

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CÂMPUS DE BOTUCATU

**CRITÉRIOS PARA O MANEJO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA NA  
CULTURA DO FEIJÃO UTILIZANDO CLOROFILÔMETRO  
PORTÁTIL**

**SUELEN CRISTINA MENDONÇA MAIA**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Agricultura).

BOTUCATU – SP  
Dezembro de 2014

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CÂMPUS DE BOTUCATU

**CRITÉRIOS PARA O MANEJO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA NA  
CULTURA DO FEIJÃO UTILIZANDO CLOROFILÔMETRO  
PORTÁTIL**

**SUELEN CRISTINA MENDONÇA MAIA**

Orientador: Prof. Dr. Rogério Peres Soratto

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Agricultura).

BOTUCATU – SP  
Dezembro de 2014

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

M217c      Maia, Suelen Cristina Mendonça, 1986-  
            Critérios para o manejo da adubação nitrogenada na cultura do feijão utilizando clorofilômetro portátil / Suelen Cristina Mendonça Maia. - Botucatu : [s.n.], 2014  
            x, 104 f. : grafs., tabs.

            Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2014  
            Orientador: Rogério Peres Soratto  
            Inclui bibliografia

            1. Feijão comum - Adubação nitrogenada. 2. Clorofila. 3. Fertilizantes nitrogenados. I. Soratto, Rogério Peres. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU  
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: " CRITÉRIOS PARA O MANEJO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA NA  
CULTURA DO FEIJÃO UTILIZANDO CLOROFILÔMETRO  
PORTÁTIL"

ALUNA: SUELEN CRISTINA MENDONÇA MAIA

ORIENTADOR: PROF. DR. ROGERIO PERES SORATTO

Aprovado pela Comissão Examinadora

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. ROGERIO PERES SORATTO

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. ADALTON MAZETTI FERNANDES

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. ORIVALDO ARF

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. HAMILTON KIKUTI

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. CARLOS ALBERTO BASTOS ANDRADE

Data da Realização: 03 de dezembro de 2.014.

Aos meus pais, *Suely Mendonça e Orvanil Maia*,

Aos meus avós, *Luzia Mendonça e José Júlio Mendonça*,

Pelo exemplo de dedicação e determinação, pelo amor e orientação durante toda minha vida.

À minha razão de vida, meu sobrinho *Paulo Maia*, por surgir para alegrar e trazer mais sentido às nossas vidas.

Ao *Lucas Barbosa*,

Pelo amor, generosidade, companheirismo e compreensão em todos os momentos de nossas vidas.

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida e todas as oportunidades que tem me proporcionado.

Ao Prof. Dr. Rogério Peres Soratto, pela valiosa orientação, paciência, amizade e pelo admirável exemplo de caráter e profissionalismo.

Aos meus pais e avós, pela confiança, incentivo, amor, dedicação, pelo sacrifício e vibração em cada passo da minha caminhada.

Ao Lucas Barbosa de Freitas, pelo apoio, carinho, amor, compreensão e ajuda na execução deste trabalho.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo apoio financeiro, concedido por meio de bolsa de estudo (Processo nº 2011/08874-4) e projeto de auxílio regular a pesquisa (Processo nº 2011/18218-7).

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela bolsa de estudos (Processo nº 3925-13-7) concedida para fins de estágio de doutoramento nos Estados Unidos, pelo Programa de Doutorado Sanduíche no Exterior (PDSE).

À Louisiana State University, especialmente à Prof. Dra. Brenda S. Tubaña, pelo ótimo acolhimento, orientação e ajuda em todas as etapas do meu estágio de doutorado no exterior.

Aos amigos Brandon White, Tapasya Babu, Payton Dupree, Yamid Sanabria e Flávia Agostinho, pela amizade sincera, companheirismo, afeto e ajuda durante todo período de convívio nos Estados Unidos.

Às amigas, Aline Matoso, Adriana Almeida e Tailene Kotz, pela prazerosa convivência, incentivo, amizade sincera, ajuda e apoio incondicional.

Às estagiárias Suzane Liebe e Luciana Brunetto, pelo auxílio na realização desse trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Produção Vegetal (Agricultura), pelo auxílio nos trabalhos, em especial a Vera Lúcia Rossi, Ilanir Rosane R. Bocetto, Eliane Gonçalves, Dorival Pires de Arruda, Célio Mariano Ricardo, Casimiro Edson Alves, Aparecido Manoel da Silva e Antonio Oliveira Camargo.

A todo o corpo docente da pós-graduação, pelo conhecimento transmitido, orientações e incentivo.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO
















	Página
LISTA DE TABELAS .....	VI
LISTA DE FIGURAS .....	VIII
1. RESUMO .....	01
2. SUMMARY .....	03
3. INTRODUÇÃO.....	05
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	08
5. MATERIAL E MÉTODOS.....	18
5.1. Localização e caracterização edafoclimática da área experimental .....	18
5.2. Caracterização das cultivares de feijão .....	20
5.3. Primeira Etapa – Safra “das águas” de 2011 .....	21
5.3.1. Delineamento experimental e tratamentos .....	21
5.3.2. Instalação e condução dos experimentos em campo.....	21
5.3.3. Avaliações realizadas .....	22
5.3.4. Análise estatística.....	26
5.4. Segunda Etapa .....	26
5.4.1. Delineamento experimental e tratamentos .....	26
5.4.2. Instalação e condução dos experimentos em campo.....	27
5.4.3. Avaliações realizadas .....	32
5.4.4. Análise estatística.....	35
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	36
6.1. Primeira Etapa – Safra “das águas” de 2011 .....	36
6.1.1. Cultivar Pérola .....	36
6.1.2. Cultivar IPR Eldorado .....	51
6.2. Segunda Etapa - 2012 .....	66
6.2.1. Cultivar Pérola .....	66
6.2.2. Cultivar IPR Eldorado .....	78
7. CONCLUSÕES.....	89
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	90

