18 | | | | | | | |
|--------------|---------------------|-----|---------|----------|------|-----|---------------------|
| SPAD-502 | | | | CFL 1030 | | | |
| ISN (%) | NVP | NGV | MCG (g) | ISN (%) | NVP | NGV | MCG (g) |
| 81 | 13,8 | 3,5 | 24,9 | 85 | 18,7 | 3,5 | 24,4 |
| 86 | 15,6 | 3,4 | 25,5 | 88 | 17,1 | 3,4 | 22,9 |
| 90 | 15,5 | 3,5 | 25,0 | 92 | 16,7 | 3,2 | 25,5 |
| 95 | 17,7 | 3,7 | 26,4 | 95 | 18,1 | 3,7 | 24,8 |
| Média | 15,7 | 3,5 | 25,5 | Média | 17,7 | 3,5 | 24,5 |
| CV (%) | 7,9 | 4,4 | 4,1 | CV (%) | 4,5 | 6,3 | 4,7 |
| Safr 2018/19 | | | | | | | |
| FA | NVP | NGV | MCG (g) | FA | NVP | NGV | MCG (g) |
| 0 | 11,9 ⁽¹⁾ | 4,4 | 19,6 | 0 | 11,9 | 4,4 | 19,2 ⁽²⁾ |
| 5 | 12,4 | 4,3 | 19,5 | 5 | 11,9 | 4,4 | 19,5 |
| 10 | 12,9 | 4,5 | 19,7 | 10 | 11,4 | 4,6 | 19,8 |
| 20 | 14,0 | 4,1 | 20,1 | 20 | 11,0 | 4,6 | 20,3 |
| Média | 12,8 | 4,3 | 19,7 | Média | 11,6 | 4,5 | 19,7 |
| CV (%) | 2,6 | 1,9 | 5,0 | CV (%) | 4,0 | 1,7 | 2,4 |

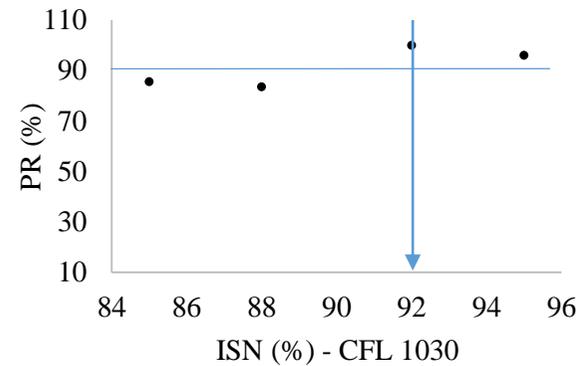
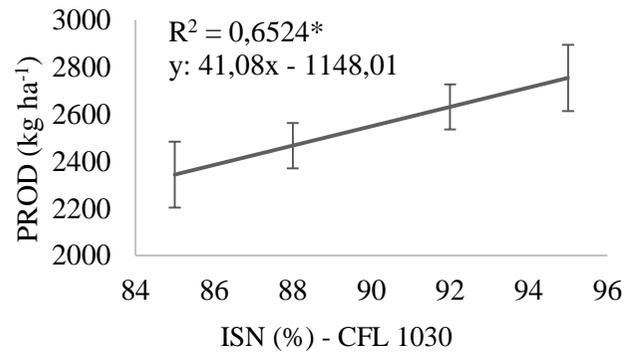
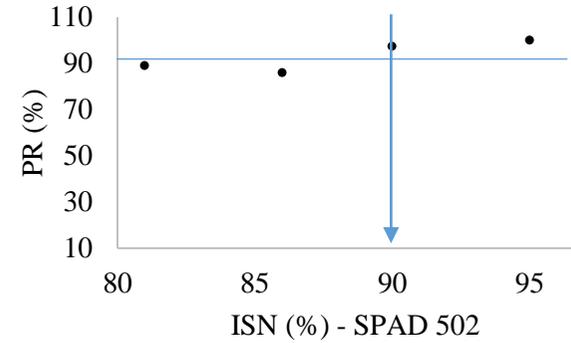
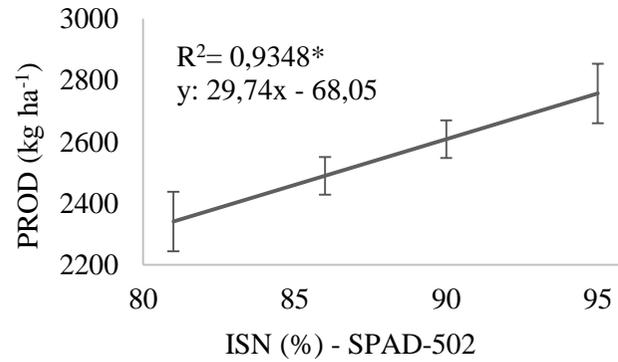
⁽¹⁾ $y = 0,102971x + 11,8965$ ($R^2=0,5411$). ⁽²⁾ $y = 0,053729x + 19,235500$ ($R^2= 0,8109$). ⁽¹⁾ significativo a 5% pelo teste t.

Fonte: Do autor (2019).

As doses de N estabelecidas com auxílio do aparelho CFL 1030 na segunda etapa experimental, influenciaram a massa de 100 grãos (MCG) e a PROD. A MCG foi linearmente modificada, corroborando com as respostas obtidas por Binotti et al. (2009) ao relatarem o incremento na MCG com o aumento nas doses de N fornecidas ao feijoeiro.

Nos experimentos realizados com a cultivar TAA Gol durante a safra 2017/18, as produtividades aumentaram linearmente com as doses de N, estabelecidas conforme os clorofilômetros testados (FIGURA 3). Os resultados observados são semelhantes aos encontrados por Crusciol et al. (2007), Moreira et al. (2013) e Leal (2019), autores que relataram incremento na produtividade de grãos de feijão em função dos aumentos das doses de N em cobertura.

Figura 3 - Produtividade de grãos (PROD) e produtividade relativa de grãos (PR) da cultivar de feijão TAA Gol em função dos ISN definidos com auxílio dos clorofilômetros SPAD-502 e CFL 1030. Lavras-MG, 2017/18. * significativo a 5% pelo teste t. As barras verticais indicam o intervalo de confiança da estimativa da análise de regressão (ICEAR).



Fonte: Do autor (2019)

Devido a impossibilidade de se definir um ISN considerado ideal para a cultivar, somente através da análise de regressão, utilizou-se outros critérios, para a obtenção de um ISN considerado adequado para cada aparelho na cultivar TAA Gol. Como é conhecido, com a análise de regressão, determina-se a tendência da resposta de uma característica avaliada em função dos tratamentos. Caso a resposta obtida se ajustasse matematicamente a uma equação de segundo grau, seria possível estimar o ponto de máximo rendimento, igualando-se a derivada da equação a zero. No entanto, com a utilização dos intervalos de confiança da estimativa da análise de regressão (ICEAR) pode-se inferir em qual, ou quais pontos, a característica avaliada difere significativamente em relação aos demais tratamentos (DRAPER; SMITH, 1996). De modo prático, para o presente trabalho, pode-se considerar estatisticamente iguais as produtividades de feijão com os diversos ISN utilizados. Isso porque apresentaram os ICEAR sobrepostos.

Na Figura 3 observa-se que à medida que se aumenta os ISN, há resposta positiva em relação à produtividade de grãos, independente do clorofilômetro utilizado. Entretanto, de acordo com a metodologia proposta, a definição do ISN foi realizada com base no ICEAR, considerando-se como adequado o menor ISN, que apresentou o ICEAR sobreposto ao intervalo de confiança do ISN de 95%, em relação à análise da produtividade de grãos.

O critério da produtividade relativa, proposto por Cate e Nelson (1971) também foi utilizado como forma de reafirmação, para a definição do ISN considerado adequado para a cultivar de feijão TAA Gol. Assim, como nos trabalhos de Barbosa Filho et al. (2009) foi plotado no eixo da abscissa (x) os valores dos ISN estudados e na coordenada (y) as produtividades relativas (%), calculadas pela divisão das médias das produtividades pela média do tratamento com a maior produtividade de grãos. Os valores críticos para os ISN foram determinados nos níveis de 90% da produtividade máxima, acima do qual há indicação de baixa ou nenhuma resposta ao incremento da adubação nitrogenada (BARBOSA FILHO et al., 2008).

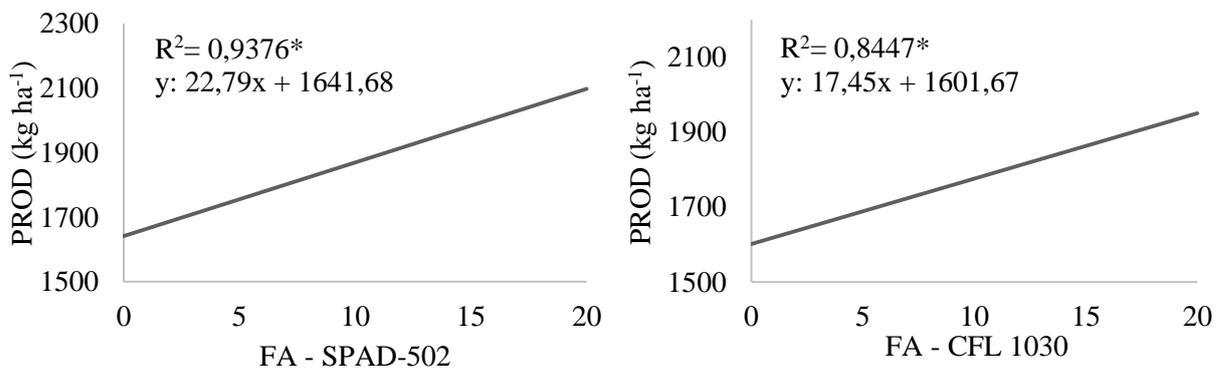
No experimento conduzido com base na utilização do aparelho SPAD-502, observa-se que o ISN de 90% apresentou valores em comum ao do ISN de 95%, considerando os ICEAR de cada um deles. Além disso, o ISN de 90% foi o menor índice a garantir no mínimo 90% da máxima produtividade, conforme mostra a análise da produtividade relativa (FIGURA 3). Em relação ao clorofilômetro CFL 1030, os ISN de 92% e 95%, na avaliação da produtividade de grãos, apresentaram seus respectivos ICEAR sobrepostos. O ISN de 92% foi o menor índice

testado a assegurar ao menos 90% da máxima produtividade alcançada, conforme o critério proposto por Cate e Nelson (1971).

Sendo assim, a adoção dos ISN de 90 (SPAD-502) e 92% (CFL 1030) em comparação ao ISN de 95%, recomendado por Silveira e Gonzaga (2017), proporcionaram a redução de 75 e 45 kg ha⁻¹ de N, respectivamente. Desse modo, através da combinação de critérios para as análises das produtividades, foram determinados os ISN adequados para a cultivar, de acordo com cada aparelho utilizado.

A segunda etapa do projeto, conduzida em solo sob o sistema de plantio convencional (SPC), teve como intuito avaliar a viabilidade dos índices iguais a 90 (SPAD-502) e 92% (CFL 1030), atrelados a diferentes fatores de adubação (FA). No entanto, assim como nos experimentos realizados na etapa anterior, tanto no experimento conduzido com o emprego do clorofilômetro SPAD-502, como no auxiliado pelo CFL 1030, a resposta em relação ao rendimento de grãos foi linear e positiva, com os valores máximos estimados para a produtividade iguais a 2097 (SPAD-502) e 1950 kg ha⁻¹ (CFL 1030), referente às doses de 118 e 40 kg ha⁻¹ de N, respectivamente (FIGURA 4).

Figura 4 - Produtividade de grãos (PROD) da cultivar de feijão TAA Gol em relação aos fatores de adubação (FA) utilizados para os clorofilômetros SPAD-502 e CFL 1030. Lavras-MG, 2018/19. * significativo a 5% pelo teste t.



Fonte: Do autor (2019).

Desse modo, os resultados obtidos não foram suficientes para a validação das combinações entre os ISN definidos previamente como adequados, e os FA analisados durante a safra 2018/19. Isto porque as doses de N fornecidas em cobertura na segunda etapa experimental, não proporcionaram o alcance dos pontos de máximo rendimento de grãos, em nenhum dos experimentos conduzidos com auxílio de seus respectivos clorofilômetros.

Em relação às avaliações ocorridas durante o florescimento das plantas, apenas as leituras realizadas com clorofilômetro SPAD-502, para a obtenção dos índices relativos de clorofila, foram influenciadas pelas doses de N definidas conforme os FA. Nos demais casos analisados, as doses de N estabelecidas de acordo com os ISN (primeira etapa) e com os FA (segunda etapa) não proporcionaram efeitos significativos em relação aos IRC e aos teores de N nas folhas (NF). As doses de N utilizadas não exerceram efeito significativo nas concentrações de N nos grãos (APÊNDICE C). Na Tabela 7 encontram-se os valores médios dos caracteres analisados.

Tabela 7 - Índices relativos de clorofila (IRC), teores de nitrogênio nas folhas (NF) e nos grãos (NG) da cultivar de feijão TAA Gol, em função dos índices de suficiência de nitrogênio (ISN) e dos fatores de adubação (FA) referentes aos experimentos conduzidos nas safras 2017/18 e 2018/19, respectivamente, com auxílio dos clorofilômetros SPAD-502 e CFL 1030. Lavras-MG.

| Safrá 2017/18 | | | | | | | |
|---------------|-------------------|--------------------------|--------------------------|----------|-----|--------------------------|--------------------------|
| SPAD-502 | | | | CFL 1030 | | | |
| ISN (%) | IRC | NF (g kg ⁻¹) | NG (g kg ⁻¹) | ISN (%) | IRC | NF (g kg ⁻¹) | NG (g kg ⁻¹) |
| 81 | 43 | 55 | 36 | 85 | 50 | 54 | 39 |
| 86 | 44 | 54 | 38 | 88 | 50 | 56 | 41 |
| 90 | 44 | 59 | 36 | 92 | 51 | 56 | 40 |
| 95 | 45 | 54 | 38 | 95 | 51 | 56 | 39 |
| Média | 44 | 56 | 37 | Média | 51 | 56 | 40 |
| CV (%) | 2,5 | 5,6 | 4,7 | CV (%) | 1,8 | 3,4 | 4,9 |
| Safrá 2018/19 | | | | | | | |
| FA | IRC | NF (g kg ⁻¹) | NG (g kg ⁻¹) | FA | IRC | NF (g kg ⁻¹) | NG (g kg ⁻¹) |
| 0 | 32 ⁽¹⁾ | 45 | 39 | 0 | 43 | 44 | 39 |
| 5 | 34 | 44 | 39 | 5 | 41 | 40 | 37 |
| 10 | 36 | 45 | 38 | 10 | 44 | 44 | 36 |
| 20 | 39 | 48 | 39 | 20 | 44 | 44 | 38 |
| Média | 35 | 46 | 39 | Média | 43 | 43 | 38 |
| CV (%) | 2,7 | 4,6 | 7,1 | CV (%) | 3,4 | 6,8 | 4,5 |

⁽¹⁾ $y = 0,331557x + 32,37200$ ($R^2 = 0,99$). ⁽¹⁾ significativo a 5% pelo teste t.

Fonte: Do autor (2019).

Não foi possível estabelecer uma relação entre o IRC, obtidos pelos aparelhos utilizados, com o teor de nitrogênio nas folhas e/ou nos grãos, nos casos analisados. No entanto, os IRC obtidos através das leituras do clorofilômetro SPAD-502, responderam de

forma linear e positiva ao aumento das doses de N, que variaram entre 0 e 118 kg ha⁻¹, estabelecidas de acordo com os FA na segunda etapa do projeto. Resultados semelhantes foram apresentados por Sant'Ana et al. (2010), ao relatarem a influência das diferentes doses de N em cobertura sobre os IRC, mensurados pelo aparelho SPAD-502. O valor máximo estimado da leitura foi de 46,2, proporcionado pela dose de 212 kg ha⁻¹ de N.

Os tratamentos pertencentes aos experimentos conduzidos para definição dos ISN apresentaram as maiores concentrações de N nas folhas, acima, inclusive, da faixa considerada como ideal para a cultura, de 30 a 50 g kg⁻¹, conforme Silva (2009). Os teores de N também foram superiores aos observados por Nunes (2017) na avaliação da cultivar TAA Gol em um ambiente sem o fornecimento de N (30,3 g kg⁻¹) e no ambiente com o fornecimento de 100 kg ha⁻¹ de N (38,7 g kg⁻¹).

Quanto às concentrações de N nos grãos, além de não serem influenciados pelas diferentes doses de N fornecidas, os valores foram muito próximos, inclusive os que não receberam N em cobertura. Ambrosano et al. (1997) e Fageria et al. (2004) relataram valores semelhantes aos observados, sendo as médias encontradas pelos autores iguais a 35 e 36,5 kg de N exportado por tonelada de feijão produzida, respectivamente.

3.2 Cultivar Pérola

Assim como para a cultivar TAA Gol, a cultivar Pérola também apresentou diferentes valores para os ISN obtidos com cada um dos aparelhos utilizados, de acordo com as duas safras analisadas. Desse modo, não foi possível a realização de uma análise conjunta dos experimentos realizados com a cultivar. Na Tabela 8 estão apresentados os valores médios dos componentes do rendimento em relação aos ISN e aos FA analisados, para cada experimento realizado durante as safras 2017/18 e 2018/19.

Em relação aos dados obtidos na primeira etapa do projeto, referentes à utilização do aparelho SPAD-502, apenas a massa de 100 grãos (MCG) e a produtividade de grãos (PROD) foram influenciadas pelas diferentes doses de N em cobertura (APÊNDICE B). Houve resposta quadrática das médias referentes a MCG. De acordo com os dados estimados, o ISN ideal para esse componente do rendimento foi de 92,2%, valor correspondente a 25,5 g a cada 100 grãos.

Tabela 8 - Números médios de vagens por planta (NVP), de grãos por vagem (NGV) e da massa de 100 grãos (MCG) da cultivar de feijão Pérola em função dos índices de suficiência de nitrogênio (ISN) e dos fatores de adubação (FA), referentes aos experimentos conduzidos nas safras 2017/18 e 2018/19, respectivamente, com auxílio dos clorofilômetros SPAD-502 e CFL 1030. Lavras-MG.

| Saфра 2017/18 | | | | | | | |
|---------------|------|-----|---------------------|---------|------|-----|---------|
| SPAD-502 | | | | CFL1030 | | | |
| ISN (%) | NVP | NGV | MCG (g) | ISN (%) | NVP | NGV | MCG (g) |
| 81 | 13,5 | 3,7 | 23,4 ⁽¹⁾ | 88 | 13,2 | 3,4 | 24,8 |
| 86 | 16,6 | 3,5 | 24,9 | 90 | 13,3 | 3,5 | 24,1 |
| 90 | 17,3 | 3,7 | 25,5 | 93 | 13,5 | 3,1 | 25,8 |
| 95 | 15,5 | 3,7 | 25,4 | 95 | 12,4 | 3,6 | 24,6 |
| Média | 15,7 | 3,7 | 25,3 | Média | 13,1 | 3,4 | 24,8 |
| CV (%) | 10,2 | 3,2 | 2,4 | CV (%) | 8,3 | 4,9 | 5,5 |
| Saфра 2018/19 | | | | | | | |
| FA | NVP | NGV | MCG (g) | FA | NVP | NGV | MCG (g) |
| 0 | 20,3 | 4,7 | 26,6 ⁽²⁾ | 0 | 18,4 | 4,6 | 26,7 |
| 5 | 19,1 | 4,5 | 28,4 | 5 | 17,3 | 5,1 | 27,6 |
| 10 | 20,1 | 4,4 | 29,3 | 10 | 22,5 | 5,0 | 27,8 |
| 20 | 20,7 | 5,2 | 29,0 | 20 | 19,3 | 3,3 | 28,1 |
| Média | 20,1 | 4,7 | 28,9 | Média | 19,4 | 4,5 | 27,6 |
| CV (%) | 5,8 | 4,3 | 2,6 | CV (%) | 9,3 | 5,1 | 4,4 |

⁽¹⁾ $y: -0,017167x^2 + 3,166357x - 120,468325$ ($R^2 = 0,9631$). ⁽²⁾ $y: -0,015150x^2 + 0,420850x + 26,6385$ ($R^2 = 0,9867$). ⁽¹⁾ significativo a 5% pelo teste t.

Fonte: Do autor (2019).

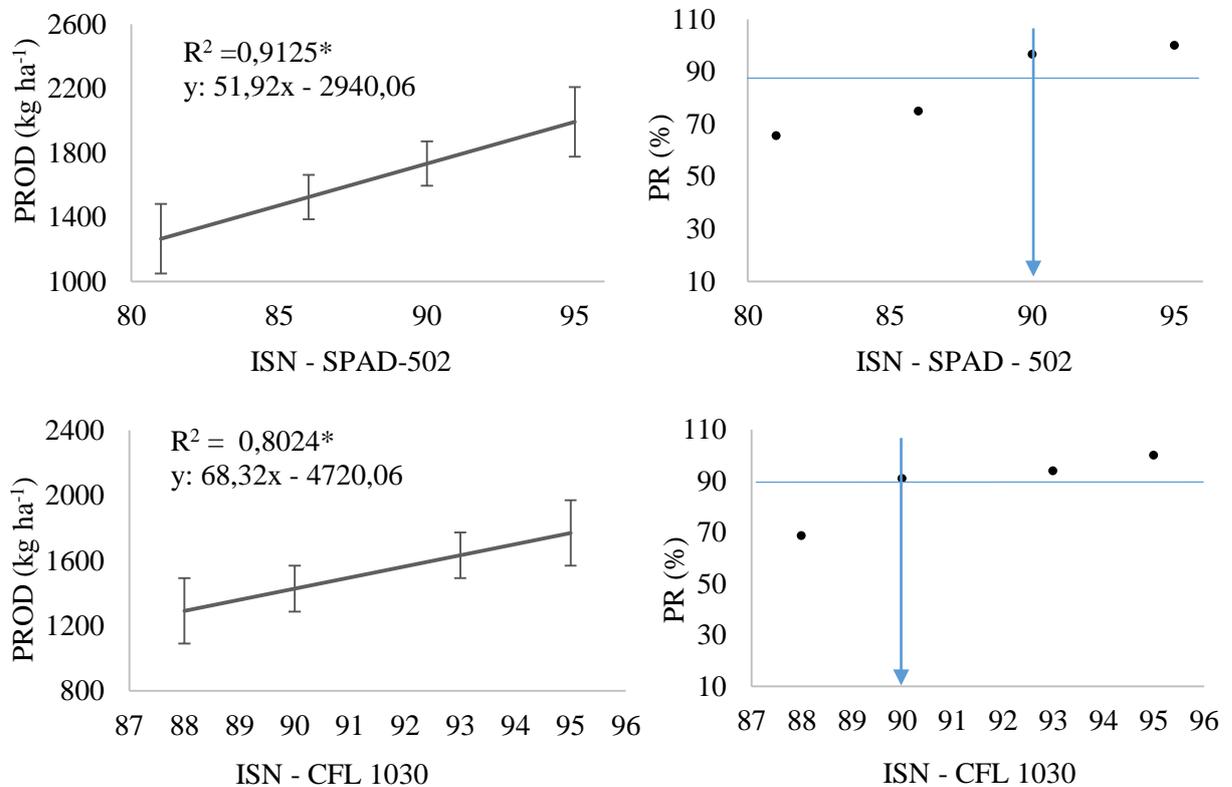
Na segunda etapa experimental, realizada durante a safra 2018/19, a MCG e a PROD também foram significativamente afetadas pelas diferentes doses de N, definidas conforme os FA, no experimento conduzidos com base no clorofilômetro SPAD-502. O FA definido no ponto de máxima MCG foi de 13,9 kg ha⁻¹ de N a cada 1% abaixo do ISN de 90%, definido como adequado na primeira etapa experimental. Fornasieri Filho et al. (2007) e Binotti et al. (2009) também relataram a influência das diferentes doses de N fornecidas em cobertura na cultivar de feijão Pérola, em relação à MCG.

Quanto ao experimento realizado com base na utilização do clorofilômetro CFL 1030, na primeira etapa experimental a PROD foi influenciada significativamente em função dos incrementos nas doses de N. No entanto, os componentes do rendimento de grãos não sofreram efeitos significativos. Os resultados obtidos podem ter relação com os relatos de

Martins (2016), uma vez que a produtividade de grãos é resultante de diferentes possibilidades de combinações entre variáveis controláveis e não controláveis que interagem entre si. Na etapa seguinte, não houve influência significativa em nenhuma das características avaliadas, em função das variações nas doses de N em cobertura, definidas conforme os FA.

Em ambos os experimentos realizados para a obtenção dos ISN com a cultivar Pérola, a produtividade respondeu de forma linear e positiva aos incrementos nas doses de N fornecidas em cobertura (FIGURA 5). Sendo assim, não foi possível a definição de quais ISN foram mais adequados para a cultivar, somente através da análise de regressão. No entanto, com a combinação dos critérios científicos adotados no presente trabalho, puderam ser observados quais dos índices testados apresentaram os resultados mais adequados, de acordo com o aparelho utilizado.

Figura 5 - Produtividade de grãos (PROD) e produtividade relativa de grãos (PR) da cultivar de feijão Pérola em função dos ISN definidos com auxílio dos clorofilômetros SPAD-502 e CFL 1030. Lavras-MG, 2017/18. * significativo a 5% pelo teste t. As barras verticais indicam os intervalos de confiança da estimativa da análise de regressão (ICEAR).



Fonte: Do autor (2019).

Na análise das produtividades de grãos, obtidas pelo experimento conduzido com o emprego do clorofilômetro SPAD-502, percebe-se, através da equação do intervalo de confiança da estimativa da análise de regressão, que os ISN de 90 e 95% apresentaram valores em comum, uma vez que as faixas referentes aos intervalos de confiança dos dois índices ficaram sobrepostas. Quando analisada a produtividade relativa de grãos do experimento, realizada com base nos trabalhos de Cate e Nelson (1971), observa-se que o ISN de 90% foi o menor índice capaz de garantir 90% da máxima produtividade alcançada entre os demais tratamentos, acima da qual há baixa probabilidade de resposta à adubação (BARBOSA FILHO et al., 2008).

Desse modo, foi adotado o ISN de 90% como adequado, sendo que a dose de N coincidente com esse índice foi de 197 kg ha⁻¹. Binotti et al. (2009) verificaram aumentos na produtividade da cultivar de feijão Pérola até a aplicação de 198 kg ha⁻¹ de N, evidenciando-se o fato de que essa cultivar pode ser responsiva a elevadas doses de N em cobertura,

sobretudo quando cultivada sob resíduos de gramíneas. No entanto, ainda segundo os autores, é de suma importância considerar a viabilidade econômica da aplicação de doses muito elevadas de N na cultura do feijoeiro.

Fornasieri Filho et al. (2007) relataram a resposta linear na produtividade de feijão em função da aplicação de N em cobertura, com doses de até 150 kg ha⁻¹ de N. Enquanto Menegol et al. (2015) não constataram diferenças entre as produtividades de feijão em função de doses até 280 kg ha⁻¹ de N em cobertura.

O ISN igual a 90% definido por meio do clorofilômetro CFL 1030 apresentou seu ICEAR sobreposto ao do ISN de 95%, como ilustrado na Figura 5, além de ser o menor índice capaz de garantir 90% da máxima produtividade encontrada (BARBOSA FILHO et al., 2008). Assim, com o clorofilômetro CFL 1030, o índice de 90% correspondeu à dose de 70 kg ha⁻¹ de N, bastante inferior aos 197 kg ha⁻¹ obtidos com o outro aparelho.

A produtividade estimada com o ISN de 90% (CFL 1030) foi de 1428 kg ha⁻¹, valor inferior ao obtido com a utilização do clorofilômetro SPAD-502 (1733 kg ha⁻¹). Porém, a produtividade é superior à média nacional (1212 kg ha⁻¹) e a média mineira de (1261 kg ha⁻¹), referentes à mesma safra de cultivo (CONAB, 2019).

Os ISN de 90% definidos como satisfatórios pelos dois aparelhos testados na primeira etapa experimental foram combinados aos FA na etapa seguinte, conduzida durante a safra de 2018/19. De acordo com os dados observados, não houve efeito significativo para a PROD em razão das diferentes doses definidas conforme os FA, no experimento conduzido com base no clorofilômetro CFL 1030. Na Tabela 9 estão apresentadas as médias para a PROD alcançadas com o auxílio do aparelho CFL 1030, de acordo com os fatores de adubações (FA) e suas respectivas doses de N fornecidas em cobertura.

Tabela 9 - Produtividade de grãos (PROD) da cultivar de feijão Pérola em função das doses de N correspondentes aos fatores de adubação (FA) utilizados no experimento conduzido com base no clorofilômetro CFL 1030. Lavras-MG, 2018/19.

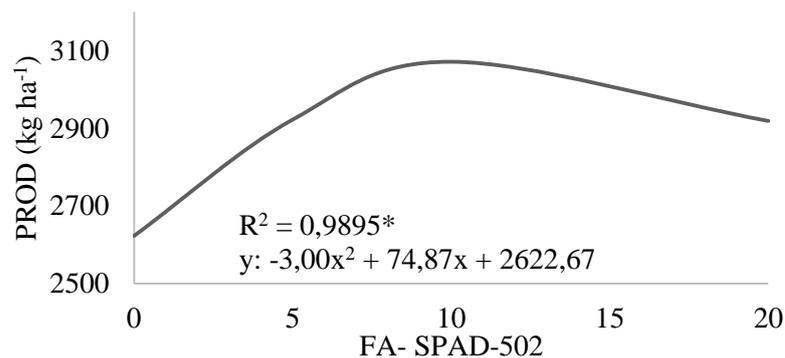
| FA | Dose de N (kg ha ⁻¹) | PROD (kg ha ⁻¹) |
|----|----------------------------------|-----------------------------|
| 0 | 0 | 2613 |
| 5 | 6 | 2824 |
| 10 | 12 | 3031 |
| 20 | 24 | 3083 |

Fonte: Do autor (2019).

O resultado observado pode estar relacionado à baixa dose de N fornecida à cultura, visto que o valor do ISN (88,8%), aferido de acordo com as leituras realizadas pelo CFL 1030 momentos antes da fertilização nitrogenada, foi muito próximo do ISN desejado (90%). Desta forma, não se esperava resposta ao aumento de doses de N, pois, Barbosa Filho et al. (2009) afirmaram que o ISN ideal é de 90%, acima do qual há baixa ou nenhuma resposta à adubação nitrogenada. No entanto, é importante lembrar que os estudos realizados por Barbosa Filho et al. (2009) foram com o aparelho SPAD-502, e os dados obtidos para este aparelho neste mesmo trabalho, apresentaram valores divergentes aos obtidos no experimento auxiliado pelo clorofilômetro CFL 1030. Sendo assim, entende-se que os resultados obtidos para a cultivar Pérola com o CFL 1030, não foram conclusivos a ponto de se definir uma metodologia precisa, através da determinação do ISN e do FA ideal.

Contudo, no experimento conduzido com base no clorofilômetro SPAD-502, na segunda etapa do projeto, as plantas apresentaram resposta quadrática na PROD em função de doses de N definidas conforme os FA. De acordo com a análise dos dados, a dose de 42 kg ha⁻¹ de N, correspondente ao FA de 12,5 kg ha⁻¹ de N a cada 1% abaixo do ISN de 90%, foi responsável por alcançar o ponto de máxima produtividade de grãos, igual a 3089 kg ha⁻¹ (FIGURA 6).

Figura 6 - Produtividade de grãos (PROD) da cultivar de feijão Pérola em função dos fatores de adubação (FA) trabalhados, com a utilização do clorofilômetro SPAD-502, em Lavras - MG, 2018/19. * significativo a 5% pelo teste t.



Fonte: Do autor (2019).

As plantas apresentaram aumento na produtividade de grãos com a elevação das doses de N em cobertura de maneira similar à encontrada por Silveira e Gonzaga (2017). No entanto, segundo os autores, a cultivar de feijão Pérola apresentou o ponto de máxima

produtividade de grãos com a dose de 75 kg ha⁻¹ de N. Essa dose foi resultante do ajuste de 15 kg por ha⁻¹ de N a cada 1% abaixo do ISN de 95%.

No presente estudo, seguiu-se a mesma metodologia descrita por Silveira e Gonzaga (2017), exceto quando considerado o ISN a ser alcançado pelos diferentes FA. Porém, a título de comparação, se fosse adotado o FA de 11 a 15 kg ha⁻¹ de N a cada 1% abaixo do ISN de 95%, conforme recomendado pelos autores, a dose de N recomendada no experimento conduzido na safra 2018/19 seria entre 92 e 126 kg ha⁻¹. Considerando-se o resultado obtido neste trabalho, a dose seria superestimada, visto que a maior produtividade (3089 kg ha⁻¹) foi estimada com 42 kg ha⁻¹ de N.

Em nenhum dos experimentos foram constatados efeitos significativos das doses de N, definidas de acordo com os ISN e com os FA, nas safras 2017/18 e 2018/19, respectivamente, em relação aos valores das leituras (IRC) realizadas pelos clorofilômetros durante o florescimento. O teor de N nas folhas e nos grãos, também não foram influenciados significativamente pelas diferentes doses de N fornecidas em cobertura (APÊNDICE C). Os valores médios das avaliações realizadas, com cada um dos aparelhos, estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Índices relativos de clorofila (IRC), teores de nitrogênio nas folhas (NF) e nos grãos (NG) da cultivar de feijão Pérola em função dos índices de suficiência de nitrogênio (ISN) e dos fatores de adubação (FA) referentes aos experimentos conduzidos nas safras 2017/18 e 2018/19, respectivamente, com auxílio dos clorofilômetros SPAD-502 e CFL 1030. Lavras-MG.

| Safr 2017/18 | | | | | | | |
|--------------|-----|--------------------------|--------------------------|----------|------|--------------------------|--------------------------|
| SPAD-502 | | | | CFL 1030 | | | |
| ISN (%) | IRC | NF (g kg ⁻¹) | NG (g kg ⁻¹) | ISN (%) | IRC | NF (g kg ⁻¹) | NG (g kg ⁻¹) |
| 81 | 48 | 44 | 37 | 88 | 52 | 45 | 37 |
| 86 | 48 | 49 | 37 | 90 | 52 | 50 | 37 |
| 90 | 48 | 49 | 38 | 93 | 52 | 45 | 38 |
| 95 | 49 | 48 | 39 | 95 | 54 | 49 | 37 |
| Média | 48 | 48 | 38 | Média | 53 | 47 | 37 |
| CV (%) | 2,0 | 8,1 | 3,7 | CV (%) | 10,7 | 5,4 | 6,0 |
| Safr 2018/19 | | | | | | | |
| FA | IRC | NF (g kg ⁻¹) | NG (g kg ⁻¹) | FA | IRC | NF (g kg ⁻¹) | NG (g kg ⁻¹) |
| 0 | 42 | 41 | 35 | 0 | 48 | 41 | 35 |
| 5 | 43 | 41 | 35 | 5 | 51 | 42 | 37 |
| 10 | 43 | 38 | 37 | 10 | 50 | 39 | 37 |
| 20 | 45 | 40 | 36 | 20 | 51 | 37 | 37 |
| Média | 43 | 40 | 36 | Média | 50 | 40 | 37 |
| CV (%) | 3,2 | 6,3 | 4,8 | CV (%) | 5,8 | 7,8 | 5,9 |

Fonte: Do autor (2019).