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela</b>	<b>Página</b>
1 Atributos químicos do solo, na profundidade de 0,0 a 0,20 m, antes da instalação dos experimentos. ....	20
2 Épocas de aplicação e total de N aplicado em cada manejo e experimento, na safra “da seca”.....	29
3 Épocas de aplicação e total de N aplicado em cada manejo e experimento, na safra “das águas”.....	31
4 Teores de N total, N-amoniacoal ( $N-NH_4^+$ ) e N-nítrico ( $N-NO_3^-$ ), no perfil do solo (0,0-0,20 m e 0,20-0,40 m), determinados em amostras coletadas na área do experimento antes da semeadura da cultura do feijão.....	36
5 Coeficientes de correlação linear simples entre o índice relativo de clorofila e teor de N foliar determinados de cada época de avaliação e folha diagnóstica e a massa de matéria seca (MMS) da parte aérea, teor de N na parte aérea, quantidade de N acumulada na parte aérea no estádio R6 e produtividade de grãos do feijoeiro cultivar Pérola. ....	51
6 Teores de N total, N-amoniacoal ( $N-NH_4^+$ ) e N-nítrico ( $N-NO_3^-$ ), no perfil do solo (0,0-0,20 m e 0,20-0,40 m), determinados em amostras coletadas na área do experimento antes da semeadura da cultura do feijão. ....	52
7 Coeficientes de correlação linear simples entre o índice relativo de clorofila e teor de N foliar determinados de cada época de avaliação e folha diagnóstica e a massa de matéria seca (MMS) da parte aérea, teor de N na parte aérea, quantidade de N acumulada na parte aérea no estádio R6 e produtividade de grãos do feijoeiro cultivar IPR Eldorado. ....	66
8 Teores de N total, N-amoniacoal ( $N-NH_4^+$ ) e N-nítrico ( $N-NO_3^-$ ) no perfil do solo (até 0,40 m de profundidade), determinado em amostras coletadas na área do experimento antes da semeadura da cultivar Pérola durante as safras “da seca” e “das águas”.....	67
9 Teores de N total, N-amoniacoal ( $N-NH_4^+$ ) e N-nítrico ( $N-NO_3^-$ ) no perfil do solo (até 0,40 m de profundidade), determinado em amostras coletadas na área experimental durante o florescimento pleno do feijoeiro cultivar Pérola, nas safras “da seca” e das “águas”.....	68
10 Massa de matéria seca e quantidade de N na cobertura vegetal avaliadas na área do experimento durante o florescimento do feijoeiro cultivar Pérola em função dos manejos da adubação nitrogenada durante as safras “da seca” e “das águas”.....	70
11 Massa de matéria seca, teor de N e quantidade de N acumulada na parte aérea do feijoeiro cultivar Pérola, determinadas no florescimento pleno, em função dos manejos de N, nas safras “da seca” e “das águas”. ....	74

12	População final de plantas, número de vagens por planta, número de grãos por vagem e massa de 100 grãos do feijoeiro cultivar Pérola em função dos manejos de N, nas safras “da seca” e “das águas”.....	75
13	Produtividade de grãos, produtividade relativa e eficiência de utilização do N aplicado no feijoeiro cultivar Pérola em função dos manejos de N, nas safras “da seca” e “das águas”.....	77
14	Teores de N total, N-amoniacoal ( $N-NH_4^+$ ) e N-nítrico ( $N-NO_3^-$ ) no perfil do solo (até 0,40 m de profundidade), determinado em amostras coletadas na área do experimento antes da semeadura da cultivar IPR Eldorado durante as safras “da seca” e “das águas”.....	78
15	Teores de N total, N-amoniacoal ( $N-NH_4^+$ ) e N-nítrico ( $N-NO_3^-$ ) no perfil do solo (até 0,40 m de profundidade), determinado em amostras coletadas na área experimental durante o florescimento pleno do feijoeiro cultivar IPR Eldorado, nas safras “da seca” e das “águas”.....	79
16	Massa de matéria seca e quantidade de N na cobertura vegetal avaliadas na área do experimento durante o florescimento do feijoeiro cultivar IPR Eldorado em função dos manejos da adubação nitrogenada durante as safras “da seca” e “das águas”.....	81
17	Massa de matéria seca, teor de N e quantidade de N acumulada na parte aérea do feijoeiro cultivar IPR Eldorado em função dos manejos de N, nas safras “da seca” e “das águas”.....	85
18	População final de plantas, número de vagens por planta, número de grãos por vagem e massa de 100 grãos do feijoeiro cultivar IPR Eldorado em função dos manejos de N, nas safras “da seca” e “das águas”.....	86
19	Produtividade de grãos, produtividade relativa e eficiência de utilização do N aplicado no feijoeiro cultivar IPR Eldorado em função dos manejos de N, nas safras “da seca” e “das águas”.....	88

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
1 Precipitação pluvial (  ), temperaturas máximas (  ) e mínimas (  ) registradas na área experimental durante a safra “das águas” em 2011 (A), safra “da seca” em 2012 (B) e safra “das águas” em 2012 (C), bem como, as datas de emergência (E), florescimento da cultivar Pérola (F-P) e da cultivar IPR Eldorado (F-I), e colheita da cultivar Pérola (C-P) e da cultivar IPR Eldorado (C-I). .....	19
2 Teores de N-amoniacal (N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) nas camadas de 0,0-0,20 m (  ) e 0,20-0,40 m (  ) do solo, determinados nos estádios V3 (primeira folha trifoliolada completamente expandida) (A), R6 (florescimento pleno) (B), final de R7 (Formação e crescimento de vagens) (C) e R9 (colheita de grãos) (D) do feijoeiro cultivar Pérola, em função de doses de N aplicadas. ....	37
3 Teores de N-nítrico (N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) nas camadas de 0,0-0,20 m (  ) e 0,20-0,40 m (  ), determinados nos estádios V3 (primeira folha trifoliolada completamente expandida) (A), R6 (florescimento pleno) (B), final de R7 (Formação e crescimento de vagens) (C) e R9 (colheita de grãos) (D) do feijoeiro cultivar Pérola, em função de doses de N aplicadas. ....	38
4 Teores de N total nas camadas de 0,0-0,20 m (  ) e 0,20-0,40 m (  ), do solo determinados nos estádios V3 (primeira folha trifoliolada completamente expandida) (A), R6 (florescimento pleno) (B), final de R7 (Formação e crescimento de vagens) (C) e R9 (colheita de grãos) (D) do feijoeiro cultivar Pérola, em função de doses de N aplicadas. ....	40
5 Massa de matéria seca (A) e quantidade de N acumulado na cobertura vegetal (B) em diferentes estádios de desenvolvimento do feijoeiro cultivar Pérola, em função das doses de N aplicadas. ....	41
6 Índices relativos de clorofila (IRC) determinados na primeira (  ), segunda (  ) e terceira (  ) folhas completamente expandidas a partir do ápice do feijoeiro cultivar Pérola, avaliados aos 14 DAE (A), aos 21 DAE (B), aos 28 DAE (C) e aos 35 DAE (D), em função de doses de N aplicadas. ....	43
7 Teores de N foliar determinados na primeira (  ), segunda (  ) e terceira (  ) folhas completamente expandidas a partir do ápice do feijoeiro cultivar Pérola, avaliados aos 14 DAE (A), aos 21 DAE (B), aos 28 DAE (C) e aos 35 DAE (D), em função de doses de N aplicadas. ....	44
8 Massa de matéria seca (MMS) da parte aérea em V3 (primeira folha trifoliolada completamente expandida) (A), em R6 (florescimento pleno) (B), no final de R7 (Formação e crescimento de vagens) (C) e em R9 (colheita de grãos) (D) da cultivar Pérola, em função das doses de N aplicadas. ....	46