Não foi possível estabelecer uma relação entre os IRC obtidos pelos aparelhos, com as doses de N utilizadas e/ou com os teores de N nas folhas e nos grãos. A respeito dos IRC, todas as médias obtidas na primeira etapa do projeto, pelo aparelho SPAD-502, estão acima de 46, valor considerado por Barbosa Filho et al. (2009) como mínimo, para que seja alcançado no mínimo 90% da máxima produtividade de grãos.

O menor valor para o IRC obtido com a utilização do aparelho CFL 1030 foi de 48, referente ao tratamento controle (0 kg ha⁻¹ de N), na segunda etapa do projeto. Bertoldo et al. (2015), fornecendo 70 kg ha⁻¹ de N em cobertura na cultivar de feijão Pérola, encontraram com o clorofilômetro CFL 1030 o valor médio de 45,6 para o IRC. Desse modo, as divergências dos resultados expostos podem exemplificar a interferência de diversos fatores ambientais na determinação dos IRC obtidos em condições de campo pelos clorofilômetros portáteis (HUSSAIN et al., 2000).

Assim como nos trabalhos de Silva et al. (2018), o teor de N nas folhas da cultivar de feijão Pérola não foi influenciado pelo incremento nas doses de N em nenhum dos experimentos avaliados, independentemente do aparelho utilizado. De todo modo, os teores de N foliar apresentaram-se dentro da faixa considerada como ideal para a cultura, que de acordo com Silva (2009), está entre 30 a 50 g kg⁻¹.

Os teores de N nos grãos não foram modificados pelas doses de nitrogênio utilizadas, com todos os valores bem próximos aos relatados por Fornasieri Filho et al. (2007). Perez et al. (2013) relataram em seus estudos sobre a extração e exportação de nutrientes pelo feijoeiro adubado com nitrogênio, que independente dos tratamentos avaliados não houve diferenças em relação ao teor de N nos grãos, sendo que os valores variaram entre 31,8 e 40,0 g kg⁻¹, faixa que abrangem os resultados obtidos no presente trabalho.

Em resumo, observou-se que o FA de 12,5 kg ha⁻¹ de N a cada 1% abaixo do ISN de 90% foi eficiente para a definição da dose de N a ser fornecida em cobertura, quando utilizado o aparelho SPAD-502. Visto que além de proporcionar que a cultivar Pérola atingisse seu ponto de máxima produtividade, foi suficiente para que as concentrações de N nas folhas e nos grãos fossem compatíveis aos dados encontrados na literatura, para plantas bem nutridas.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com o presente estudo, observa-se que uma única metodologia para utilização dos clorofilômetros, como ferramentas de auxílio na definição da dose de N a ser fornecida em cobertura no feijoeiro, não é viável. Visto que ao longo do projeto desenvolvido, nas etapas analisadas foram observadas diferenças muito grandes em relação aos ISN obtidos pelos aparelhos em uma mesma cultivar, assim como por um mesmo aparelho em cultivares diferentes.

Desse modo, as discrepâncias observadas durante a condução dos experimentos impedem a adoção de uma recomendação generalizada para o uso dos clorofilômetros, sem que seja considerado o material genético em cultivo e o aparelho que será utilizado.

Um fato importante que deve ser levado em consideração, é que além das doses de N utilizadas na primeira etapa experimental terem sido, de maneira geral, muito maiores que as utilizadas na etapa seguinte, elas não permitiram que as cultivares analisadas alcançassem seus pontos de máxima produtividade. No entanto, esse fato pode ter relação com dois pontos que devem ser considerados, pertinentes às áreas de implantação dos experimentos nas duas etapas do presente estudo.

O primeiro deles refere-se aos diferentes sistemas de cultivo onde os experimentos foram implantados, sendo que na safra 2017/18 os experimentos foram implantados sob sistema de plantio direto, e na safra 2018/19, em sistema convencional. De acordo com Binotti et al. (2009) a cultura do feijoeiro pode ser muito exigente e responsiva à adubação nitrogenada principalmente em sucessão a gramíneas no SPD, devido à imobilização do nitrogênio pelos microrganismos presentes na palhada.

Outro fator de extrema importância, ligado a disponibilidade do N às plantas, refere-se ao teor de matéria orgânica do solo (MOS), uma vez que, a MOS é uma das principais fontes de N às plantas (RODRIGUES et al., 2017). De acordo com as análises do solo (TABELA 1), o teor da MOS foi bem menor na área de implantação dos experimentos na primeira etapa do projeto ($2,0 \text{ dag kg}^{-1}$) quando comparada à área de implantação dos experimentos da segunda etapa ($3,6 \text{ dag kg}^{-1}$). Esta situação é um retrato da incorporação da matéria orgânica, em virtude do revolvimento do solo.

Partindo desses pressupostos, entende-se que o nível de eficácia de utilização dos clorofilômetros, para auxiliar na definição das doses de N fornecidas em cobertura, está intimamente ligado a capacidade do solo em imobilizar ou disponibilizar N para as plantas,

pois o N imobilizado será mineralizado e disponibilizado às plantas em algum momento, por vezes depois do momento ideal.

Os ISN estabelecidos para cultivar TAA Gol não foram corroborados na segunda etapa experimental. Mesmo estando em um ambiente mais favorável à disponibilização de N, as doses desse nutriente, fornecidas em cobertura, não foram suficientes para se atingir a máxima produtividade de grãos. No entanto, levando em consideração os dados obtidos com a cultivar e as observações feitas no campo durante o período de condução dos experimentos, acredita-se que seja necessário o ajuste da metodologia de utilização dos clorofilômetros, para genótipos de feijão de ciclo precoce.

Mesmo seguindo a metodologia de utilização do clorofilômetro proposta por Silveira e Gonzaga (2017), o intervalo entre a emergência das plantas e a adubação de cobertura pode ter sido muito longo para a cultivar TAA Gol (precoce). Visto que, no momento das leituras realizadas pelos aparelhos nas plantas pertencentes às parcelas que haviam sido adubadas (áreas de referência), observou-se que estas apresentaram tonalidade verde mais intensa quando comparadas as plantas pertencentes às parcelas que ainda seriam adubadas.

Desse modo, é possível que, mesmo com o fornecimento de doses muito elevadas de N, o intervalo de tempo para a disponibilização desse nutriente para o feijoeiro não foi compatível com o pico de demanda de N pelas plantas. Sendo assim, recomenda-se o ajuste da metodologia para cultivares de ciclo precoce, visando a definição das doses e realização da adubação nitrogenada em fases mais próximas à emergência das plantas, proporcionando assim, o alcance de maior eficiência na fertilização nitrogenada.

Também não foi possível o ajuste da metodologia de utilização do clorofilômetro CFL 1030 com a cultivar de feijão Pérola. Na primeira etapa experimental os critérios para adoção dos ISN foram os mesmos empregados para os demais casos. No entanto, na segunda etapa, os resultados observados não foram conclusivos para uma recomendação segura, referente a adoção do ISN, assim como do FA.

Contudo, os critérios adotados para a definição de qual ISN poderia ser considerado como adequado na primeira etapa experimental, se mostraram muito eficientes na etapa seguinte, para a cultivar Pérola, quando auxiliada pelo clorofilômetro SPAD-502. Observou-se que o fator de adubação de $12,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de N a cada 1% abaixo do ISN de 90% é adequado para a cultivar de feijão Pérola, utilizando o clorofilômetro SPAD-502, em ambientes de cultivos que favoreçam a disponibilidade de N.

Em nenhum dos experimentos analisados foi possível obter uma relação entre os valores das leituras realizadas pelos aparelhos e os teores de N nas folhas e/ou nos grãos. Esse fato evidencia que não foi possível estabelecer uma correlação entre as leituras e o estado nutricional da lavoura, uma vez que mesmo os teores de N nas folhas estando dentro da faixa indicada como ideal para o feijoeiro, houve grandes diferenças entre os IRC obtidos pelos clorofilômetros testados.

Quanto ao teor de N nos grãos, as médias estiveram sempre bem próximas, independente da cultivar em avaliação, entendendo-se dessa maneira que o teor de N nos grãos é uma característica do feijoeiro-comum pouco influenciada pelas doses de N fornecidas em cobertura. Visto que as cultivares avaliadas, mesmo submetidas a diferentes doses de N, em diferentes sistemas de implantação, e em anos agrícolas diferentes, apresentaram em grande parte das análises, valores para a taxa de exportação de N entre 35 e 40 g kg⁻¹ de feijão produzido.

5 CONCLUSÕES

É necessário que a metodologia de utilização dos ISN para a definição das doses de N fornecidas em cobertura, seja ajustada de acordo com o genótipo cultivado e com o aparelho que será utilizado, sendo de extrema importância a realização da calibração dos aparelhos em todas as situações de uso.

Não foi possível a obtenção de ajustes precisos para a metodologia de utilização dos clorofilômetros na cultivar TAA Gol.

A combinação do fator de adubação de $12,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de N a cada 1 % abaixo do ISN de 90% mostrou-se eficiente para a cultivar Pérola, quando utilizado o clorofilômetro SPAD-502.

Somente o índice relativo de clorofila, obtido no período de florescimento, não é eficiente para determinar o estado nutricional da lavoura em relação ao nitrogênio.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, H. C.; PEGORARO, R. F.; VIEIRA, N. M. B.; JESUS, I.; AMORIM, F.; KONDO, M. K. Capacidade nodulatória e características agronômicas de feijoeiros comuns submetidos à adubação molíbdica parcelada e nitrogenada. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 2, p. 214-221, 2012.
- ALVES JUNIOR, J.; ANDRADE, M. J. B.; CARVALHO, J. G.; VIEIRA, N. M. B.; MORA, A. R. Adubação nitrogenada do feijoeiro, em plantio e cobertura em plantio direto e convencional. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, p. 943-949, 2009.
- AMBROSANO, E. J.; TANAKA, R. T.; MASCARENHAS, H. A. A.; RAIJ, B.; QUAGGIO, J. A.; CANTARELA, H. Leguminosas e oleaginosas. In: RAIJ, B.; CANTARELA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agronômico e Fundação IAC, 1997. p.187-203, 1997. (Boletim Técnico, 100).
- BARBOSA FILHO, M. P.; COBUCCI, T.; FAGERIA, N. K.; MENDES, P. N. Determinação da necessidade de adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro irrigado com auxílio do clorofilômetro portátil. **Ciência Rural**, v. 38, p. 1843-1848, 2008.
- BARBOSA FILHO, M. P.; COBUCCI, T.; FAGERIA, N. K.; MENDES, P. N. Época de aplicação de nitrogênio no feijoeiro irrigado monitorada com auxílio de sensor portátil. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, p. 425-431, 2009.
- BARBOSA FILHO, M. P.; SILVA, O. F. da. Adubação e calagem para o feijoeiro irrigado em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 7, p. 1317-1324, 2000.
- BATISTA, J. L. F. **Análise de Regressão Aplicada**. São Paulo: Departamento de Ciências Florestais, ESALQ – USP, 2006.
- BERTOLDO, J. G.; PELISSER, A.; SILVA, R. P.; FAVRETO, R.; OLIVEIRA, L. A. D. Alternativas na fertilização de feijão visando a reduzir a aplicação de N-ureia. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 45, n. 3, p. 348-355, 2015.
- BINOTTI, F. F. S.; ARF, O.; SÁ, M. E.; BUZETTI, S.; ALVAREZ, A. C. C.; KAMIMURA, K. M. Fontes, doses e modo de aplicação de nitrogênio em feijoeiro no sistema plantio direto. **Bragantia**, v. 68, p. 473-481, 2009.
- CARVALHO, M. A. F.; SILVEIRA, P. M.; SANTOS, A. B. **Utilização do clorofilômetro para racionalização da adubação nitrogenada nas culturas do arroz e do feijoeiro**. Embrapa Arroz e Feijão, 2012. (Comunicado Técnico).
- CATE, R. B.; NELSON, L. A. A simple statistical procedure for partitioning soil correlation data into classes. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 35, p. 658-660, 1971.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira: Grãos**. v. 6 Safra 2018/19 - Sétimo levantamento, Brasília, p. 1-69, abril 2019.

CRUSCIOL, C. A. C.; SORATO, R. P.; SILVA, L. M.; LEMOS, L. B. Fontes e doses de nitrogênio para o feijoeiro em sucessão a gramíneas no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 6, p. 1545-1552, 2007.

DRAPER, N. R., SMITH, R. **Applied regression analysis**. Nova York: John Wiley, 1966. 407 p.

DWYER, L. M.; ANDERSON, A. M.; MA, B. L. Quantifying the nonlinearity in chlorophyll meter response to corn leaf nitrogen concentration. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 75, n. 1, p. 179-182, 1995.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006.

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

FAGERIA, N. K.; SANTOS, A. B. Adubação fosfatada para o feijoeiro em solo de várzea. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 2, p. 124-127, 1998.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FORNASIERI FILHO, D.; XAVIER, M.A.; LEMOS, L.B.; FARINELLI, R. Resposta de cultivares de feijoeiro comum à adubação nitrogenada em sistema de plantio direto. **Científica**, v. 35, n. 2, p.115-121, 2007.

HUSSAIN, F.; BRONSON, K. F.; PENG, S. Use of chlorophyll meter sufficiency indices for nitrogen management of irrigated rice in Asia. **Agronomy Journal**, v. 92, p. 875-879, 2000.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. 2019. Disponível em: < <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep> >. Acesso em: 16 maio 2019.

LEAL, F. T. **Produtividade, qualidade e eficiência de uso do nitrogênio de cultivares de feijoeiro comum**. 2019. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2019.

MAIA, S. C. M.; SORATO, R. P.; BIAZOTTO, F. O.; ALMEIDA, A. Q. d. Estimativa da necessidade de nitrogênio em cobertura no feijoeiro IAC Alvorada com clorofilômetro portátil. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, 2013.

MAIA, S. C. M.; SORATTO, R. P.; NASTARO, B.; FREITAS, L. B. d. The nitrogen sufficiency index underlying estimates of nitrogen fertilization requirements of common bean. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 183-192, 2012.

MAPA. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Registro Nacional de Cultivares – RNC**, 2019. Disponível em: <
http://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/cultivares_registradas.php> Acesso em: 25 maio 2019.

MARTINS, F. A. D. **Sistemas de manejo e população de plantas na cultura do feijoeiro comum**. 2016. 159 p. Tese (Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

MENEGOL, D. R.; CASTRO PIAS, O. H.; SANTI, A. L.; CHERUBIN, M R.; BERGHETTI, J.; SIMON, D. H. Índice de suficiência de clorofila no manejo da adubação nitrogenada do feijoeiro comum. **Revista Agroambiente On-line**, v. 9, n. 2, p.119-128, 2015.

MOREIRA, G. B. L. **Rendimento de grãos e absorção de nutrientes em feijoeiro submetido em função de doses de nitrogênio em semeadura e cobertura**. 2011. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal)- Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, 2011.

MOREIRA, G. B. L.; RODINEI F. PEGORARO, N. V.; IRAN B.; MARCOS K. K. Desempenho agrônomo do feijoeiro com doses de nitrogênio em semeadura e cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 8, 2013.

NUNES, H. D. **Desempenho agrônomo, qualitativo e eficiência no uso do nitrogênio em cultivares de feijoeiro de inverno**. 2017. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, São Paulo, 2017.

PEREZ, A. A. G.; SORATTO, R. P.; MANZATTO, N. P.; SOUZA, E. D. F. C. D. 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**, p. 1276-1287, 2013.

REZENDE JÚNIOR, L. S. **Potencial de populações de feijão carioca para precocidade**. 2016. 43 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.

RODRIGUES, R.; Mello, W. Z.; Conceição, M. C. G.; Souza P. A.; SILVA J. J. N. Dinâmica do nitrogênio em sistemas agrícolas e florestais tropicais e seu impacto na mudança do clima. **Revista Virtual Química**, v. 9, n. 5, p. 1868-1886, 2017.

SANT'ANA, E. V. P.; SANTOS, A. B.; SILVEIRA, P. M. d. Adubação nitrogenada na produtividade, leitura SPAD e teor de nitrogênio em folhas de feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, 2010.

SILVA F.B. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

SILVA, M. P.; ABRANTES, F. L.; ARF, O.; SÁ, M. E.; SOUZA, L. C. D. Doses de nitrogênio, espaçamentos entrelinhas em duas cultivares de feijoeiro irrigado no sistema plantio direto. **Cultura Agronômica: Revista de Ciências Agronômicas**, v. 27, n. 2, p. 190-204, 2018.

SILVEIRA, P. M. de.; GONZAGA, A. C. de. O. Portable chlorophyll meter can estimate the nitrogen sufficiency index and levels of topdressing nitrogen in common bean. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 47, p. 1-6, 2017.

SORATTO, R. P.; CARVALHO, M. A. C.; ARF, O. Teor de clorofila e produtividade do feijoeiro em razão da adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 895-901, 2004.

SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. Calagem e adubação para cultura anuais e semiperenes. **Cerrado: correção do solo e adubação**, v. 2, 2004.

APÊNDICE A

Resumo da análise de variância, com os quadrados médios (QM) dos números de vagens por planta (NVP), de grãos por vagem (NGV), da massa de 100 grãos (MCG) e da produtividade de grãos (PROD) da cultivar de feijão TAA Gol para a definição dos ISN e dos FA, nas safras 2017/18 e 2018/19, respectivamente, com base na utilização dos clorofilômetros SPAD502 e CFL1030 em Lavras – MG.

| Cultivar/aparelho | FV | GL | QM | | | |
|----------------------|---------|----|--------------------|---------------------|--------------------|------------------------|
| | | | NVP | NGV | MCG | PROD |
| TAA Gol/ SPAD-502 | ISN | 3 | 0,17 ^{ns} | 0,007 ^{ns} | 1,85 ^{ns} | 133740,83* |
| | Bloco | 3 | 0,25 ^{ns} | 0,018 ^{ns} | 0,48 ^{ns} | 13181,94 ^{ns} |
| | Resíduo | 9 | 0,10 | 0,007 | 1,10 | 11376,26 |
| | CV (%) | | 7,88 | 4,39 | 4,12 | 4,18 |
| TAA Gol/ CFL1030 | ISN | 3 | 0,05 ^{ns} | 0,01 ^{ns} | 4,59 ^{ns} | 199995,08* |
| | Bloco | 3 | 0,03 ^{ns} | 0,01 ^{ns} | 2,22 ^{ns} | 3659,96 ^{ns} |
| | Resíduo | 9 | 0,04 | 0,02 | 1,33 | 25202,32 |
| | CV (%) | | 4,50 | 6,32 | 4,73 | 6,23 |
| TAA Gol/ SPAD-502 | FA | 3 | 0,11* | 0,006 ^{ns} | 0,23 ^{ns} | 161627,34* |
| | Bloco | 3 | 0,02 ^{ns} | 0,001 ^{ns} | 0,80 ^{ns} | 9442,93 ^{ns} |
| | Resíduo | 9 | 0,01 | 0,001 | 0,96 | 8483,32 |
| | CV (%) | | 2,60 | 1,86 | 4,97 | 5,00 |
| TAA Gol/ CFL1030 | FA | 3 | 0,02 ^{ns} | 0,003 ^{ns} | 1,04* | 105135,66* |
| | Bloco | 3 | 0,02 ^{ns} | 0,001 ^{ns} | 0,26 ^{ns} | 39536,74 ^{ns} |
| | Resíduo | 9 | 0,02 | 0,001 | 0,22 | 12284,75 |
| | CV (%) | | 4,00 | 1,73 | 2,40 | 6,32 |

*significativo e ^{ns} não significativo pelo teste de F a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2019).

APÊNDICE B

Resumo da análise de variância, com os quadrados médios (QM) dos números de vagens por planta (NVP), de grãos por vagem (NGV), da massa de 100 grãos (MCG) e da produtividade de grãos (PROD) da cultivar de feijão Pérola para a definição dos ISN e dos FA, nas safras 2017/18 e 2018/19, respectivamente, com base na utilização dos clorofilômetros SPAD502 e CFL1030 em Lavras – MG.

| Cultivar/aparelho | FV | GL | QM | | | |
|---------------------|---------|----|--------------------|---------------------|--------------------|-------------------------|
| | | | NVP | NGV | MCG | PROD |
| Pérola/ SPAD-502 | ISN | 3 | 0,17 ^{ns} | 0,003 ^{ns} | 3,91 [*] | 417606,53 [*] |
| | Bloco | 3 | 0,06 ^{ns} | 0,008 ^{ns} | 0,20 ^{ns} | 108775,25 ^{ns} |
| | Resíduo | 9 | 0,16 | 0,004 | 0,36 | 57379,67 |
| | CV (%) | | 10,21 | 3,24 | 2,41 | 14,70 |
| Pérola/ CFL1030 | ISN | 3 | 0,01 ^{ns} | 0,013 ^{ns} | 2,03 ^{ns} | 224916,74 [*] |
| | Bloco | 3 | 1,92 [*] | 0,001 ^{ns} | 1,12 ^{ns} | 26120,67 ^{ns} |
| | Resíduo | 9 | 0,09 | 0,008 | 1,87 | 52312,95 |
| | CV (%) | | 8,34 | 4,87 | 5,51 | 14,94 |
| Pérola/ SPAD-502 | FA | 3 | 0,23 ^{ns} | 0,028 ^{ns} | 5,82 [*] | 142700,92 [*] |
| | Bloco | 3 | 0,03 ^{ns} | 0,002 ^{ns} | 1,73 ^{ns} | 25607,01 ^{ns} |
| | Resíduo | 9 | 0,07 | 0,008 | 0,55 | 26832,06 |
| | CV (%) | | 5,82 | 4,26 | 2,61 | 5,68 |
| Pérola/ CFL1030 | FA | 3 | 0,22 ^{ns} | 0,024 ^{ns} | 1,54 ^{ns} | 184031,70 ^{ns} |
| | Bloco | 3 | 0,04 ^{ns} | 0,006 ^{ns} | 1,91 ^{ns} | 104653,55 ^{ns} |
| | Resíduo | 9 | 0,17 | 0,012 | 1,50 | 72662,83 |
| | CV (%) | | 9,31 | 5,10 | 4,44 | 9,33 |

* significativo e ^{ns} não significativo pelo teste de F a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2019).

APÊNDICE C

Resumo da análise de variância, com os quadrados médios (QM) das leituras dos aparelhos (IRC) e avaliações dos teores de N nas folhas (NF) e nos grãos (NG), das cultivares de feijão TAA GOL e Pérola em função dos ISN e dos FA referentes aos experimentos conduzidos nas safras 2017/18 e 2018/19, respectivamente, com auxílio dos clorofilômetros SPAD-502 e CFL 1030. Lavras-MG.

| Cultivar/aparelho | FV | GL | QM | | | FV | GL | QM | | |
|----------------------|---------|----|--------------------|--------------------|---------------------|---------|----|---------------------|--------------------|--------------------|
| | | | IRC | NF | NG | | | IRC | NF | NG |
| TAA Gol/ SPAD-502 | ISN | 3 | 1,15 ^{ns} | 0,22 ^{ns} | 0,08 ^{ns} | FA | 3 | 32,39* | 0,13 ^{ns} | 0,01 ^{ns} |
| | Bloco | 3 | 0,24 ^{ns} | 0,14 ^{ns} | 0,05 ^{ns} | Bloco | 3 | 2,48 ^{ns} | 0,25* | 0,03 ^{ns} |
| | Resíduo | 9 | 1,22 | 0,10 | 0,03 | Resíduo | 9 | 0,88 | 0,04 | 0,08 |
| | CV (%) | | 2,50 | 5,64 | 4,65 | CV (%) | | 2,66 | 4,59 | 7,07 |
| TAA Gol/ CFL1030 | ISN | 3 | 1,56 ^{ns} | 0,03 ^{ns} | 0,03 ^{ns} | FA | 3 | 7,90 ^{ns} | 0,21 ^{ns} | 0,09 ^{ns} |
| | Bloco | 3 | 1,89 ^{ns} | 0,01 ^{ns} | 0,09 ^{ns} | Bloco | 3 | 4,79 ^{ns} | 0,01 ^{ns} | 0,00 ^{ns} |
| | Resíduo | 9 | 0,87 | 0,04 | 0,04 | Resíduo | 9 | 2,14 | 0,09 | 0,03 |
| | CV (%) | | 1,84 | 3,39 | 4,94 | CV (%) | | 3,41 | 6,82 | 4,54 |
| Pérola/ SPAD-502 | ISN | 3 | 0,44 ^{ns} | 0,23 ^{ns} | 0,02 ^{ns} | FA | 3 | 5,36 ^{ns} | 0,12 ^{ns} | 0,03 ^{ns} |
| | Bloco | 3 | 0,51 ^{ns} | 0,75* | 0,04 ^{ns} | Bloco | 3 | 10,31 ^{ns} | 0,11 ^{ns} | 0,03 ^{ns} |
| | Resíduo | 9 | 0,93 | 0,15 | 0,02 | Resíduo | 9 | 21,45 | 0,05 | 0,05 |
| | CV (%) | | 2,01 | 8,11 | 3,65 | CV (%) | | 10,73 | 5,36 | 6,03 |
| Pérola/ CFL1030 | ISN | 3 | 3,82 ^{ns} | 0,25 ^{ns} | 0,009 ^{ns} | FA | 3 | 6,66 ^{ns} | 0,25 ^{ns} | 0,03 ^{ns} |
| | Bloco | 3 | 1,38 ^{ns} | 0,32 ^{ns} | 0,151* | Bloco | 3 | 9,11 ^{ns} | 0,04 ^{ns} | 0,05 ^{ns} |
| | Resíduo | 9 | 2,80 | 0,08 | 0,031 | Resíduo | 9 | 8,27 | 0,09 | 0,05 |
| | CV (%) | | 3,19 | 6,26 | 4,77 | CV (%) | | 5,79 | 7,76 | 5,88 |

*significativo e ^{ns} não significativo pelo teste de F a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2019).

CAPÍTULO 3 DEFINIÇÃO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA DE COBERTURA EM GENÓTIPOS MODERNOS DE FEIJÃO COM AUXÍLIO DE MEDIDORES PORTÁTEIS DE CLOROFILA

RESUMO

No feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) diversos fatores podem atuar como limitantes na produtividade de grãos, dentre eles, a falta de informações precisas para o manejo da adubação nitrogenada nas principais cultivares utilizadas pelos produtores. Nesse contexto, objetivou-se avaliar a utilização dos medidores portáteis de clorofila, para estimar a adubação nitrogenada em genótipos modernos de feijão que estão sendo atualmente utilizados. Os estudos foram desenvolvidos no município de Lavras-MG, em duas etapas, cada uma composta por quatro experimentos, correspondentes a cultivar BRSMG Uai e a linhagem VR 20 combinadas aos aparelhos Minolta SPAD-502 e o ClorofiLOG CFL 1030. Na primeira etapa do projeto, realizada na safra 2017/18, para cada experimento avaliado, os tratamentos foram constituídos por aplicações de N correspondentes a quatro índices de suficiência de nitrogênio (ISN). Foi implantada uma área de referência para cada um dos genótipos avaliados, sendo ela em comum para os dois clorofilômetros. Após o estabelecimento dos ISN, foi realizada a adubação nitrogenada de cobertura, associando o critério de adubação a cada um deles. Para cada 1% inferior ao ISN do tratamento, aplicou-se 15 kg ha⁻¹ de N. Na segunda etapa do projeto, na safra 2018/19, em cada experimento foi adotado o ISN que apresentou os melhores resultados na primeira etapa experimental. Os tratamentos foram constituídos pelos fatores de adubações: 0; 5; 10 e 20 kg ha⁻¹ de N para cada 1% abaixo do ISN definido como adequado na etapa anterior. Por ocasião do florescimento, foram realizadas novas leituras com os aparelhos, as folhas amostradas foram destacadas e destinadas à análise foliar para quantificação do N. Ao final do ciclo de cada genótipo, foram avaliados: o número de vagens por plantas, o número de grãos por vagem, a massa de 100 grãos, a produtividade de grãos e o teor de N nos grãos. Os dados foram submetidos a análises de variância e ao detectar diferenças significativas às análises de regressão e os demais testes foram realizados. As discrepâncias entre os ISN obtidos pelos aparelhos em um mesmo genótipo e por um mesmo aparelho em genótipos diferentes não permitiu a realização de uma análise conjunta de dados. Desse modo, observou-se que em genótipos com características de porte e ciclo semelhantes a cultivar BRSMG Uai e a linhagem VR 20, com a utilização de um fator de adubação entre 14 e 16 kg ha⁻¹ de N, o ISN de 95% deve ser reduzido, visando aumentar a eficiência da adubação nitrogenada. O ajuste da metodologia de utilização dos ISN, para a definição das doses de N fornecidas em cobertura, de acordo com o genótipo cultivado e com o aparelho que será utilizado, pode aumentar a eficiência de utilização dos fertilizantes nitrogenados. Somente o índice relativo de clorofila (IRC), obtido no período de florescimento, não é eficiente para determinar o estado nutricional das plantas em relação ao nitrogênio.

Palavras-chaves: *Phaseolus vulgaris* L. BRSMG Uai. VR 20. Nitrogênio.

NITROGEN FERTILIZATION DEFINITION IN MODERN BEAN GENOTYPES WITH THE AID OF PORTABLE CHLOROPHYLL METERS

ABSTRACT

In common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) several factors may act as limitations in grain yield, among them the lack of accurate information for the management of nitrogen fertilization in the main cultivars used by producers. In this context, the objective was to evaluate the use of portable chlorophyll meters to estimate nitrogen fertilization in modern bean genotypes that are currently being used. The studies were carried out in the city of Lavras-MG, in two stages, each consisting of four experiments, corresponding to cultivar BRSMG Uai and strain VR 20 combined with Minolta SPAD-502 and ChlorofiLOG CFL 1030. In the first stage of the project, which was carried out in the 2017/18 season, for each evaluated experiment the treatments consisted of N applications corresponding to four nitrogen sufficiency indices (ISN). A reference area was implanted for each of the evaluated genotypes, being this area common for both chlorophyll meters. After the establishment of the ISN, nitrogen fertilization was performed, associating the fertilization criterion to each one of them. For each 1% lower than the ISN of the treatment, 15 kg ha⁻¹ of N. was applied. In the second stage of the project, in the 2018/19 harvest, in each experiment, the ISN that presented the best results in the first experimental stage was adopted. The treatments consisted of the fertilizer factors: 0; 5; 10 and 20 kg ha⁻¹ N for each 1% below the ISN defined as appropriate in the previous step. At flowering, new readings were performed with the devices, the leaves were detached and destined for leaf analysis to quantify N. At the end of the cycle of each genotype, the number of pods per plant, the number of grains per pod, 100 grain mass, grain yield and N content in the grains were evaluated. Data were submitted to analysis of variance and to detect significant differences to regression analysis and the other tests were performed. The discrepancies between ISN obtained by the devices in the same genotype and by the same device in different genotypes did not allow a joint data analysis. Therefore, it was observed that in genotypes with size and cycle characteristics similar to cultivar BRSMG Uai and strain VR 20, with the use of a fertilization factor between 14 and 16 kg ha⁻¹ of N, the ISN of 95%. Should be reduced to increase the efficiency of nitrogen fertilization. Adjusting the ISN utilization methodology to define the N rates provided as mulching according to the genotype cultivated and the apparatus that will be used may increase the efficiency of nitrogen fertilizer utilization. Only the relative chlorophyll index (CRI) obtained during the flowering period is not efficient to determine the nutritional status of plants in relation to nitrogen.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L. BRSMG Uai. VR 20. Nitrogen.

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a combinação de novas tecnologias de manejo com o melhoramento genético, tem possibilitado o cultivo do feijoeiro-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) em diferentes sistemas de produção com aumentos expressivos de produtividade.

Dentre os tipos de feijões cultivados no Brasil, o carioca apresenta maior importância, devido à preferência do consumidor brasileiro, fazendo com que os programas de melhoramento se concentrem no desenvolvimento de materiais com esse tipo de grãos (LEMOS et al., 2004). No entanto, atualmente, na Zona da Mata mineira, o feijão-vermelho tornou-se o preferido entre os consumidores, alavancando os preços no mercado e impulsionando os programas de melhoramento de feijão no desenvolvimento de materiais com grãos vermelhos (PRADO, 2014).

O potencial produtivo das cultivares atuais de feijão encontra-se bem acima da última média nacional brasileira registrada pela CONAB (2019), de 982 kg ha⁻¹, referente a safra 2017/18. Contudo, o feijoeiro é dependente de diversas práticas de manejo para que as altas produtividades sejam alcançadas. Dentre os fatores afetam negativamente a produtividade de feijão no Brasil, podem ser citados o uso reduzido de sementes certificadas, o baixo uso de tecnologias nos cultivos (CABRAL et al., 2011), adversidades climáticas, esgotamento progressivo da fertilidade do solo (ZUCARELI et al., 2006) e ainda, a falta de informações adequadas para o manejo da adubação nitrogenada nas principais cultivares utilizadas pelos produtores (SANTI et al., 2006).

No feijoeiro-comum o nitrogênio (N) é o nutriente exigido em maior quantidade e embora a cultura apresente alta capacidade de estabelecer associações simbióticas com bactérias gênero *Rizobium*, o N provido da fixação biológica não é suficiente para suprir toda a demanda da cultura, quando se almeja altas produtividades (PELEGLIN et al., 2009). Fazendo-se necessário assim, o fornecimento de fertilizantes nitrogenados (SANT'ANA et al., 2011).