- 9 Teor de N na massa de matéria seca da parte aérea (A) e quantidade de N acumulada na massa de matéria seca da parte aérea (B), no florescimento pleno, do feijoeiro cultivar Pérola, em função de doses de N aplicadas. .... 47
- 10 População final de plantas (A), número de vagens por planta (B), número de grãos por vagem (C), massa de 100 grãos (D) e produtividade de grãos do feijoeiro cultivar Pérola, em função das doses de N aplicadas. .... 48
- 11 Teores de N-amoniacal ( $\text{N-NH}_4^+$ ) nas camadas de 0,0-0,20 m (◆) e 0,20-0,40 m (□) do solo, avaliados aos 14 DAE (A), aos 21 DAE (B), aos 28 DAE (C) e aos 35 DAE (D), em função das doses de N aplicadas. .... 53
- 12 Teores de N-nítrico ( $\text{N-NO}_3^-$ ) nas camadas de 0,0-0,20 m (◆) e 0,20-0,40 m (□) do solo, determinados nos estádios V3 (primeira folha trifoliolada completamente expandida) (A), R6 (florescimento pleno) (B), final de R7 (Formação e crescimento de vagens) (C) e R9 (colheita de grãos) (D) do feijoeiro cultivar IPR Eldorado, em função das doses de N aplicadas. .... 54
- 13 Teores de N total nas camadas de 0,0-0,20 m (◆) e 0,20-0,40 m (□) do solo, determinados nos estádios V3 (primeira folha trifoliolada completamente expandida) (A), R6 (florescimento pleno) (B), final de R7 (Formação e crescimento de vagens) (C) e R9 (colheita de grãos) (D) do feijoeiro cultivar IPR Eldorado, em função de doses de N aplicadas. .... 56
- 14 Massa de matéria seca (A) e quantidade de N acumulada na cobertura vegetal (B), avaliados nos estádios V3 (primeira folha trifoliolada completamente expandida), R6 (florescimento pleno), final de R7 (Formação e crescimento de vagens) e R9 (colheita de grãos) do feijoeiro cultivar IPR Eldorado, em função das doses de N aplicadas. .... 57
- 15 Índices relativos de clorofila (IRC) determinados na primeira (◆), segunda (□) e terceira (▲) folhas completamente expandidas a partir do ápice do feijoeiro cultivar IPR Eldorado, avaliados aos 14 DAE (A), aos 21 DAE (B), aos 28 DAE (C) e aos 35 DAE (D), em função de doses de N aplicadas. .... 58
- 16 Teores de N foliar determinado na primeira (◆), segunda (□) e terceira (▲) folhas completamente expandidas a partir do ápice do feijoeiro cultivar IPR Eldorado, avaliados aos 14 DAE (A), aos 21 DAE (B), aos 28 DAE (C) e aos 35 DAE (D), em função de doses de N aplicadas. .... 60
- 17 Massa de matéria seca (MMS) da parte aérea avaliada nos estádios V3 (primeira folha trifoliolada completamente expandida) (A), R6 (florescimento pleno) (B), final de R7 (Formação e crescimento de vagens) (C) e R9 (colheita de grãos) (D) do feijoeiro cultivar IPR Eldorado, em função das doses de N aplicadas. .... 61
- 18 Teor de N na massa de matéria seca da parte aérea (A) e quantidade de N acumulado na massa de matéria seca da parte aérea (B), determinados no

- florescimento pleno do feijoeiro cultivar IPR Eldorado, em função das doses de N aplicadas. \*  $p < 0,05$  e \*\*  $p < 0,01$ . ..... 62
- 19 População final de plantas (A), número de vagens por planta (B), número de grãos por vagem (C), massa de 100 grãos (D) e produtividade de grãos (E) do feijoeiro cultivar IPR Eldorado, em função das doses de N aplicadas. .... 64
- 20 Índice relativo de clorofila (A e B) e índice de suficiência de N (C e D) das folhas do feijoeiro cultivar Pérola, nas safras “da seca” e “das águas”, em diferentes épocas de avaliação, em função do manejo da adubação nitrogenada de cobertura. M1 = 40 + 80 + 80 kg ha<sup>-1</sup>, M2 = 20 + 40 + 40 kg ha<sup>-1</sup>, M3 = 20 + 30 kg ha<sup>-1</sup> quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 96%; M4 = 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + 30 kg ha<sup>-1</sup> quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 93%; M5 = 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + 30 kg ha<sup>-1</sup> quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 90% e, M6 = controle, sem aplicação de N. .... 72
- 21 Índice relativo de clorofila (A e B) e índice de suficiência de N (C e D) das folhas do feijoeiro cultivar IPR Eldorado, nas safras da “seca” e das “águas”, em diferentes épocas de avaliação, em função do manejo da adubação nitrogenada de cobertura. M1 = 40 + 80 + 80 kg ha<sup>-1</sup>, M2 = 20 + 40 + 40 kg ha<sup>-1</sup>, M3 = 20 + 30 kg ha<sup>-1</sup> quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 96%; M4 = 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + 30 kg ha<sup>-1</sup> quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 93%; M5 = 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + 30 kg ha<sup>-1</sup> quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 90% e, M6 = controle, sem aplicação de N. .... 83

## 1. RESUMO

O clorofilômetro portátil é um aparelho que permite obtenção do índice relativo da clorofila (IRC), o qual se correlaciona com o teor de clorofila e o de nitrogênio (N) da folha, sendo assim, a determinação do IRC, por meio do clorofilômetro, pode ser uma alternativa para prever a necessidade de N pelo feijoeiro. Contudo, existem dúvidas sobre qual a folha e o índice de suficiência de N (ISN) mais adequados para definir a necessidade de N pela cultura. Dessa forma, objetivou-se com esse trabalho estabelecer a folha diagnose e o valor do índice de suficiência de N mais adequados para definir a necessidade de N da cultura do feijão comum, através de leituras indiretas do teor de clorofila, mediante o uso do clorofilômetro portátil (Minolta SPAD-502) em sistema plantio direto. Para tanto, foi realizado um trabalho de pesquisa constituído de duas etapas. Na primeira foram realizados dois experimentos em campo, um com cada cultivar (Pérola e IPR Eldorado), durante a safra “das águas”, no ano de 2011, com a finalidade de estabelecer qual a melhor folha diagnose (primeira, segunda e terceira folhas trifolioladas completamente expandidas a partir do ápice) para definir a necessidade de N da cultura do feijão comum, usando o clorofilômetro portátil. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com cinco doses de N (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha<sup>-1</sup>) e quatro repetições. Na segunda etapa foram realizados quatro experimentos, dois com cada cultivar (Pérola e IPR Eldorado), durante as safras “da seca” e “das águas”, no ano de 2012, para definir o ISN, em relação ao tratamento referência (sem deficiência de N), mais adequado para indicar a necessidade de N na cultura. As leituras com o clorofilômetro foram realizadas na folha que apresentou os maiores valores de correlações entre o IRC, teor de N e produtividade de grãos, definidas na primeira etapa. Em todos os experimentos da