No entanto, uma correta recomendação da adubação nitrogenada é dificultada pela dinâmica complexa do N no solo. Tudo isso pode implicar em doses inferiores à demanda da cultura, limitando a produtividade de grãos, ou doses excessivas, que além de aumentar os riscos de contaminações ambientais podem comprometer o lucro dos produtores (SILVEIRA et al., 2003). A combinação desses fatores, aliada ao elevado custo dos fertilizantes nitrogenados, desperta o interesse no desenvolvimento de técnicas de manejo que possibilitem

maximizar a eficiência de utilização do N pelo feijoeiro (AMADO et al., 2000). Nesse sentido, os clorofilômetros passaram a ser estudados como ferramentas de auxílio na tomada de decisão sobre quando e quanto N fornecer em cobertura, na cultura do feijão (BARBOSA FILHO et al., 2008; BARBOSA FILHO et al., 2009; MAIA et al., 2013; SILVEIRA; GONZAGA, 2017).

A utilização dos clorofilômetros fundamenta-se na correlação positiva existente entre as concentrações de clorofila e N nas folhas (BARBOSA FILHO et al., 2008). No entanto, diferentes fatores podem afetar a medição dos índices relativos de clorofila (IRC) realizada por esses aparelhos (SILVEIRA; GONZAGA, 2017). Desse modo, tem-se empregado o índice de suficiência de nitrogênio (ISN), cuja finalidade é isolar o efeito da concentração de N nas folhas de outros fatores que possam influenciar nas leituras (HUSSEIN et al., 2000).

De acordo com Barbosa Filho et al. (2009) o ISN adequado para o feijoeiro é de 90%, abaixo do qual a adubação nitrogenada deve ser realizada. Para Maia et al. (2012) com o ISN de 90% o feijoeiro ainda necessita de adubação. Silveira e Gonzaga (2017) propuseram além da definição do ISN mais adequado para o feijoeiro, estabelecer quanto de N fornecer em cobertura, e observaram que o valor para o ISN do feijoeiro é igual 95% e a quantidade de N a ser fornecida em cobertura deve estar entre 11 a 15 kg ha⁻¹ a cada 1% abaixo do ISN de 95%. Contudo, grande parte dos trabalhos citados é referente a experimentos conduzidos unicamente com a cultivar Pérola.

Ressalta-se que a cultivar Pérola teve seu registro em 1998, ou seja, há mais de 20 anos (MAPA, 2019). O melhoramento genético atua, entre outras técnicas, na identificação de genes que influenciam a nutrição mineral e na obtenção de cultivares mais eficientes no uso de nutrientes (SARIC, 1983; CHIORATO et al., 2010). Nesse sentido, entende-se que as cultivares mais novas de feijão podem responder de maneira diferente à adubação nitrogenada em cobertura, realizada com base na utilização dos medidores portáteis de clorofila.

Desse modo, objetivou-se avaliar a metodologia de utilização dos clorofilômetros SPAD-502 e o CFL 1030, para a definição da adubação nitrogenada em genótipos de feijão recentemente desenvolvidos, que estão sendo amplamente utilizados. Pretendeu-se também, verificar a precisão dos aparelhos em relacionar os valores das leituras realizadas por ocasião do florescimento ao estado nutricional apresentado pelas plantas, em relação ao nitrogênio.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A obtenção dos índices de suficiência de nitrogênio (ISN) e a definição das doses de nitrogênio relacionadas aos ISN foram realizadas em duas etapas, sendo cada uma delas compostas por quatro experimentos referentes aos dois genótipos analisados com cada um dos aparelhos utilizados. Em ambas as etapas, os experimentos foram desenvolvidos no Centro de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Agropecuária da Universidade Federal de Lavras (CDCT) – Fazenda Muquém, localizado no município de Lavras, sul de Minas Gerais.

As características do solo, clima e informações referentes às datas de implantação dos experimentos, assim como as adubações de semeadura e os tratos culturais são descritos no Capítulo 2, nas sessões 2.1, 2.3 e 2.4, pertencentes ao item 2, Material e Métodos.

Nas duas etapas do projeto foram utilizadas a cultivar de feijão BRSMG Uai e a linhagem VR 20. A cultivar BRSMG Uai foi registrada em julho de 2015 (ABREU et al., 2018) e conforme o Registro Nacional de Cultivares, realizado pelo MAPA (2019), a cultivar BRSMG Uai apresenta grãos tipo carioca, hábito de crescimento indeterminado, sendo classificada como tipo II, porte ereto e seu ciclo, entre a emergência e a maturação fisiológica, de 78 dias. A linhagem de feijão VR 20, nomeada informalmente e conhecida entre os produtores da região como Ouro da Mata, ainda não possui registro junto ao MAPA. No entanto, de acordo com os trabalhos conduzidos, o genótipo apresenta seus grãos na cor vermelha, porte ereto e hábito de crescimento indeterminado, também sendo classificada como tipo II.

O tratamento de sementes foi realizado previamente às semeaduras com um produto fungicida/inseticida a base de piraclostrobina (25 g L^{-1}), tiofanato metílico (225 g L^{-1}) e fipronil (250 g L^{-1}), na dose de 2 mL kg^{-1} de sementes. Juntamente ao produto protetor, foi adicionado o tratamento nutricional a base de cobalto ($6,0 \text{ g L}^{-1}$), molibdênio (120 g L^{-1}) e níquel (12 g L^{-1}), na dose de 150 mL ha^{-1} .

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com quatro repetições. A semeadura foi realizada no espaçamento de 0,60 m entre linhas, utilizando-se 14 sementes por metro no sulco. Cada parcela experimental foi composta por 4 linhas de 5 metros de comprimento, sendo considerada as duas linhas centrais como área útil.

Na primeira etapa do projeto, foram determinados quatro experimentos sendo cada um deles referentes a um dos genótipos avaliados com cada um dos aparelhos utilizados. Os tratamentos em cada experimento foram constituídos por quatro ISN pretendidos. A Tabela 1

apresenta a relação dos ISN obtidos no momento das leituras e os quatro ISN almeçados, de acordo com o genótipo e o aparelho em estudo, caracterizando assim, os quatro tratamentos de cada experimento. Para cada genótipo analisado foi implantada uma única área de referência, sendo ela em comum para os clorofilômetros Minolta SPAD-502 e o ClorofiLOG, modelo CFL1030.

Tabela 1 - Genótipos e aparelhos utilizados, ISN obtidos no estádio V4 e ISN almeçados, referentes aos experimentos conduzidos na primeira etapa do projeto, durante a safra 2017/18.

| Genótipo | Aparelho | ISN obtido | ISN almeçados | | | |
|----------|----------|---------------|---------------|----|----|----|
| | | | 1º | 2º | 3º | 4º |
| BRSMG | SPAD-502 | 90,47 | 92 | 93 | 94 | 95 |
| | Uai | CFL 1030 | 85,51 | 88 | 90 | 93 |
| VR 20 | SPAD-502 | 87,1 | 89 | 91 | 93 | 95 |
| | CFL 1030 | 88,1 | 90 | 92 | 93 | 95 |

Fonte: Do autor (2019).

No dia 23/11/2017, oito dias após a emergência das plantas (15/11/2017), foram realizadas as implantações das áreas de referência, conforme os trabalhos de Silveira e Gonzaga (2017). Nestas áreas, foram fornecidos 150 kg ha⁻¹ de N na cobertura, utilizando-se ureia (45% de N), com aplicação manual a lanço entre as linhas de semeadura.

As leituras com os clorofilômetros foram realizadas a partir da abertura do terceiro trifólio do feijoeiro (estádio V4), no dia 06/12/2017, treze dias após a implantação das áreas de referência. A metodologia utilizada para a realização das leituras e definição dos ISN a serem testados por cada aparelho, está descrita no Capítulo 2, sessão 2.5, pertencente ao item 2, Material e Métodos.

Após definidos os ISN a serem alcançados, foi realizada no dia 08/12/2017 a adubação nitrogenada de cobertura, utilizando-se a ureia como fonte de N. Conforme já discutido por Silveira e Gonzaga (2017), a cada 1% inferior ao ISN do tratamento aplicaram-se 15 kg ha⁻¹ de N. Desse modo, a Tabela 2 apresenta a relação dos genótipos, dos aparelhos utilizados e os ISN avaliados com suas respectivas doses de N fornecidas em cobertura.

Tabela 2 - Genótipos e aparelhos utilizados, ISN avaliados e doses de N fornecidas em cobertura, referentes aos experimentos conduzidos na primeira etapa do projeto, durante a safra 2017/18.

| Cultivar BRSMG Uai | | | | Linhagem VR 20 | | | |
|--------------------|-------------------------------|----------|-------------------------------|----------------|-------------------------------|----------|-------------------------------|
| SPAD-502 | | CFL 1030 | | SPAD-502 | | CFL 1030 | |
| ISN (%) | Dose N (kg ha ⁻¹) | ISN (%) | Dose N (kg ha ⁻¹) | ISN (%) | Dose N (kg ha ⁻¹) | ISN (%) | Dose N (kg ha ⁻¹) |
| 92 | 23 | 88 | 37 | 89 | 29 | 90 | 29 |
| 93 | 38 | 90 | 67 | 92 | 59 | 92 | 59 |
| 94 | 53 | 93 | 113 | 93 | 89 | 93 | 74 |
| 95 | 68 | 95 | 142 | 95 | 119 | 95 | 104 |

Fonte: Do autor (2019).

Na segunda etapa do projeto, quatro experimentos foram implantados com seus respectivos genótipos e aparelhos. O ISN adotado foi o que melhor se apresentou em cada experimento na primeira etapa, de acordo com os testes empregados. Os tratamentos foram constituídos pelos fatores de adubações, 0; 5; 10 e 20 kg ha⁻¹ de N para cada 1% abaixo do ISN almejado.

Foi implantada uma única área de referência para cada genótipo, sendo ela em comum para os dois clorofilômetros testados, no dia 05/11/2018, sete dias após a emergência das plantas (29/10/2018), com o fornecimento de 150 kg ha⁻¹ de N na cobertura, utilizando-se a ureia como fonte de N. As aplicações foram realizadas a lanço, de forma manual entre as linhas de semeadura.

Seguindo a mesma metodologia utilizada na etapa anterior, as leituras com os clorofilômetros foram realizadas a partir da abertura do terceiro trifólio do feijoeiro (estádio V4), no dia 15/11/2018, dez dias após a implantação das áreas de referência. Após obtenção dos ISN para cada um dos genótipos avaliados com cada um dos aparelhos, foi feita a adubação de cobertura no dia 16/11/2018, visando alcançar os ISN que apresentaram os melhores resultados na etapa anterior do projeto. Foi atrelado a eles, cada um dos fatores de adubação, caracterizando-se assim, os tratamentos referentes à segunda etapa. Na Tabela 3 estão descritos os genótipos e aparelhos utilizados, os ISN obtidos, os almejados e as doses de N, definidas de acordo com os fatores de adubação (FA).

Tabela 3 - Genótipos e aparelhos utilizados, ISN obtidos no momento das leituras, ISN almejados e dose de N, definidas de acordo com os fatores de adubação (FA), referentes aos experimentos realizados na segunda etapa do projeto, na safra 2018/19.

| Genótipo | Aparelho | ISN obtido | ISN almejado | Doses de N (kg ha ⁻¹) | | | |
|--------------|----------|---------------|-----------------|-----------------------------------|----|----|----|
| | | | | FA | 0 | 5 | 10 |
| BRSMG Uai | SPAD-502 | 87,1 | 92 | 0 | 25 | 49 | 98 |
| | CFL 1030 | 88,1 | 93 | 0 | 25 | 49 | 98 |
| VR 20 | SPAD-502 | 87,2 | 91 | 0 | 18 | 36 | 72 |
| | CFL 1030 | 86,8 | 90 | 0 | 16 | 32 | 64 |

Fonte: Do autor (2019).

Em ambas as etapas do projeto, a colheita foi realizada de acordo com a maturidade apresentada pelo genótipo em avaliação. Desse modo, as colheitas na primeira etapa do projeto ocorreram nos dias 25/01/2018 e 01/02/2018, referentes aos experimentos conduzidos com a cultivar BRSMG Uai e a linhagem VR 20, respectivamente. Na segunda etapa as colheitas dos experimentos referentes a cultivar BRSMG Uai foram realizadas no dia 17/01/2019, enquanto que os experimentos referentes à linhagem VR 20 foram colhidos no dia 24/01/2018. Em todos os experimentos, as plantas foram arrancadas manualmente nas duas linhas centrais de cada parcela e, posteriormente, trilhadas mecanicamente.

As avaliações ocorridas durante o florescimento, assim como as realizadas por ocasião da colheita e as análises dos dados obtidos, foram realizadas conforme descrito no Capítulo 2, nas sessões 2.6, 2.8 e 2.9, pertencentes ao item 2, Material e Métodos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme observado nas análises das duas etapas do projeto, houve diferenças entre os índices de suficiência de nitrogênio (ISN) obtidos pelos aparelhos em um mesmo genótipo assim como, quando utilizado um mesmo aparelho em genótipos diferentes. Desse modo, a primeira etapa experimental apresenta resultados referentes às análises dos ISN estabelecidos com cada um dos clorofilômetros na cultivar BRSMG Uai e na linhagem VR 20. A segunda etapa do estudo refere-se aos resultados apresentados de acordo os fatores de adubação (FA) atrelados aos ISN, definidos como adequados na primeira etapa experimental.

Nas sessões seguintes estão relacionados os dados referentes às avaliações realizadas com a cultivar BRSMG Uai e com a linhagem VR 20, nas duas etapas experimentais, com base na utilização dos clorofilômetros SPAD-502 e CFL 1030, uma vez que não foi possível a realização de uma análise conjunta entre experimentos.

i) Cultivar BRSMG Uai

Na primeira etapa do estudo, no experimento conduzido com base no clorofilômetro SPAD-502, as características avaliadas não foram influenciadas pelas doses de N determinadas de acordo com os ISN (APÊNDICE D). Na segunda etapa experimental, realizada durante a safra 2018/19, as doses de N estabelecidas com base no clorofilômetro SPAD-502 modificaram significativamente o NVP e a produtividade de grãos (PROD). O NVP respondeu de forma quadrática, sendo que o fator de adubação (FA) de 11,4 kg ha⁻¹ de N a cada 1% abaixo do ISN de 92%, correspondente à dose de 56 kg ha⁻¹ de N, proporcionou 16,7 vagens planta⁻¹ (TABELA 4).

As doses de N, definidas com base no medidor portátil de clorofila CFL 1030 no experimento referente à primeira etapa experimental, exerceram efeito significativo no NVP e na PROD. O NVP apresentou comportamento quadrático, sendo o ISN de 93,7%, referente à dose de 48 kg ha⁻¹ de N, equivalente a 19,7 vagens planta⁻¹. O resultado obtido se assemelha ao relatado por Leal (2019), uma vez que as doses de N fornecidas em cobertura modificaram o NVP da cultivar de feijão BRSMG Uai.

Contudo, apenas a PROD foi influenciada no experimento conduzido com base no aparelho CFL 1030, na safra 2018/19.

Tabela 4 - Números médios de vagens por planta (NVP), de grãos por vagem (NGV), e massa de 100 grãos (MCG) da cultivar de feijão BRSMG Uai em função dos índices de suficiência de nitrogênio (ISN) e dos fatores de adubação (FA) referentes aos experimentos conduzidos nas safras 2017/18 e 2018/19, respectivamente, com auxílio dos clorofilômetros SPAD-502 e CFL 1030. Lavras-MG.

| Safrá 2017/18 | | | | | | | |
|---------------|---------------------|-----|---------|---------|---------------------|-----|---------|
| SPAD-502 | | | | CFL1030 | | | |
| ISN (%) | NVP | NGV | MCG (g) | ISN (%) | NVP | NGV | MCG(g) |
| 92 | 16,7 | 4,8 | 22,9 | 88 | 15,4 ⁽¹⁾ | 4,5 | 22,3 |
| 93 | 19,2 | 4,6 | 22,2 | 90 | 19,0 | 4,7 | 22,9 |
| 94 | 20,9 | 4,5 | 22,6 | 93 | 19,6 | 4,1 | 23,0 |
| 95 | 21,5 | 4,4 | 22,9 | 95 | 17,1 | 4,6 | 22,4 |
| Média | 19,6 | 4,6 | 22,7 | Média | 17,8 | 4,5 | 22,7 |
| CV (%) | 7,0 | 2,2 | 2,7 | CV (%) | 3,9 | 3,4 | 5,8 |
| Safrá 2018/19 | | | | | | | |
| FA | NVP | NGV | MCG (g) | FA | NVP | NGV | MCG (g) |
| 0 | 13,4 ⁽²⁾ | 4,1 | 23,2 | 0 | 13,9 | 4,1 | 23,2 |
| 5 | 15,6 | 4,3 | 23,5 | 5 | 14,9 | 4,5 | 23,6 |
| 10 | 16,6 | 4,3 | 23,9 | 10 | 15,5 | 4,7 | 23,6 |
| 20 | 14,8 | 4,6 | 23,6 | 20 | 17,8 | 4,5 | 23,9 |
| Média | 15,1 | 4,3 | 23,6 | Média | 15,5 | 4,5 | 23,6 |
| CV (%) | 2,8 | 3,4 | 2,7 | CV (%) | 5,6 | 2,6 | 2,7 |

⁽¹⁾ y: $-1.525000x^2 + 285.732000x - 13364.320750$ ($R^2= 0,9476$). ⁽²⁾ y: $-0,02522x^2 + 0,574252x + 13,385477$ ($R^2= 0,6043$). ⁽¹⁾ significativo a 5% pelo teste t.