segunda etapa, o delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com seis manejos do N (**M1**: 40 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + 80 kg aos 10 DAE + 80 kg aos 20 DAE (referência); **M2**: 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + 40 kg aos 10 DAE + 40 kg aos 20 DAE (dose recomendada); **M3**: 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + 30 kg quando o ISN < 96%; **M4**: 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + 30 kg quando o ISN < 93%; **M5**: 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + 30 kg quando o ISN < 90% e, **M6**: controle (sem aplicação de N)) e quatro repetições. A aplicação de N aumentou a massa de matéria seca da parte aérea, o teor de N na folha no florescimento, o índice relativo de clorofila, o teor e acúmulo de N na parte aérea das plantas e o número de vagens por planta das cultivares Pérola e IPR Eldorado. A adubação nitrogenada proporcionou aumento da produtividade de grãos das cultivares Pérola e IPR Eldorado em sistema plantio direto. Leituras indiretas do teor de clorofila em folhas mais velhas, ou seja, a segunda folha completamente expandida a partir do ápice, na fase inicial do ciclo da cultura, e a terceira, em estádios mais adiantados, apresentaram melhores correlações com o teor de N, sendo, portanto, mais precisas para definir a necessidade de N da cultura do feijão comum, mediante o uso do clorofilômetro portátil. A folha diagnose mais adequada para realização das leituras indiretas de clorofila não variou com a cultivar utilizada. O uso do ISN de 90% foi mais eficiente para definir quando se deve aplicar o N em cobertura no feijoeiro, por proporcionar economia de N aplicado sem reduzir a produtividade de grãos das cultivares em estudo, em comparação com o tratamento referência (sem deficiência de N) e com a dose de N recomendada.

**Palavras-chave:** *Phaseolus vulgaris* L., clorofila, folha diagnose, índice de suficiência de nitrogênio.

CRITERIA TO MANAGEMENT OF NITROGEN FERTILIZATION ON COMMON BEAN USING CHLOROPHYLL METER. Botucatu, 2014. 104p. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: SUELEN CRISTINA MENDONÇA MAIA

Adviser: ROGÉRIO PERES SORATTO

## 2. SUMMARY

The chlorophyll meter is a device that has allowed obtaining a relative chlorophyll index (RCI) which has correlated with the chlorophyll and leaf nitrogen (N) concentrations. Thus, the determination of RCI by chlorophyll meter can be an alternative used to predict the N necessity by common bean. However, there are doubts about which leaf and N sufficiency index (NSI) are most appropriate to define the N needed by common bean crop. Thereby the aim of this study was establish the leaf diagnosis is the most appropriated to define N supply is needed by common bean, using chlorophyll indirect readings through the use of portable chlorophyll meter (Minolta SPAD-502). For both, the research was performed in two steps. In the first step were conducted two field experiments, one with each common bean cultivar (Pérola and IPR Eldorado), during rainy growing season in 2011, with the objective of establishing which was the best leaf diagnosis (first, second, and third fully expanded trifoliolate leaf from the top) to define N necessity of common bean, using portable chlorophyll meter. The experimental design was arranged in a randomized complete block design with five treatments, consisting of N rates (0, 50, 100, 150, and 200 kg ha<sup>-1</sup>) and four replications. In the second step were conducted four experiments, two with each common bean cultivar (Pérola and IPR Eldorado) during rainy and dry growing seasons in 2012, to define the NSI, calculated based on the RCI of leaves in a reference area (without N deficiency), is the most appropriate to indicate the N requirement by common bean crop. Readings taken with chlorophyll meter were done in the leaf defined in the first step that presented the best correlation index with RCI, N concentration and grain yield. In all of experiments in the second step, the experimental design was arranged in a randomized complete block design with six N managements (M1: 200 kg ha<sup>-1</sup> N (40 kg at sowing + 80 kg at 10 days after

emergence (DAE) + 80 kg 20 DAE ); M2: 100 kg ha<sup>-1</sup> N (20 kg at sowing + 40 kg at 10 DAE + 40 kg at 20 DAE); M3: 20 kg ha<sup>-1</sup> N at sowing + 30 kg ha<sup>-1</sup> when chlorophyll meter readings indicated NSI < 96%; M4: 20 kg ha<sup>-1</sup> N at sowing + 30 kg ha<sup>-1</sup> N when chlorophyll meter readings indicated NSI < 93 %; M5: 20 kg ha<sup>-1</sup> N at sowing + 30 kg ha<sup>-1</sup> when chlorophyll meter readings indicated NSI < 90%, and M6: control (without N application)) and four replications. The N application improved aboveground dry matter biomass, N concentration in leaves at full flowering, relative chlorophyll index, aboveground dry matter N concentration and N accumulation, and number of pods per plants of Pérola and IPR Eldorado cultivars. Nitrogen fertilization provided increase of grain yield of Pérola and IPR Eldorado cultivars in no-tillage system. The indirect readings of chlorophyll concentration in the older leaves, in other words, the second fully expanded trifoliolate leaf from the top, at early growth stage of the crop cycle, and third fully expanded trifoliolate leaf, at latest growth stage, showed the best correlation indexes with N concentration, being, more accurate to define N requirement of common bean crop, using portable chlorophyll meter. The leaf diagnosis more appropriate to perform the indirect chlorophyll readings did not vary with the cultivars. The NSI 90% was more efficient to define the moment of N sidedressing of common bean, for providing economy of N applied without decreasing grain yield of cultivars studied, in comparison with reference treatment (without N deficiency) and with N rate recommended.

**Keywords:** *Phaseolus vulgaris*, chlorophyll, leaf diagnosis, nitrogen sufficiency index.

### 3. INTRODUÇÃO

O feijoeiro comum é para o Brasil uma das principais culturas de exploração agrícola, pois é importante fonte de renda para muitos produtores, principal alimento utilizado como fonte de proteína para a maioria da população e grande cultura geradora de empregos. É importante na composição de sistemas agrícolas para a região Centro-Sul do Brasil. Essa cultura apresenta ciclos variando de 65 a 100 dias, dependendo da cultivar e da temperatura ambiente (AIDAR, 2007). A ampla adaptação edafoclimática permite seu cultivo, durante todo o ano, dependendo das condições climáticas, em quase todos os estados da federação, desde sistemas agrícolas com baixo uso tecnológico, com objetivo principal de subsistência, até aqueles intensivos e irrigados, altamente tecnificados (AIDAR, 2007).

Os sistemas de produção do feijoeiro vêm se desenvolvendo rapidamente, o que tem proporcionado avanços tecnológicos com relação ao aproveitamento do potencial produtivo das culturas possibilitando a colocação do fertilizante, das sementes e produtos agroquímicos em locais específicos, no qual, visa possíveis soluções para uma agricultura sustentável, produção de alimentos a custos competitivos e menores impactos ao ambiente.

Com esses avanços na tecnificação do sistema de produção do feijoeiro comum, busca-se obter bom desenvolvimento das plantas e elevadas produtividades, porém, isso só é possível se as tecnologias apropriadas forem empregadas e uma das que se destaca, é a suplementação adequada de nitrogênio (N).

A adubação nitrogenada é uma prática cultural normalmente utilizada pelos produtores de feijão, pois o N é fator determinante na produtividade do

feijoeiro. O N é o nutriente absorvido em quantidades mais elevadas pelo feijoeiro e, pelo fato de aproximadamente 50-60% do N total absorvido ser exportado para os grãos, a sua deficiência é a mais frequente (OLIVEIRA et al., 1996; SORATTO et al., 2013a).

O N é componente da molécula de clorofila, sendo assim, a sua deficiência é imediatamente refletida em baixas concentrações de clorofila, as quais podem ser registradas por baixos valores de leituras obtidas com clorofilômetro portátil. O clorofilômetro é um aparelho portátil que permite obtenção de um índice relativo da clorofila (IRC), com base na intensidade da coloração verde das folhas, o qual se correlaciona com o teor de clorofila e o de N na folha (FURLANI JÚNIOR et al., 1996; GODOY et al., 2008). Assim, a determinação do IRC, por meio do clorofilômetro portátil, pode ser uma alternativa utilizada como indicativo do estado nutricional de N. Contudo, além da disponibilidade de N, a idade da folha pode influenciar o teor de clorofila nela contido, refletindo nas leituras de IRC. Como o N é um nutriente muito móvel na planta, sob deficiência a planta degrada a molécula de clorofila das folhas mais velhas, retranslocando o N para regiões de crescimento ativo, sendo que as folhas mais velhas tornam-se de coloração verde pálido a amarela.

O clorofilômetro portátil, no monitoramento do N para as plantas, tem sido usado com sucesso por vários pesquisadores para a determinação da época mais adequada de aplicação de N em diversas culturas e também na cultura do feijão. Sendo assim, Barbosa Filho et al. (2008; 2009) propuseram a instalação de uma área de referência (sem deficiência de N) na lavoura onde se pretende manejar a adubação nitrogenada mediante o monitoramento com o clorofilômetro portátil. O índice de suficiência de N (ISN) é calculado pela relação entre o IRC nas folhas das plantas da lavoura e nas folhas das plantas da área de referência, na qual é indicada a aplicação de N toda vez que o ISN das plantas da lavoura for inferior a 90% do ISN da área de referência. Os autores conseguiram reduzir a dose de N aplicada, porém, a produtividade do feijoeiro na parcela manejada com auxílio do clorofilômetro foi significativamente inferior à da área referência, indicando que o ISN de 90% da área referência pode ter levado a cultura do feijão a uma condição de deficiência de N e/ou a folha utilizada para o monitoramento pode não ter sido a mais adequada. Por outro lado, ISN acima de 90% pode indicar aplicação de maiores doses de N e reduzir a eficiência do fertilizante aplicado (MAIA et al., 2012; 2013).

Assim, ainda existe a necessidade de estabelecimento de critérios para a utilização desse aparelho na cultura do feijão, tais como, o estabelecimento da folha e do ISN mais adequados para definir a necessidade de N da cultura mediante leitura indireta do teor de clorofila, em um estágio fenológico da planta no qual o fornecimento de N em cobertura ainda seja viável, e incremente a produtividade de grãos.

Diante do exposto, foram testadas as seguintes hipóteses: a) o monitoramento através de leituras indiretas do teor de clorofila em folhas mais velhas pode ser mais preciso para a indicação do momento de aplicação de N em cobertura na cultura do feijão comum; b) a folha mais adequada para realização das leituras indiretas de clorofila pode variar de acordo com a cultivar utilizada e com a idade da planta; c) além da folha utilizada, o valor do ISN pode influenciar a precisão do monitoramento da necessidade de N da cultura do feijão comum, através de leituras indiretas do teor de clorofila, e a eficiência de utilização do N aplicado.

Objetivou-se com o trabalho estabelecer a folha diagnose e o valor do índice de suficiência de N mais adequados para definir a necessidade de N, através de leituras indiretas do teor de clorofila mediante o uso do clorofilômetro portátil, em duas cultivares de feijoeiro comum em sistema plantio direto.

#### 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O Brasil é o maior produtor e consumidor mundial de feijão comum, com produção anual de 3,4 milhões de toneladas, praticamente 20% da produção mundial, colhida atualmente em 3,3 milhões de hectares (CONAB, 2014), e destinada totalmente ao mercado interno. É uma cultura explorada em várias épocas dentro do mesmo ano agrícola, sendo as principais: a safra "das águas", cujo cultivo é realizado de agosto a novembro, com predominância na região Sudoeste de São Paulo e Sul do Brasil; a safra "da seca" cultivada de janeiro a março, abrangendo a maioria dos estados produtores e a safra "de inverno", de abril a julho, com semeadura realizada principalmente nas regiões Centro-Oeste e Sudeste (EMBRAPA, 2009).

O feijoeiro tem sua importância social e econômica evidenciada pelo enorme contingente de pequenos produtores e trabalhadores rurais que estão envolvidos na sua produção (YOKOYAMA, 2002), a despeito da melhoria do nível tecnológico utilizado e da consequente mecanização e atração de grandes produtores e empresários para a cadeia produtiva dessa cultura, e por constituir-se em importante fonte proteica e energética, ser rica em ferro e carboidratos, compondo-se na alimentação tradicional do brasileiro (BORÉM; CARNEIRO, 2008).

Devido ao ciclo curto e ao pequeno volume de solo explorado pelas raízes do feijoeiro, a baixa disponibilidade de nutrientes no solo é um dos principais fatores que limita a produtividade da cultura. Dado ao alto teor de N nos grãos e demais tecidos, este é o nutriente mais extraído e exportado pela planta (OLIVEIRA et al., 1996; PEREZ et al., 2013; SORATTO et al., 2013a), que tem como fontes desse elemento, a matéria orgânica presente no solo, a aplicação de fertilizantes nitrogenados e a fixação biológica de

N<sub>2</sub> atmosférico. Embora o feijoeiro supra parte da sua demanda em N pela associação com bactérias do gênero *Rhizobium*, a quantidade fornecida por esse processo é insuficiente, necessitando ser complementada por meio de adubação nitrogenada, para que se obtenha elevada produtividade de grãos (SILVA; SILVEIRA, 2000). Além disso, pelo fato de aproximadamente 50-60% do total de N absorvido ser exportado para os grãos, a sua deficiência é a mais frequente (OLIVEIRA et al., 1996; SORATTO et al., 2013a).

O N é absorvido pelas raízes, especialmente na forma de nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), e é translocado para as folhas, onde é reduzido e incorporado aos aminoácidos (NELSON; COX, 2000). Grande parte desse processo ocorre nas folhas, que são as responsáveis pela absorção e armazenamento da energia luminosa em carboidratos, durante a fotossíntese (MALAVOLTA et al., 1997).