Fonte: Do autor (2019).

Na primeira etapa experimental, com a utilização do clorofilômetro SPAD-502, as doses de N que variaram entre 23 e 68 kg ha⁻¹, definidas conforme seus respectivos ISN, não influenciaram significativamente a PROD (TABELA 5). Nos trabalhos de Nascimento et al. (2004) e Silva et al. (2006), o aumento nas doses N fornecidas em cobertura não proporcionaram incremento no rendimento de grãos em cultivares de feijão carioca, com as doses máximas de 90 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente.

Tabela 5 - Produtividade de grãos (PROD) da cultivar de feijão BRSMG Uai em função das doses de N correspondentes aos índices de suficiência de nitrogênio (ISN) referentes ao experimento conduzido com base no clorofilômetro SPAD-502. Lavras-MG, 2017/18.

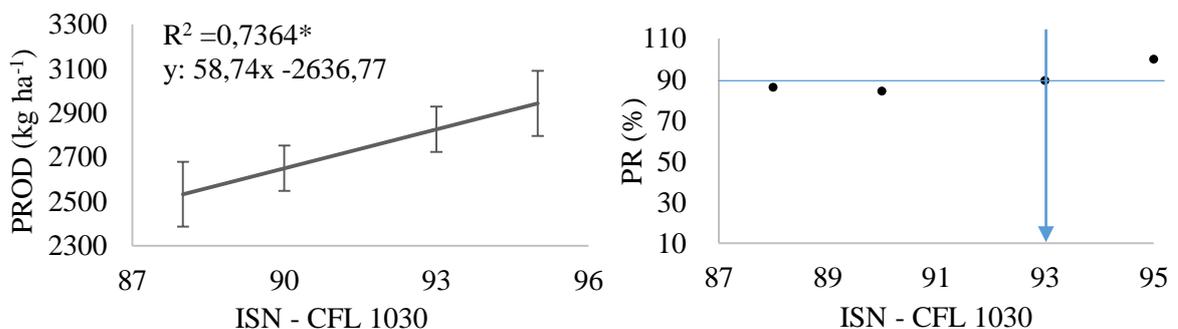
| ISN (%) | Dose de N (kg ha ⁻¹) | PROD (kg ha ⁻¹) |
|---------|----------------------------------|-----------------------------|
| 92 | 23 | 2659 |
| 93 | 38 | 2668 |
| 94 | 53 | 2687 |
| 95 | 68 | 2821 |

Fonte: Do autor (2019).

Sendo assim, o ISN adotado como adequado para a cultivar de feijão BRSMG Uai com clorofilômetro SPAD-502 foi o de 92%. Este foi o menor índice avaliado, com a produtividade de grãos estatisticamente igual aos demais ISN testados. Os resultados obtidos foram inferiores aos apresentados por Silveira e Gonzaga (2017), ao relataram que o ISN ideal para o feijoeiro é de 95%, quando combinado a um FA entre 11 e 15 kg ha⁻¹ de N. No entanto, esses autores trabalharam com a cultivar Pérola e a linhagem CNPF 15874.

Em relação ao experimento realizado com base no clorofilômetro CFL1030, houve incremento na PROD com o aumento das doses de N, as quais variaram de 37 a 142 kg ha⁻¹, de acordo com os ISN testados (FIGURA 1). Leal (2019) também obteve resposta na produtividade de grãos da cultivar de feijão BRSMG Uai, com elevação das doses de N em cobertura.

Figura 1 - Produtividade de grãos (PROD) e produtividade relativa de grãos (PR) da cultivar de feijão BRSMG Uai em função dos ISN definidos com auxílio do clorofilômetro CFL 1030. Lavras-MG, 2017/18. * significativo a 5% pelo teste t. As barras verticais indicam o intervalo de confiança da estimativa da análise de regressão (ICEAR).



Fonte: Do autor (2019).

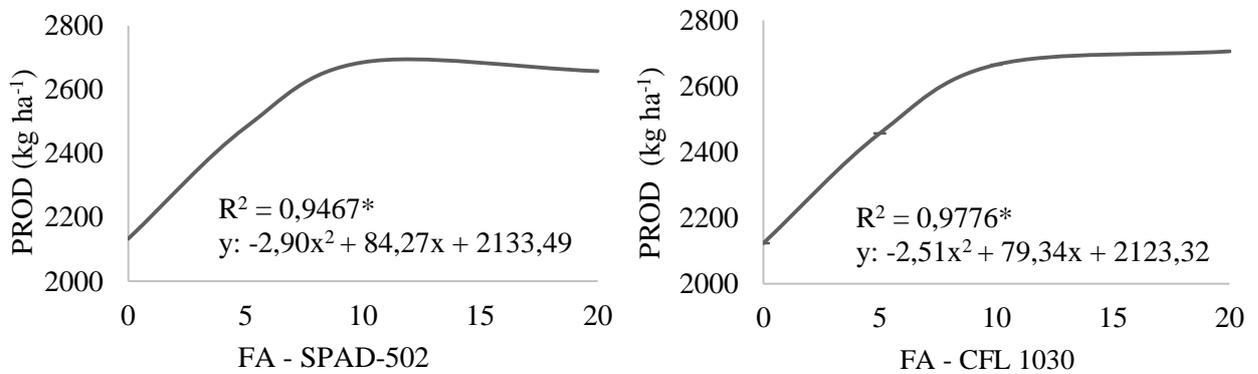
No experimento conduzido com base no clorofilômetro CFL 1030, não foi possível a adoção de um ISN considerado como ideal para a cultivar, utilizando-se somente a análise de regressão para este fim. Sendo assim, foi utilizada a combinação dos critérios: intervalo de confiança da estimativa da análise de regressão (ICEAR) e a produtividade relativa de grãos (PR).

Como foi observado a existência da sobreposição dos ICEAR dos ISN iguais a 93 e 95%, o ISN de 93% foi considerado como adequado para a cultivar de feijão BRSMG Uai. Ressalta-se que a decisão de adoção do ISN de 93% foi validada pelo critério da produtividade relativa, proposto por Cate e Nelson (1971), uma vez que, este foi o menor ISN capaz de garantir no mínimo 90% da máxima produtividade alcançada entre os ISN testados (FIGURA 1).

A dose de nitrogênio referente ao ISN de 93% foi de 112 kg ha^{-1} , correspondendo à produtividade de aproximadamente 2800 kg ha^{-1} de feijão. A média obtida no experimento realizado com base no aparelho SPAD-502 foi de 2700 kg ha^{-1} . No entanto, em ambos os experimentos, as produtividades obtidas foram maiores que a média geral de 2361 kg ha^{-1} , referente ao compilado de 27 experimentos realizados durante os anos de 2007 a 2009 para essa cultivar, conforme Abreu et al. (2018).

A segunda etapa experimental teve como intuito viabilizar a adoção dos ISN definidos como adequados na primeira etapa. Desse modo, a análise da eficiência dos ISN iguais a 92 (SPAD-502) e 93% (CFL 1030) combinados a diferentes FA, proporcionou o alcance de excelentes resultados para a cultivar analisada. A cultivar BRSMG Uai obteve a PROD com resposta quadrática às doses de N em cobertura, tanto com no experimento conduzido com base no clorofilômetro SPAD-502, quanto no conduzido com base no aparelho CFL 1030 (FIGURA 2).

Figura 2 - Produtividade de grãos (PROD) da cultivar de feijão BRSMG Uai em função dos fatores de adubação (FA), referentes aos experimentos realizados com base nos clorofilômetros SPAD-502 e CFL 1030. Lavras-MG, 2018/19. * significativo a 5% pelo teste t.



Fonte: Do autor (2019).

No experimento definido com a utilização do clorofilômetro SPAD-502, o rendimento máximo de grãos estimado foi de 2745 kg ha⁻¹, alcançado com a dose de 71 kg ha⁻¹ de N, correspondente ao FA de 14,5 kg ha⁻¹ de N a cada 1% abaixo do ISN de 92%. Em relação ao aparelho CFL 1030, o FA responsável por estimar o ponto de máximo rendimento de grãos foi o de 15,8 kg ha⁻¹ de N a cada 1% abaixo do ISN de 93%. A dose de N definida por essa combinação entre o FA e o ISN, foi de 77 kg ha⁻¹ de N, sendo a máxima produtividade estimada em 2740 kg ha⁻¹.

As respostas nas produtividades de grãos observadas são semelhantes às encontradas por Silveira e Gonzaga (2017), pois eles observaram que foram necessários 75 kg ha⁻¹ de N para que a cultivar Pérola alcançasse a máxima produtividade. No entanto, essa dose foi determinada a partir da utilização do FA de 15 kg ha⁻¹ de N, a cada 1% abaixo do ISN de 95%. A título de comparação, se esses parâmetros fossem seguidos no presente estudo, as doses de N fornecidas seriam de 118,5 e 103,5 kg ha⁻¹ para os experimentos conduzidos com auxílio dos clorofilômetros SPAD-502 e CFL 1030, respectivamente. Ou seja, nas duas situações as doses de N seriam superestimadas. Os dados relacionados acima indicam que podem ocorrer diferenças nos ISN de acordo com os aparelhos testados em um mesmo ambiente de cultivo, além de evidenciar a necessidades de mais estudos com outras cultivares, com o objetivo de melhorar a eficiência da adubação nitrogenada na cultura.

As leituras realizadas pelos clorofilômetros durante o período de florescimento, assim como as análises foliares, para determinação do teor de N, não foram influenciadas pelas diferentes doses de N fornecidas em cobertura (TABELA 6). Por sua vez, os teores de N nos

grãos variaram com as doses de N, definidas com base na utilização do clorofilômetro CFL 1030, na safra realizada em 2018/19 (APÊNDICE F).

Tabela 6 - Índices relativos de clorofila (IRC), teores de nitrogênio nas folhas (NF) e nos grãos (NG) da cultivar de feijão BRSMG Uai em função dos índices de suficiência de nitrogênio (ISN) e dos fatores de adubação (FA) nas safras 2017/18 e 2018/19, respectivamente, com auxílio dos clorofilômetros SPAD-502 e CFL 1030. Lavras-MG.

| Saфра 2017/18 | | | | | | | |
|---------------|-----|--------------------------|--------------------------|----------|-----|--------------------------|--------------------------|
| SPAD-502 | | | | CFL 1030 | | | |
| ISN (%) | IRC | NF (g kg ⁻¹) | NG (g kg ⁻¹) | ISN (%) | IRC | NF (g kg ⁻¹) | NG (g kg ⁻¹) |
| 92 | 42 | 45 | 38 | 88 | 47 | 50 | 37 |
| 93 | 41 | 47 | 37 | 90 | 49 | 51 | 38 |
| 94 | 42 | 47 | 39 | 93 | 50 | 50 | 38 |
| 95 | 42 | 48 | 37 | 95 | 48 | 50 | 38 |
| Média | 42 | 47 | 38 | Média | 49 | 50 | 38 |
| CV (%) | 6,6 | 5,0 | 5,6 | CV (%) | 2,7 | 3,8 | 4,5 |
| Saфра 2018/19 | | | | | | | |
| FA | IRC | NF (g kg ⁻¹) | NG (g kg ⁻¹) | FA | IRC | NF (g kg ⁻¹) | NG (g kg ⁻¹) |
| 0 | 30 | 42 | 34 | 0 | 40 | 42 | 34 ⁽¹⁾ |
| 5 | 32 | 41 | 35 | 5 | 39 | 41 | 35 |
| 10 | 30 | 38 | 37 | 10 | 41 | 39 | 37 |
| 20 | 34 | 37 | 38 | 20 | 42 | 39 | 39 |
| Média | 32 | 40 | 36 | Média | 41 | 40 | 37 |
| CV (%) | 8,8 | 6,8 | 5,6 | CV (%) | 6,7 | 4,8 | 5,0 |

⁽¹⁾ $y = 0,026x + 3,41$ ($R^2 = 0,9426$). ⁽¹⁾ significativo a 5% pelo teste t.

Fonte: Do autor (2019).

Os índices relativos de clorofila (IRC) não apresentaram relação com os teores de N nas folhas e nos grãos. As médias das leituras realizadas pelos aparelhos na primeira safra foram de 42 (SPAD-502) e 49 (CFL 1030), enquanto que na segunda etapa os valores médios encontrados no florescimento foram de 32 (SPAD-502) e 41 (CFL 1030). Em todos os casos analisados, os IRC foram correspondentes a teores de N foliar dentro da faixa indicada por Silva (2009) como ideal para a cultura do feijoeiro, entre 30 e 50 g kg⁻¹.

Houve aumento linear dos teores de N nos grãos (NG) em função das doses de N fornecidas em cobertura no experimento conduzido com base no clorofilômetro CFL 1030, na safra 2018/19. Nos demais casos analisados, referentes ao aparelho SPAD-502 e ao

experimento conduzidos com base no CFL 1030, durante a safra 2017/18, os NG foram próximos aos observados por Ambrosano et al. (1997), em torno de 35 g de N por kg de feijão produzido.

Pode-se considerar que a adoção dos FA iguais a 14,5 kg ha⁻¹ de N a cada 1% abaixo do ISN de 92%, com a utilização do aparelho SPAD-502, e 15,8 kg ha⁻¹ de N a cada 1% abaixo do ISN de 93% com a utilização do clorofilômetro CFL 1030 pode ser viável, em ambientes que favoreçam a disponibilização de N para o sistema. Visto que em ambos os casos, além de proporcionar a máxima produtividade de grãos, apresentaram teores de nitrogênio nas folhas e nos grãos compatíveis com os resultados encontrados na literatura, referentes a lavouras em estado nutricional adequado.

ii) Linhagem VR 20

Na primeira etapa do presente estudo, pertinente aos experimentos conduzidos na safra 2017/18 com a linhagem VR 20, os componentes do rendimento não foram influenciados pelas doses de N, definidas de acordo com os ISN e seus respectivos clorofilômetros (SPAD-502 e CFL 1030). Apenas a produtividade de grãos (PROD) correspondente ao experimento realizado com base no clorofilômetro SPAD-502 foi modificada com as doses de N fornecidas em cobertura (APÊNDICE E).

Em relação aos experimentos conduzidos na segunda etapa experimental, os tratamentos estabelecidos conforme os FA e seus respectivos clorofilômetros exerceram efeito significativo sobre o NGV e sobre a PROD. Os valores médios dos componentes do rendimento avaliados estão descritos na Tabela 7.

O número de grãos por vagem (NGV) variou de forma linear com incremento das doses de N no experimento da segunda etapa, estabelecido com base no clorofilômetro SPAD-502. Enquanto que no experimento determinado com base no aparelho CFL 1030, a variação do NGV com as doses de N, definidas de acordo com os diferentes FA, foi quadrática. O FA igual a 10,7 kg ha⁻¹ de N para cada 1% abaixo do ISN de 90%, correspondente à dose de 34 kg ha⁻¹ de N, proporcionou 4,5 grãos vagem⁻¹. Os resultados obtidos divergem dos relatos de Medeiros et al. (2000) e Soratto et al. (2004), os quais consideram que a adubação nitrogenada de cobertura não influencia o NGV, pois essa característica está mais relacionada a fatores genéticos do feijoeiro.

Tabela 7 - Números médios de vagens por planta (NVP), de grãos por vagem (NGV), e massa de 100 grãos (MCG) da linhagem de feijão VR 20 em função dos índices de suficiência de nitrogênio (ISN) e dos fatores de adubação (FA) referentes aos experimentos conduzidos nas safras 2017/18 e 2018/19, respectivamente, com auxílio dos clorofilômetros SPAD-502 e CFL 1030. Lavras-MG.

| Safr 2017/18 | | | | | | | |
|--------------|------|--------------------|---------|---------|------|--------------------|---------|
| SPAD-502 | | | | CFL1030 | | | |
| ISN (%) | NVP | NGV | MCG (g) | ISN (%) | NVP | NGV | MCG (g) |
| 89 | 16,4 | 4,1 | 26,5 | 90 | 14,8 | 3,7 | 26,4 |
| 91 | 17,2 | 3,8 | 27,4 | 92 | 14,2 | 3,6 | 26,5 |
| 93 | 16,5 | 3,7 | 27,7 | 93 | 15,7 | 3,7 | 27,1 |
| 95 | 18,4 | 3,4 | 26,9 | 95 | 15,1 | 3,5 | 26,8 |
| Média | 17,1 | 3,8 | 27,1 | Média | 15,0 | 3,6 | 26,7 |
| CV (%) | 4,5 | 3,9 | 3,6 | CV (%) | 6,1 | 3,4 | 2,6 |
| Safr 2018/19 | | | | | | | |
| FA | NVP | NGV | MCG (g) | FA | NVP | NGV | MCG (g) |
| 0 | 14,0 | 4,1 ⁽¹⁾ | 20,9 | 0 | 14,0 | 4,1 ⁽²⁾ | 20,9 |
| 5 | 13,4 | 4,2 | 21,2 | 5 | 13,1 | 4,4 | 20,1 |
| 10 | 12,9 | 4,4 | 20,7 | 10 | 13,8 | 4,5 | 20,7 |
| 20 | 15,5 | 4,7 | 20,6 | 20 | 15,7 | 4,2 | 20,6 |
| Média | 14,0 | 4,4 | 20,9 | Média | 14,2 | 4,3 | 20,6 |
| CV (%) | 7,8 | 3,4 | 5,4 | CV (%) | 4,9 | 1,4 | 7,0 |

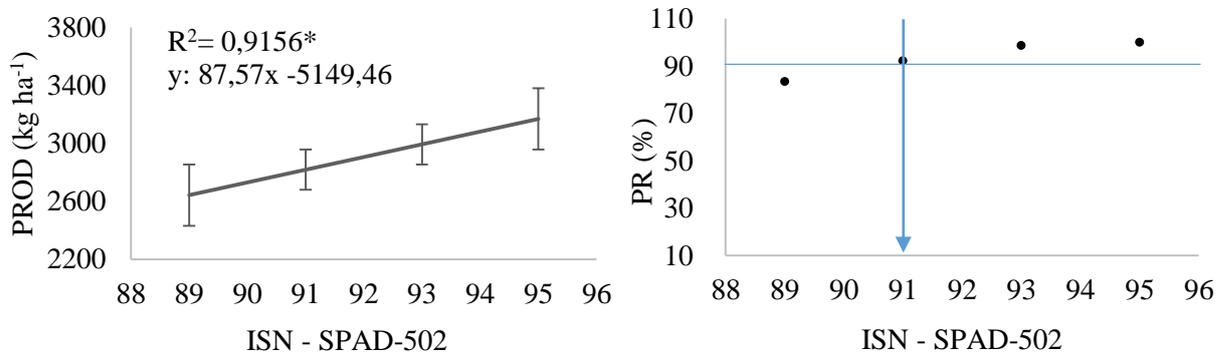
⁽¹⁾ $y = 0,029914x + 4,067000$ ($R^2 = 0,7216$). ⁽²⁾ $y = -0,003830x^2 + 0,081898x + 4,058523$ ($R^2 = 0,8655$).