Plantas de feijão com deficiência de N apresentam-se atrofiadas e as folhas revelam coloração entre verde pálido e amarelada, que se inicia pelas folhas mais velhas e relaciona-se com a participação do N na estrutura da molécula de clorofila (MALAVOLTA et al., 1997). Além disso, a deficiência de N provoca mudanças na resistência difusiva do CO<sub>2</sub>, em virtude do aumento na resistência do mesófilo e em menor proporção na resistência estomática (RYLE; HESKETH, 1969), alterando a síntese e atividade da ribulose 1,5 bisfosfato carboxilaseoxigenase (Rubisco), o que provoca redução nas taxas fotossintéticas (COSTA et al., 1988). Esse nutriente tem grande importância, principalmente nas fases de florescimento e enchimentos de grãos, pois, como há vagens e grãos crescendo quase ao mesmo tempo, a demanda por N nessa fase é alta (PORTES, 1996).

Devido à complexa dinâmica do N aplicado ao solo (taxa de disponibilização de resíduos vegetais, volatilização, imobilização por microorganismos e lixiviação), é muito difícil saber se a dose recomendada será suficiente para a planta expressar seu potencial produtivo (GODOY et al., 2003), ou excessiva, a ponto de aumentar os custos e os riscos de contaminação ambiental (SANTOS et al., 2003; SILVEIRA et al., 2003). Além disso, as épocas de aplicação do adubo nitrogenado em cobertura, que consta nas recomendações, são pré-definidas e podem não coincidir com o momento de maior demanda do nutriente pela cultura (BARBOSA FILHO et al. 2009).

Vem crescendo o cultivo do feijoeiro em sistema plantio direto (SORATTO et al., 2013b; 2014), sistema que pode causar modificações no manejo de adubação nitrogenada, principalmente pelo fato de que a permanência do material orgânico

na superfície do solo reduz o contato com os microrganismos e, como consequência disso, a decomposição desses resíduos é mais lenta (GONÇALVES; CERETTA, 1999; CERETTA et al., 2002), e processos como a imobilização, mineralização, lixiviação e volatilização são alterados (LARA CABEZAS et al., 2000; CANTARELLA, 2007).

A palhada na superfície do solo constitui reserva de nutrientes, cuja disponibilização pode ser rápida e intensa (CRUSCIOL et al., 2005), ou lenta e gradual (PAULETTI, 1999), dependendo da interação entre a espécie utilizada, manejo do material vegetal (época de semeadura e de corte), umidade (regime de chuvas e irrigação), aeração, temperatura, atividade macro e microbiológica do solo, composição química da palhada e tempo de permanência dos resíduos sobre o solo (ALCÂNTARA et al., 2000; OLIVEIRA et al., 2002; PRIMAVERSI et al., 2002).

Outro fator que influencia na taxa de decomposição dos resíduos vegetais e na liberação dos nutrientes é a relação C/N do material vegetal, sendo assim, espécies gramíneas possuem menor taxa de decomposição quando comparada com espécies não gramíneas (CANTARELLA, 2007). O reflexo disso é o aumento da intensidade do fenômeno de imobilização de N, que é a principal causa da menor disponibilidade desse elemento às plantas no sistema plantio direto recém-implantado, comparado com o sistema convencional (CERETTA et al., 2002).

A recomendação de adubação para o feijoeiro mais rotineiramente utilizada tem sido a aplicação de parte do N no sulco, junto ao fósforo (P) e potássio (K) por ocasião da semeadura, e parte em cobertura (AMBROSANO et al., 1997; BARBOSA FILHO et al., 2005). Segundo Ambrosano et al. (1997), a aplicação de N deve ser feita dos 15 aos 45 dias após a emergência (DAE), além de ser parcelada quando da utilização de doses elevadas. Com isso, as doses e as épocas de aplicação do N em cobertura são pré-definidas, sem considerar as necessidades e o momento de maior demanda do nutriente pela cultura. A consequência disso pode ser a sub ou superestimativa da dose de N utilizada, podendo acarretar, por um lado, redução da produtividade de grãos e, por outro, diminuição do lucro para o agricultor pelo uso desnecessário de fertilizantes (ARGENTA, 2003; SORATTO et al., 2013b).

Araújo et al. (1994), em um experimento com doses e épocas de aplicação de N no feijoeiro irrigado, verificaram que a adubação nitrogenada parcelada, em cobertura, até os 30 DAE é vantajosa para a cultura do feijão. Soratto et al. (2001) verificaram em feijoeiro cultivado em sistema plantio direto, após a cultura do milho, que a

aplicação do N em cobertura aos 15 DAE proporcionou maior massa de matéria seca de plantas no florescimento e maior produtividade de grãos, quando comparado com a aplicação aos 35 DAE. Soratto et al. (2006) verificaram maior produtividade de grãos do feijoeiro com a aplicação de pelo menos parte do N em cobertura aos 15 DAE, em comparação com a aplicação da dose total aos 30 DAE.

Barbosa Filho et al. (2005) afirmaram que dentre as formas de aplicação de N, a de cobertura tem sido a mais eficiente (produtividade por unidade de N aplicado), pois, fornece o nutriente em época de maior exigência pela planta. Gomes Júnior et al. (2005) obtiveram maior produtividade de grãos do feijoeiro quando o N em cobertura foi aplicado até o estágio de sete folhas trifolioladas totalmente expandidas (35 DAE). Assim, pode-se estabelecer que o monitoramento e a consequente aplicação de N nas fases iniciais do desenvolvimento da cultura, ou seja, até o estágio de florescimento (R6) é fundamental para a obtenção de altas produtividades de grãos na cultura do feijão.

Rosolem (1996) constatou variação muito ampla com relação à resposta do feijoeiro à adubação nitrogenada (30 a 150 kg ha<sup>-1</sup> de N). Pelegrin et al. (2009) relataram que a variabilidade nas respostas do feijoeiro às doses de N, nos diferentes experimentos, tem sido verificada, especialmente em função dos níveis de fertilidade do solo e outras técnicas empregadas nos sistemas produtivos. No estado de São Paulo, a recomendação oficial de N para a cultura do feijão “das águas” ou “da seca”, em condições de alta resposta esperada, ou seja, culturas irrigadas, sob solos arenosos ou compactados, ou em cultivo após gramíneas, é no máximo de 100 kg ha<sup>-1</sup>, sendo indicada a aplicação da maior parte em cobertura, entre 15 e 30 DAE da cultura (AMBROSANO et al., 1997).