⁽¹⁾ significativo a 5% pelo teste t.

Fonte: Do autor (2019).

Com a utilização do clorofilômetro SPAD-502, a produtividade de grãos variou linearmente com o aumento nas doses de N, de 29 a 119 kg ha⁻¹, definidas de acordo com os ISN utilizados durante a primeira etapa experimental (FIGURA 3). Os resultados encontrados condizem com os apresentados por Crusciol et al. (2007), Valderrama et al. (2009) e Moreira et al. (2013), autores que forneceram até 120 kg ha⁻¹ de N em cobertura e obtiveram resposta linear na produtividade de grãos da cultivar de feijão-comum Pérola.

Figura 3 - Produtividade de grãos (PROD) e produtividade relativa de grãos (PR) da linhagem de feijão VR 20 em função dos ISN definidos com auxílio do clorofilômetro SPAD-502. Lavras-MG, 2017/18. * significativo a 5% pelo teste t. As barras verticais indicam o intervalo de confiança da estimativa da análise de regressão.



Fonte: Do autor (2019).

Ressalta-se que não foi possível realizar a tomada de decisão sobre qual o ISN ideal a ser adotado para a linhagem, utilizando-se o clorofilômetro SPAD-502, somente através da análise de regressão. Desse modo, além da análise de regressão, adotou-se o intervalo de confiança da estimativa da análise de regressão (ICAER) e a produtividade relativa de grãos (PR), para se obter um ISN adequado.

Através da Figura 3, observa-se a sobreposição dos ICEAR para os índices de 91, 93 e 95%. Nota-se que com os índices de 91, 93 e 95% foram fornecidas doses de N que conferiram produtividades de grãos iguais estatisticamente. Desse modo, a adoção do ISN de 91% proporcionou a redução de 30 e 60 kg ha⁻¹ de N, quando comparada aos índices de 93 e 95%, respectivamente. E ainda, de acordo o critério da produtividade relativa apresentado por Cate e Nelson (1971), o índice de 91% foi o menor ISN utilizado capaz de garantir no mínimo 90% da máxima produtividade de grãos.

As doses de N, que variaram entre 29 e 104 kg ha⁻¹, definidas com auxílio do medidor portátil de clorofila CFL1030, não exerceram influências na produtividade de grãos, apresentando como média geral 3005 kg ha⁻¹ de feijão. Prado (2014), durante a análise do potencial de famílias e linhagens de feijão-vermelho do programa de seleção recorrente da Universidade Federal de Viçosa, relatou que a produtividade média de grãos para a linhagem de feijão VR 20 foi igual a 2736 kg ha⁻¹, valor inferior aos encontrado no presente trabalho, independente dos ISN testados (TABELA 8).

Tabela 8 - Produtividade de grãos (PROD) da linhagem de feijão VR 20 em função das doses de N correspondentes aos índices de suficiência de nitrogênio (ISN) referentes ao experimento conduzido com base no clorofilômetro CFL 1030. Lavras-MG, 2017/18.

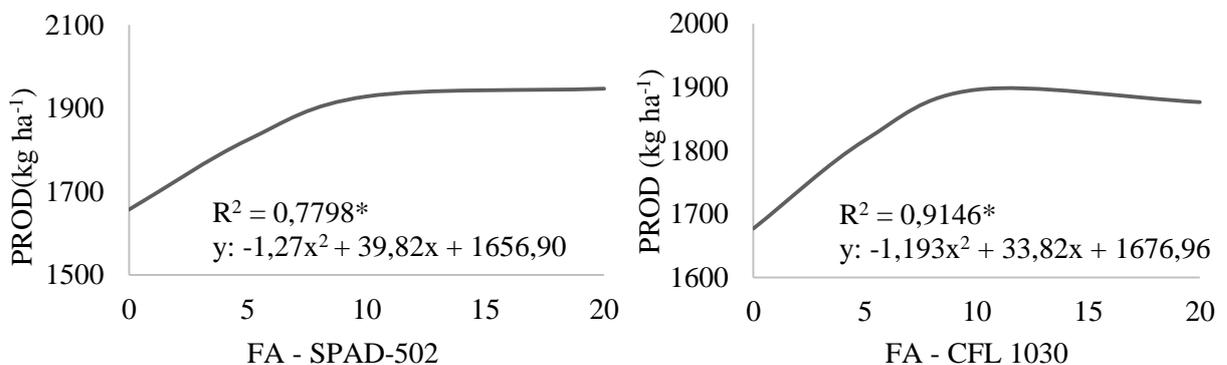
| ISN (%) | Dose de N (kg ha ⁻¹) | PROD (kg ha ⁻¹) |
|---------|----------------------------------|-----------------------------|
| 90 | 29 | 2910 |
| 92 | 59 | 3105 |
| 93 | 74 | 2996 |
| 95 | 104 | 3011 |

Fonte: Do autor (2019).

O resultado obtido também está de acordo com os apresentados por Nascimento et al. (2004), Arf et al. (2004), Silva et al. (2006) e Menegol (2014), uma vez que, o aumento da dose de N em cobertura na cultura do feijoeiro, não proporcionou incremento na PROD. Sendo assim, observadas as equivalências em termos de PROD para os ISN definidos com a utilização do clorofilômetro CFL1030, por estar relacionado a uma menor dose de nitrogênio fornecida em cobertura, o ISN de 90% foi adotado como adequado.

Na etapa experimental conduzida durante a safra 2018/19, a avaliação da eficiência dos ISN adotados como adequados na etapa anterior também apresentou excelentes resultados. Em relação aos rendimentos de grãos, os experimentos conduzidos com base nos seus respectivos clorofilômetros responderam de forma quadrática frente às doses de N, definidas conforme os diferentes FA testados (FIGURA 4).

Figura 4 - Produtividade de grãos (PROD) da linhagem de feijão VR 20 em função dos fatores de adubação (FA), referentes aos experimentos conduzidos com base nos clorofilômetros SPAD-502 e CFL 1030. Lavras-MG, 2018/19. * significativo a 5% pelo teste t.



Fonte: Do autor (2019).

Com o experimento definido com base no clorofilômetro SPAD-502, foi possível estimar a produtividade máxima de 1970 kg ha⁻¹, com a dose de 56,5 kg ha⁻¹ de N, correspondente ao FA de 15,7 kg ha⁻¹ de N a cada 1% abaixo do ISN de 91%. Enquanto que, no experimento realizado com base no medidor portátil de clorofila CFL 1030, a produtividade máxima estimada foi de 1917 kg ha⁻¹ com a dose de 44,5 kg ha⁻¹ de N, correlacionada ao FA de 14,2 kg ha⁻¹ de N a cada 1% abaixo do ISN de 90%. Desse modo, os dados obtidos evidenciam a possibilidade de redução do ISN de 95%, quando o fator de adubação utilizado estiver entre 14 e 16 kg ha⁻¹ de N, independente do clorofilômetro que será utilizado. Assim é possível inferir que para genótipos de feijão do grupo vermelho pode-se trabalhar com o ISN próximo a 90%, inferior ao de 95% definidos conforme Silveira e Gonzaga (2017).

Quanto às avaliações realizadas por ocasião do florescimento, assim como as análises referentes aos teores de N nos grãos, não foram observadas diferenças significativas em função das doses de N fornecidas em cobertura, independentemente da safra e do aparelho utilizado (APÊNDICE F). Sendo assim, não foi possível estabelecer uma relação entre as leituras obtidas pelos aparelhos e os demais caracteres avaliados. Os valores médios referentes ao índice relativo de clorofila (IRC) e aos teores de N nas folhas (NF) e nos grãos (NG) são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Índices relativos de clorofila (IRC), teores de nitrogênio nas folhas (NF) e nos grãos (NG) da linhagem de feijão VR 20 em função dos índices de suficiência de nitrogênio (ISN) e dos fatores de adubação (FA) referentes aos experimentos conduzidos nas safras 2017/18 e 2018/19, respectivamente, com auxílio dos clorofilômetros SPAD-502 e CFL 1030. Lavras-MG.

| Safrá 2017/18 | | | | | | | |
|---------------|-----|--------------------------|--------------------------|----------|-----|--------------------------|--------------------------|
| SPAD-502 | | | | CFL 1030 | | | |
| ISN (%) | IRC | NF (g kg ⁻¹) | NG (g kg ⁻¹) | ISN (%) | IRC | NF (g kg ⁻¹) | NG (g kg ⁻¹) |
| 88 | 44 | 40 | 39 | 90 | 52 | 38 | 39 |
| 91 | 44 | 41 | 39 | 92 | 53 | 44 | 41 |
| 93 | 44 | 42 | 40 | 93 | 52 | 40 | 43 |
| 95 | 45 | 42 | 41 | 95 | 53 | 42 | 41 |
| Média | 44 | 41 | 40 | Média | 53 | 41 | 41 |
| CV (%) | 2,7 | 4,2 | 5,3 | CV (%) | 3,2 | 9,5 | 5,8 |
| Safrá 2018/19 | | | | | | | |
| FA | IRC | NF (g kg ⁻¹) | NG (g kg ⁻¹) | FA | IRC | NF (g kg ⁻¹) | NG (g kg ⁻¹) |
| 0 | 37 | 47 | 39 | 0 | 41 | 47 | 39 |
| 5 | 35 | 47 | 39 | 5 | 40 | 47 | 39 |
| 10 | 36 | 43 | 39 | 10 | 43 | 46 | 39 |
| 20 | 39 | 46 | 36 | 20 | 44 | 45 | 39 |
| Média | 37 | 46 | 38 | Média | 42 | 46 | 39 |
| CV (%) | 4,1 | 8,4 | 6,4 | CV (%) | 6,4 | 7,8 | 3,0 |

Fonte: Do autor (2019).

Em relação ao teor de N foliar, independentemente dos experimentos avaliados, os valores médios estavam dentro da faixa considerada por Silva (2009), como ideal para o feijoeiro-comum (30 a 50 g kg⁻¹). E ainda, os resultados obtidos são semelhantes aos apresentados por Fornasieri Filho et al. (2007), visto que as diferentes doses de N fornecidas em cobertura não influenciaram na concentração de N nas folhas.

Os valores referentes ao nitrogênio nos grãos foram condizentes com os observados por Perez et al. (2013) em seus relatos sobre a extração e exportação de nutrientes pelo feijoeiro adubado com nitrogênio, em diferentes tempos de implantação do sistema de plantio direto. Sendo assim, considera-se que os FA acompanhados de seus respectivos ISN definidos como adequados, também se apresentam eficientes por proporcionarem que as folhas e os grãos de feijão produzidos permanecessem bem nutridos, em consideração ao nitrogênio.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme se observa no estudo, as discrepâncias entre os índices de suficiência de nitrogênio observados entre os aparelhos e materiais genéticos avaliados, impedem a utilização de uma recomendação generalizada para o emprego dos clorofilômetros, sem que se comprometa a obtenção de uma maior eficiência da adubação nitrogenada.

Na segunda etapa do projeto, a metodologia de utilização dos clorofilômetros foi melhor ajustada para ambos aparelhos e genótipos avaliados. Contudo, esse fato pode estar relacionado ao ambiente de cultivo onde os experimentos foram conduzidos, e nas diferenças entre os teores de matéria orgânica no solo (RODRIGUES et al., 2017), apresentadas pelas áreas de implantação dos experimentos. O teor da matéria orgânica foi bem menor na área de implantação dos experimentos (TABELA 1 do Capítulo 2) na primeira etapa do projeto ($2,0 \text{ dag kg}^{-1}$) quando comparada a área de implantação dos experimentos da segunda etapa ($3,6 \text{ dag kg}^{-1}$).

Na safra 2017/18, os experimentos foram implantados sob sistema de plantio direto (SPD), enquanto que na safra seguinte, sob sistema convencional de preparo do solo. Segundo Binotti et al. (2009), a cultura do feijoeiro pode ser muito exigente e responsiva à adubação nitrogenada, principalmente em sucessão a gramíneas no SPD, devido a imobilização do nitrogênio pelos microrganismos presentes na palhada.

Desse modo, entende-se que o nível de eficácia de utilização dos clorofilômetros, para definir as doses de N fornecidas em cobertura, está relacionado à capacidade do solo em imobilizar ou disponibilizar N às plantas, pois o N imobilizado será mineralizado e disponibilizado em algum momento, que pode não coincidir com o momento ideal do genótipo em cultivo.

No entanto, os critérios adotados para a definição de quais ISN poderiam ser considerados como adequados na primeira etapa experimental, se mostraram muito eficientes na etapa seguinte para a cultivar BRSMG Uai e para a linhagem VR 20, com os dois clorofilômetros utilizados. De acordo com os dados observados, os ajustes de utilização dos clorofilômetros apresentaram excelentes resultados, por proporcionar aumento na eficiência da adubação nitrogenada.

Sendo assim, observa-se que o fator de adubação de $14,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de N a cada 1% abaixo do ISN de 92% utilizando o clorofilômetro SPAD-502 e o FA igual a $15,8 \text{ kg ha}^{-1}$ combinado ao ISN de 93% para o CFL 1030, são ideais para a cultivar BRSMG Uai, em

ambientes de cultivos que favoreçam a disponibilidade de N. Resultados semelhantes foram observados para a linhagem VR 20, com FA de 15,7 kg ha⁻¹ de N atrelado ao ISN 91% utilizando o clorofilômetro SPAD-502 e o FA igual a 14,2 kg ha⁻¹ de N combinado ao ISN 90% para o CFL 1030.

Não foi obtida uma relação entre os valores das leituras realizadas pelos aparelhos com os teores de N nas folhas e/ou nos grãos. Nos casos analisados, os teores de N nas folhas apresentaram-se dentro da faixa indicada como ideal para a cultura, conforme Silva (2009). No entanto, os valores obtidos através das leituras realizadas pelos aparelhos foram bem discrepantes.

De acordo com os dados obtidos, observa-se que o teor de N nos grãos é uma característica pouco influenciada pelo ambiente de cultivo, visto que os diferentes genótipos avaliados apresentaram uma alta estabilidade quanto a esta característica, sendo que em grande parte das análises, os teores de N nos grãos estiveram entre 35 a 40 g kg⁻¹ de feijão produzido.

Contudo, acredita-se que o presente trabalho poderá contribuir de forma significativa para pesquisas futuras envolvendo a utilização dos clorofilômetros para melhorar a eficiência de utilização dos fertilizantes nitrogenados na cultura do feijoeiro. Visto que, os resultados obtidos evidenciam a necessidade de maiores informações a respeito da metodologia de utilização dos clorofilômetros com cultivares de características variadas em diferentes sistemas de cultivo, com o objetivo de avaliar a performance dos aparelhos em ambientes que exerçam grandes influências na disponibilidade de nitrogênio para as plantas.

5 CONCLUSÕES

Em genótipos com características de porte e ciclo semelhantes a cultivar BRSMG Uai e a linhagem VR 20, com a utilização de um fator de adubação entre 14 e 16 kg ha⁻¹ de N, o ISN de 95% deve ser reduzido, visando aumentar a eficiência da adubação nitrogenada.

O ajuste da metodologia de utilização dos ISN, para a definição das doses de N fornecidas em cobertura, de acordo o genótipo cultivado e com o clorofilômetro que será utilizado, pode aumentar a eficiência da adubação nitrogenada, devendo-se lembrar que a realização da calibração dos aparelhos é necessária em todas as situações de uso.

Somente o índice relativo de clorofila, obtido no período de florescimento, não é eficiente para determinar o estado nutricional da lavoura em relação ao nitrogênio.