Sob sistema plantio direto, Soratto et al. (2001) e Silva et al. (2003) verificaram resposta linear da produtividade de grãos até a dose máxima testada, ou seja, 100 e 150 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Silveira et al. (2005), no feijoeiro cultivar Pérola, em sucessão às gramíneas forrageiras, também observaram respostas lineares até a dose de 120 kg ha<sup>-1</sup> de N. Como os cultivos foram realizados em sucessão a gramíneas, a elevada quantidade de N exigida está relacionada à necessidade dos microrganismos presentes no solo. Essa grande quantidade de N é utilizada pelos microrganismos na decomposição dos restos culturais, de alta relação C/N, competindo, portanto, com o feijoeiro. Esses resultados subsidiam os pressupostos da necessidade de maiores quantidades de N para o feijoeiro em sistema plantio direto recém-implantado (SORATTO et al., 2014). Além do que, sob condições de menor estresse hídrico, proporcionado por esse sistema (ANDRADE

et al., 1998), o feijoeiro pode apresentar melhor eficiência de utilização do N aplicado em cobertura.

No Brasil, a eficiência de uso dos fertilizantes nitrogenados na produção das culturas anuais, como o feijoeiro, é baixa, ao redor de 50%, e as causas para esse baixo valor estão relacionadas com a dose e a época de aplicações inadequadas e associadas com a lixiviação, desnitrificação, imobilização e erosão do solo (FAGERIA; BALIGAR, 2005; FURTINI et al., 2006; SANTOS; FAGERIA, 2007; LAGO et al., 2009). Com isto, a estratégia de adubação de N deve ter como objetivo, melhorar a sincronia entre a época de aplicação e a época de maior demanda pela planta, de forma a maximizar a absorção e a produtividade de grãos (SANTOS; FAGERIA, 2008). A melhoria da eficiência de uso de N é desejável para aumentar a produtividade, reduzir os custos de produção e manter a qualidade ambiental.

Visando melhorar esse sincronismo, alguns autores têm sugerido o monitoramento do teor de N da folha e de clorofila, por meio do uso de clorofilômetro portátil, que se correlacionam positivamente entre si e com a produtividade de grãos (HUSSAIN et al., 2000; CARVALHO et al., 2003; RAMBO et al., 2004; LI et al., 2012; MAIA et al., 2012; 2013). O N faz parte da molécula de clorofila (TAIZ; ZEIGER, 2009). Assim, tem-se conseguido utilizar o teor de clorofila nas folhas para prever o nível de N nas plantas, com boa precisão, já que a quantidade desse pigmento correlaciona-se positivamente com teor de N nas plantas (BOOIJ et al., 2000). E essa relação é atribuída, principalmente, ao fato de que 50% a 70% do N total das folhas serem integrante de enzimas que estão associadas aos cloroplastos (PAN et al., 2004).

Partindo do princípio de que as folhas são os órgãos da planta que melhor refletem o seu estado nutricional, a diagnose foliar é, segundo Rambo et al. (2004), um dos principais métodos de avaliação desse estado nas culturas. Devido ao tempo dispendioso entre a coleta e o resultado, o método da análise foliar, além do custo alto, envolve análise laboratorial e apresenta a desvantagem de não possibilitar a correção da deficiência em tempo hábil para recuperação das culturas, principalmente as de ciclo curto como é o caso do feijoeiro comum (CHAGAS et al., 2005).

O desenvolvimento do medidor portátil de clorofila, denominado clorofilômetro portátil, que proporciona leituras instantâneas e indiretas da concentração relativa de clorofila nas folhas, de forma não destrutiva, é alternativa de indicação do nível de N na planta, além de apresentar facilidade de operação, permite avaliações *in situ*,

podendo assim ser utilizado como ferramenta auxiliar na tomada de decisão sobre a adubação nitrogenada de cobertura (GIL et al., 2002; BARBOSA FILHO et al., 2008; 2009; GODOY et al., 2008), melhorando a eficiência desta prática (MAIA et al., 2012; 2013).

O princípio de funcionamento do medidor portátil de clorofila é simples e baseia-se no uso diodos que emitem luz na faixa de 650 a 940 nm através da folha (transmitância), medindo indiretamente a concentração relativa de clorofila e expressa como IRC (GIL et al., 2002). Segundo Silveira et al. (2003) o comprimento de onda de 650 nm situa-se próximo ao dos dois comprimentos primários de onda associadas com a atividade da clorofila (645 e 663 nm). O comprimento de onda de 940 nm serve como referência interna para compensar diferenças na espessura da folha e no teor de água. O clorofilômetro mede a diferença de atenuação da luz entre 650 e 940 nm como um índice de intensidade de cor ou de concentração de clorofila (YADAVA, 1986). As medidas são processadas e, no visor do clorofilômetro, é mostrado um valor denominado pela empresa fabricante do aparelho como SPAD (Soil Plant Analysis Development). No Brasil, este valor tem sido denominado como medida indireta de clorofila (MALAVOLTA et al., 1997) ou IRC (índice relativo de clorofila) (VILLAS BÔAS, 2001).

O clorofilômetro portátil vem sendo muito utilizado para prever a necessidade de adubação nitrogenada em várias culturas (HUSSAIN et al., 2000; GODOY et al., 2008; ROSOLEM; VAN MELLIS, 2010), sendo relatado à viabilidade de se utilizar o medidor portátil de clorofila como indicativo do estado nutricional de N, também na cultura do feijão (FURLANI JUNIOR et al., 1996; CARVALHO et al., 2003; SILVEIRA et al., 2003, SORATTO et al., 2004; BARBOSA FILHO et al., 2008; 2009, MAIA, et al., 2012; 2013).

Ainda existe a necessidade de estabelecimento de critérios para a utilização desse aparelho na cultura do feijão, principalmente no que diz respeito à folha utilizada para as leituras, pois além da disponibilidade do N, o tipo de folha, estágio de maturação ou idade da folha e a posição nodal podem influenciar o teor de clorofila nela contido, refletindo nas leituras dos IRC, aumentando ou diminuindo-os (MINOTTI et al., 1994). De acordo com Li et al. (2012), a melhor posição da folha para diagnose de N é aquela mais sensível às variações de N na planta, mais precisa e capaz de detectar as deficiências de N o mais cedo possível.

Quanto ao tipo de folha, normalmente recomenda-se o uso de folhas recém-maduras, totalmente desenvolvidas, pois esta deve ter uma maior sensibilidade para refletir o real estado nutricional da planta, além de ter sofrido pouco efeito da redistribuição dos nutrientes. A padronização da mesma é importante visto que a folha mais velha apresenta maior concentração de nutrientes pouco móveis (cálcio, enxofre e micronutrientes), por outro lado, a muito nova tem maior concentração dos nutrientes móveis (N, P e K) (MARSCHNER, 1995; PRADO, 2007).

Nos estádios iniciais de crescimento, a maior parte dos nutrientes está contida nas folhas. À medida que a idade da folha aumenta, o seu peso seco e o teor de nutrientes variam, sobretudo em função da mobilidade do nutriente e da demanda do mesmo nas diversas partes da planta (HELMISAARI, 1990). As concentrações dos nutrientes móveis, como o N, diminuem com a idade da folha, devido a sua translocação para outros tecidos, principalmente para as folhas mais novas e para que ocorra a manutenção dos pontos de crescimento (TAIZ; ZEIGER, 2009).