REFERÊNCIAS

- ABREU, A. D. F. B.; RAMALHO, M. A. P.; CARNEIRO, J. D. S.; MELO, L. C.; PEREIRA, H. S.; SOUZA, T. L. P. O.; JÚNIOR, P.; SOUZA, E. A.; PEREIRA FILHO, I. A.; MARTINS, M.; DEL GIÚDICE, M. P. **BRSMG Uai**: cultivar de feijão tipo carioca com planta de arquitetura ereta. Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO, 2018. (Comunicado Técnico 246).
- AMADO, T. J. C.; MIELNIZUK, J.; FERNÁNDEZ, S. B. V. Leguminosas e adubação mineral como fontes de nitrogênio para o milho em sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 179-189, 2000.
- AMBROSANO, E. J.; TANAKA, R. T.; MASCARENHAS, H. A. A.; RAIJ, B.; QUAGGIO, J. A.; CANTARELA, H. Leguminosas e oleaginosas. In: RAIJ, B.; CANTARELA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico e Fundação IAC, 1997. p.187-203.
- ARF, O.; RODRIGUES, R.A.F.; SÁ, M.E.; BUZETTI, S.; NASCIMENTO, V. Manejo do solo, água e nitrogênio no cultivo de feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 2, p. 131-138, 2004.
- BARBOSA FILHO, M. P.; COBUCCI, T.; FAGERIA, N. K.; MENDES, P. N. Determinação da necessidade de adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro irrigado com auxílio do clorofilômetro portátil. **Ciência Rural**, v. 38, p. 1843-1848, 2008.
- BARBOSA FILHO, M. P.; COBUCCI, T.; FAGERIA, N. K.; MENDES, P. N. Época de aplicação de nitrogênio no feijoeiro irrigado monitorada com auxílio de sensor portátil. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, p. 425-431, 2009.
- BINOTTI, F.F. S.; ARF, O.; SÁ, M.E. ; BUZETTI, S.; ALVAREZ, A. C. C.; KAMIMURA, K. M. Fontes, doses e modo de aplicação de nitrogênio em feijoeiro no sistema plantio direto. **Bragantia**, v. 68, p. 473-481, 2009.
- CABRAL, P.D.S.; SOARES, T.C.B; LIMA, A.B.P.; SOARES, Y.J.B.; SILVA, J.A.de. Análise de trilha do rendimento de grãos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) e seus componentes. **Revista Ciência Agronômica**, v.42, p.132-138, 2011.
- CATE, R. B.; NELSON, L. A. A simple statistical procedure for partitioning soil correlation data into classes. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 35, p. 658-660, 1971.
- CHIORATO, A. F.; CARBONEL, S. A. M.; VENCOSKY, R.; FONSECA JÚNIOR, N. da S.; PINHEIRO, J. B. Genetic gain in the breeding program of common beans at IAC from 1989 to 2007. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v.10, n.4, p.329-336, 2010.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira: Grãos**. v. 6 Safra 2018/19 - Sétimo levantamento, Brasília, p. 1-69, abril 2019a.

CRUSCIOL, C. A. C.; SORATO, R. P.; SILVA, L. M.; LEMOS, L. B. Fontes e doses de nitrogênio para o feijoeiro em sucessão a gramíneas no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 6, p. 1545-1552, 2007.

FORNASIERI FILHO, D.; XAVIER, M.A.; LEMOS, L.B.; FARINELLI, R. Resposta de cultivares de feijoeiro comum à adubação nitrogenada em sistema de plantio direto. **Científica**, v. 35, n. 2, p.115-121, 2007.

HUSSAIN, F.; BRONSON, K. F.; PENG, S. Use of chlorophyll meter sufficiency indices for nitrogen management of irrigated rice in Asia. **Agronomy Journal**, v. 92, p. 875-879, 2000.

LEAL, F. T. **Produtividade, qualidade e eficiência de uso do nitrogênio de cultivares de feijoeiro comum**. 2019. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2019.

LEMOS, L. B.; OLIVEIRA, R. S.; PALOMINO, E. C.; SILVA, T. R. B. da. Características agrônomicas e tecnológicas de genótipos de feijão do grupo comercial Carioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 4, p. 319-326, 2004.

MAIA, S. C. M.; SORATO, R. P.; BIAZOTTO, F. O.; ALMEIDA, A. Q. d. Estimativa da necessidade de nitrogênio em cobertura no feijoeiro IAC Alvorada com clorofilômetro portátil. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, 2013.

MAIA, S. C. M.; SORATOO, R. P.; NASTARO, B.; FREITAS, L. B. d. The nitrogen sufficiency index underlying estimates of nitrogen fertilization requirements of common bean. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 183-192, 2012.

MAPA. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Registro Nacional de Cultivares – RNC**, 2019. Disponível em: <
http://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/cultivares_registradas.php> Acesso em: 25 maio 2019.

MEDEIROS, G. D.; ARRUDA, F. B.; SAKAI, E.; FUJIWARA, M.; BONI, N. R. Crescimento vegetativo e coeficiente de cultura do feijoeiro relacionados a graus-dia acumulados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 9, 2000.

MENEGOL, D. R. **Épocas de aplicação de nitrogênio no feijoeiro comum (Phaseolus vulgaris L.) baseadas no índice de suficiência de clorofila**. 2014. Dissertação (Mestrado em Agricultura e Ambiente) – Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2014.

MOREIRA, G. B. L.; RODINEI F. PEGORARO, N. V.; IRAN B.; MARCOS K. K. Desempenho agrônomico do feijoeiro com doses de nitrogênio em semeadura e cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 8, 2013.

NASCIMENTO, M. S.; ARF, O.; DA SILVA, M. G. Resposta do feijoeiro à aplicação de nitrogênio em cobertura e molibdênio via foliar. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 26, n. 2, p. 153-159, 2004.

PELEGRIN, R.; MERCANTE F. M.; OTSUBO, I. M. N.; OTSUBO, A. K. Resposta da cultura do feijoeiro à adubação nitrogenada e à inoculação com rizóbio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 1, p. 219-226, 2009.

PEREZ, A. A. G.; SORATTO, R. P.; MANZATTO, N. P.; SOUZA, E. D. F. C. D. 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**, p. 1276-1287, 2013.

PRADO, A. L. **Potencial de famílias e linhagens de feijão-vermelho do Programa de Seleção Recorrente da Universidade Federal de Viçosa**. 2014. 47 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2014.

RODRIGUES, R.; Mello, W. Z.; Conceição, M. C. G.; Souza P. A.; SILVA J. J. N. Dinâmica do nitrogênio em sistemas agrícolas e florestais tropicais e seu impacto na mudança do clima. **Revista Virtual Química**, v. 9 (5), p. 1868-1886, 2017.

SANT'ANA, E. V. P.; SANTOS, A. B. dos; SILVEIRA, P. M. da. Eficiência de uso de nitrogênio em cobertura pelo feijoeiro irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 458-462, 2011.

SANTI, A. L. DUTRA, L. M. C.; MARTIN, T. N.; BONADIMAN, R.; BELLÉ, G. L.; DELLA FLORA, L. P.; JAUER, A. Adubação nitrogenada na cultura do feijoeiro em plantio convencional. **Ciência Rural**, v. 36, p. 1079- 1085, 2006.

SARIC, M.R. Theoretical and practical approaches to the genetic specificity of mineral nutrition of plants. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 72, n. 2-3, p. 137-150, 1983.

SILVA F. B. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

SILVA, T. R. B.; LEMOS, L. B.; TAVARES, C. A. Produtividade e característica tecnológica de grãos em feijoeiro adubado com nitrogênio e molibdênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 5, p. 739-745, maio 2006.

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

SILVEIRA, P. M. de.; GONZAGA, A. C. de. O. Portable chlorophyll meter can estimate the nitrogen sufficiency index and levels of topdressing nitrogen in common bean. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia v. 47, p. 1-6, 2017.

SORATTO, R. P.; CARVALHO, M. A. C.; ARF, O. Teor de clorofila e produtividade do feijoeiro em razão da adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 895-901, 2004.

VALDERRAMA, M.; BUZETTI, S.; BENETT, C. G. S.; ANDREOTTI, M.; ARF, O.; de SÁ, M. E. Fontes e doses de nitrogênio e fósforo em feijoeiro no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia v. 39, p.191-196, 2009.

ZUCARELI, C.; RAMOS JUNIOR, E. U.; BARREIRO, A. P.; NAKAGAWA, J.; CAVARIANI, C. Adubação fosfatada, componentes de produção, produtividade e qualidade fisiológica em sementes de feijão. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 28, n.01, p. 9-15, 2006.

APÊNDICE D

Resumo da análise de variância, com os quadrados médios (QM) dos números de vagens por planta (NVP), de grãos por vagem (NGV), da massa de 100 grãos (MCG) e da produtividade de grãos (PROD) da cultivar de feijão BRSMG Uai para a definição dos ISN e dos FA, nas safras 2017/18 e 2018/19, respectivamente, com base na utilização dos clorofilômetros SPAD502 e CFL1030 em Lavras – MG.

| Genótipo/ aparelho | FV | GL | QM | | | |
|-------------------------|---------|----|--------------------|---------------------|--------------------|------------------------|
| | | | NVP | NGV | MCG | PROD |
| BRS MG Uai/ SPAD-520 | ISN | 3 | 0,27 ^{ns} | 0,008 ^{ns} | 0,46 ^{ns} | 22894,82 ^{ns} |
| | Bloco | 3 | 0,28 ^{ns} | 0,006 ^{ns} | 2,46* | 31347,13 ^{ns} |
| | Resíduo | 9 | 0,10 | 0,002 | 0,38 | 23795,66 |
| | CV (%) | | 7,04 | 2,20 | 2,74 | 5,69 |
| BRSMG Uai/ CFL1030 | ISN | 3 | 0,22* | 0,018 ^{ns} | 0,35 ^{ns} | 181155,95* |
| | Bloco | 3 | 0,06 ^{ns} | 0,003 ^{ns} | 1,46 ^{ns} | 67594,33 ^{ns} |
| | Resíduo | 9 | 0,03 | 0,005 | 1,71 | 27867,79 |
| | CV (%) | | 3,85 | 3,42 | 5,75 | 6,10 |
| BRS MG Uai/ SPAD-502 | FA | 3 | 0,19* | 0,010 ^{ns} | 0,37 ^{ns} | 273372,57* |
| | Bloco | 3 | 0,01 ^{ns} | 0,006 ^{ns} | 0,43 ^{ns} | 1804,59 ^{ns} |
| | Resíduo | 9 | 0,01 | 0,004 | 0,26 | 12669,55 |
| | CV (%) | | 2,84 | 3,36 | 2,18 | 4,52 |
| BRS MG Uai/ CFL 1030 | FA | 3 | 0,16 ^{ns} | 0,013 ^{ns} | 0,41 ^{ns} | 290568,62* |
| | Bloco | 3 | 0,02 ^{ns} | 0,001 ^{ns} | 0,19 ^{ns} | 8826,89 ^{ns} |
| | Resíduo | 9 | 0,05 | 0,004 | 0,41 | 7932,53 |
| | CV (%) | | 5,58 | 2,85 | 2,73 | 3,58 |

*significativo e ^{ns} não significativo pelo teste de F a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2019).

APÊNDICE E

Resumo da análise de variância, com os quadrados médios (QM) dos números de vagens por planta (NVP), de grãos por vagem (NGV), da massa de 100 grãos (MCG) e da produtividade de grãos (PROD) da linhagem VR 20 para a definição dos ISN e dos FA, nas safras 2017/18 e 2018/19, respectivamente, com base na utilização dos clorofilômetros SPAD502 e CFL1030 em Lavras – MG.

| Genótipo/ Aparelho | FV | GL | QM | | | |
|-----------------------|---------|----|--------------------|---------------------|--------------------|------------------------|
| | | | NVP | NGV | MCG | PROD |
| VR 20/ SPAD-520 | ISN | 3 | 0,05 ^{ns} | 0,020 ^{ns} | 1,06 ^{ns} | 223321,72* |
| | Bloco | 3 | 0,02 ^{ns} | 0,000 ^{ns} | 1,06 ^{ns} | 10908,89 ^{ns} |
| | Resíduo | 9 | 0,03 | 0,006 | 0,93 | 54834,28 |
| | CV (%) | | 4,45 | 3,92 | 3,55 | 8,06 |
| VR 20/ CFL1030 | ISN | 3 | 0,02 ^{ns} | 0,001 ^{ns} | 0,40 ^{ns} | 25646,15 ^{ns} |
| | Bloco | 3 | 0,09 ^{ns} | 0,003 ^{ns} | 1,43 ^{ns} | 4906,61 ^{ns} |
| | Resíduo | 9 | 0,06 | 0,004 | 0,46 | 52378,89 |
| | CV (%) | | 6,12 | 3,42 | 2,55 | 7,62 |
| VR 20/ SPAD-502 | FA | 3 | 0,09 ^{ns} | 0,020* | 0,30 ^{ns} | 90816,30* |
| | Bloco | 3 | 0,20 ^{ns} | 0,002 ^{ns} | 1,77 ^{ns} | 6917,79 ^{ns} |
| | Resíduo | 9 | 0,08 | 0,005 | 1,29 | 4404,80 |
| | CV (%) | | 7,75 | 3,42 | 5,44 | 3,61 |
| VR 20/ CFL1030 | FA | 3 | 0,08 ^{ns} | 0,010* | 0,43 ^{ns} | 42769,16* |
| | Bloco | 3 | 0,06 ^{ns} | 0,008* | 0,54 ^{ns} | 33235,22* |
| | Resíduo | 9 | 0,03 | 0,001 | 2,09 | 7858,44 |
| | CV (%) | | 4,89 | 1,43 | 7,04 | 4,88 |

*significativo e ^{ns} não significativo pelo teste de F a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2019).

APÊNDICE F

Resumo da análise de variância, com os quadrados médios (QM) das leituras dos aparelhos (IRC) e avaliações dos teores de N nas folhas (NF) e nos grãos (NG), realizadas na cultivar BRSMG Uai e da linhagem VR 20 em função dos ISN e dos FA referentes aos experimentos conduzidos nas safras 2017/18 e 2018/19, respectivamente, com auxílio do clorofilômetro CFL 1030. Lavras-MG.

| Genótipo/aparelho | FV | GL | QM | | | FV | GL | QM | | |
|-------------------------|---------|----|--------------------|--------------------|--------------------|---------|----|---------------------|--------------------|--------------------|
| | | | IRC | NF | NG | | | IRC | NF | NG |
| BRS MG Uai/ SPAD-520 | ISN | 3 | 1,28 ^{ns} | 0,06 ^{ns} | 0,02 ^{ns} | FA | 3 | 12,20 ^{ns} | 0,20 ^{ns} | 0,15 ^{ns} |
| | Bloco | 3 | 7,35 ^{ns} | 0,31 [*] | 0,08 ^{ns} | Bloco | 3 | 6,24 ^{ns} | 0,01 ^{ns} | 0,00 ^{ns} |
| | Resíduo | 9 | 7,57 | 0,05 | 0,04 | Resíduo | 9 | 7,78 | 0,07 | 0,04 |
| | CV (%) | | 6,61 | 5,00 | 5,60 | CV (%) | | 8,84 | 6,77 | 5,55 |
| BRS MG Uai/ CFL1030 | ISN | 3 | 5,89 ^{ns} | 0,07 ^{ns} | 0,02 ^{ns} | FA | 3 | 8,41 ^{ns} | 0,11 ^{ns} | 0,21 [*] |
| | Bloco | 3 | 1,42 ^{ns} | 0,11 ^{ns} | 0,04 ^{ns} | Bloco | 3 | 7,56 ^{ns} | 0,04 ^{ns} | 0,02 ^{ns} |
| | Resíduo | 9 | 1,64 | 0,04 | 0,03 | Resíduo | 9 | 7,21 | 0,04 | 0,03 |
| | CV (%) | | 2,65 | 3,84 | 4,47 | CV (%) | | 6,68 | 4,78 | 5,00 |
| VR 20/ SPAD-520 | ISN | 3 | 1,14 ^{ns} | 0,06 ^{ns} | 0,03 ^{ns} | FA | 3 | 8,47 ^{ns} | 0,11 ^{ns} | 0,08 ^{ns} |
| | Bloco | 3 | 3,49 ^{ns} | 0,04 ^{ns} | 0,05 ^{ns} | Bloco | 3 | 2,33 ^{ns} | 0,16 ^{ns} | 0,02 ^{ns} |
| | Resíduo | 9 | 1,47 | 0,03 | 0,04 | Resíduo | 9 | 2,20 | 0,15 | 0,06 |
| | CV (%) | | 2,74 | 4,19 | 5,27 | CV (%) | | 4,05 | 8,35 | 6,40 |
| VR 20/ CFL1030 | ISN | 3 | 1,91 ^{ns} | 0,20 ^{ns} | 0,10 ^{ns} | FA | 3 | 15,31 ^{ns} | 0,05 ^{ns} | 0,00 ^{ns} |
| | Bloco | 3 | 3,08 ^{ns} | 0,18 ^{ns} | 0,08 ^{ns} | Bloco | 3 | 3,55 ^{ns} | 0,09 ^{ns} | 0,06 ^{ns} |
| | Resíduo | 9 | 2,81 | 0,15 | 0,06 | Resíduo | 9 | 7,34 | 0,13 | 0,02 |
| | CV (%) | | 3,20 | 9,46 | 5,82 | CV (%) | | 6,44 | 7,83 | 3,01 |

*significativo e ^{ns} não significativo pelo teste de F a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2019).