A deficiência de N causa também a translocação desse nutriente das folhas mais velhas para as mais novas, na qual as folhas mais velhas tornam-se de coloração verde pálido a amarela (MENGEL; KIRKBY, 1987), ou seja, na falta do N, a planta degrada a molécula de clorofila, retranslocando o N para regiões de crescimento ativo, onde ele tem função estrutural.

Fontes (2001) afirma que a concentração de N na folha reduz com a idade da folha amostrada e a variação em seu teor pode ser explicada por mecanismos que envolvem a absorção, acumulação e distribuição do elemento na planta, bem como o desenvolvimento da mesma. Este autor atenta ainda para a necessidade de padronização da folha a ser usada para efeito de diagnóstico.

Wang et al. (2006), estudando a variação espacial de N total em quatro folhas, primeira, segunda, terceira e quarta folha completamente expandidas a partir do ápice da cultura do arroz submetida a doses de N, observaram que sob deficiência do nutriente, a folha mais baixa (quarta folha) redistribuiu o N total para as folhas superiores (primeira, segunda e terceira folha), demonstrando que a idade da folha pode influenciar nas concentrações do N na planta. Esses autores ainda citam que vários estudos mostram que existem enorme diferenças na sensibilidade de resposta ao aumento de doses de N entre folhas posicionadas na parte superior e inferior da cultura do arroz.

Gil et al. (2002) e Sampaio Junior et al. (2008), avaliando o índice SPAD para o diagnóstico do estado de N e para o prognóstico da produtividade da batata, relataram que os índices SPAD nas folhas são influenciados pela dose de N aplicada na cultura e que a folha mais velha (quinta folha completamente expandida) apresenta os menores valores do índice SPAD, quando comparada com a quarta folha completamente expandida, fato atribuído a remobilização do N nas folhas.

Busato et al. (2010), analisando o efeito de doses de N aplicadas em pré-plantio sobre os índices de N no folíolo terminal da quarta folha jovem completamente expandida (a partir do ápice) e do folíolo terminal da folha mais velha (primeira folha a partir da base da planta) de cultivares de batata, verificaram que os valores de SPAD associados à dose de N que propiciou a máxima produtividade de tubérculos comerciais, foram inferiores na quarta folha quando comparados aos valores estimados na folha mais velha, na avaliação realizada aos sete dias após a emergência. Porém, na avaliação realizada aos 49 DAE, a situação foi inversa, sendo maiores os valores do índice SPAD obtidos na quarta folha. Segundo o autor, esses resultados são explicados pela remobilização do N das folhas mais velhas para as mais novas, o que deve ocorrer mais acentuadamente nos tratamentos que receberam menores doses de N em pré-plantio.

Reis et al. (2006) citaram que para o cafeeiro os locais de avaliação na planta afetam os valores de leituras de clorofila quando se testa diferentes doses de N. Esses autores verificaram que os maiores valores das leituras SPAD, em diferentes posições no cafeeiro, foram obtidos próximo ao ápice, o que pode ser explicado pelo fato das folhas serem mais jovens e essas folhas possuem maior capacidade de síntese de clorofila (FERRI, 1998), portanto, maior intensidade de cor verde, proporcionando assim maiores leituras SPAD, e concluíram que as folhas próximas ao ápice não foram as melhores para avaliação da exigência de N, sendo a posição mediana a preferencial para mensuração.

Rosane et al. (2009), analisando as diferenças nas medidas SPAD entre cultivares, épocas de amostragem e tipos de folhas em mudas de goiabeira cultivadas em solução nutritiva completa, observaram que o terceiro par de folhas mostrou-se mais adequado para avaliar o estado nutricional do N do que o primeiro e o segundo par de folhas, e relataram ainda que a escolha da folha diagnóstico adequada é extremamente importante, pois reflete o estado nutricional da planta.

Para viabilizar a utilização do IRC, foi proposta por Barbosa Filho et al. (2008; 2009), a instalação de uma área de referência na lavoura onde se pretende manejar a adubação nitrogenada mediante o monitoramento com o clorofilômetro. A dose a ser aplicada na área de referência deve ser alta, entre 1,8 e 2,0 vezes a dose recomendada para a cultura, para permitir o desenvolvimento da concentração máxima de clorofila nas folhas. Pela relação entre o IRC nas folhas das plantas da lavoura e nas folhas das plantas da área de referência (sem deficiência de N) foi calculado o ISN, sendo indicada aplicação de N toda vez que o ISN das plantas da lavoura for inferior a 90% do ISN da área de referência. Os autores conseguiram reduzir a dose de N aplicada, porém, a produtividade do feijoeiro no tratamento manejado com auxílio do clorofilômetro foi significativamente inferior à da área referência, indicando que o ISN de 90% da área referência pode ter levado a cultura do feijão a uma condição de deficiência de N.

Maia et al. (2012; 2013) avaliando dois valores de ISN, 90% e 95%, calculados com base nas medidas dos IRC na última folha completamente expandida do feijoeiro como indicador do momento de aplicação de N em cobertura, em relação ao tratamento referência, observaram que o ISN de 90%, determinado durante a safra “das águas” e “da seca”, permitiu definir quando se deve aplicar o N em cobertura em duas cultivares de feijão, melhorando a eficiência de utilização do N, e que, a utilização do ISN de 95% é menos eficiente que o ISN de 90% na definição de quando se deve aplicar o N em cobertura no feijoeiro.

Na cultura do milho, segundo Varvel et al. (1997), se o ISN for menor que 90% no estágio de oito folhas a deficiência de N não pode ser corrigida com a adubação de cobertura a ponto de maximizar a produtividade. Já para Jemison e Lytle (1996), ISN abaixo de 93% indicam situações de deficiência de N. Blackmer e Schepers (1994) e Varvel et al. (1997) utilizaram o índice de suficiência igual a 95% para prever a deficiência de N nessa cultura.

Sabendo-se que o N deve ser colocado à disposição da planta em quantidade, tempo e locais adequados, principalmente em um período que anteceda o início do florescimento (SORATTO et al., 2005), para que favoreça o crescimento e o aumento da produtividade de grãos (CARVALHO et al., 2001), faz-se necessário o estabelecimento da folha diagnose e o valor do ISN mais adequados para definir a necessidade de N da cultura do feijão comum, mediante leitura indireta do teor de clorofila,

em um estágio fenológico da planta, no qual o fornecimento de N em cobertura ainda seja viável e incremente a produtividade de grãos.

É oportuno salientar que poucos são os trabalhos encontrados na literatura indicando qual melhor folha diagnose e o melhor índice de suficiência de N que devam ser utilizados para se fazer o manejo da adubação nitrogenada de cobertura em culturas anuais utilizando-se do clorofilômetro portátil em sistema plantio direto, e os que são encontrados carecem de comprovação científica, e com isso, esforços devem ser realizados para sanar essa lacuna, especialmente na cultura do feijão.

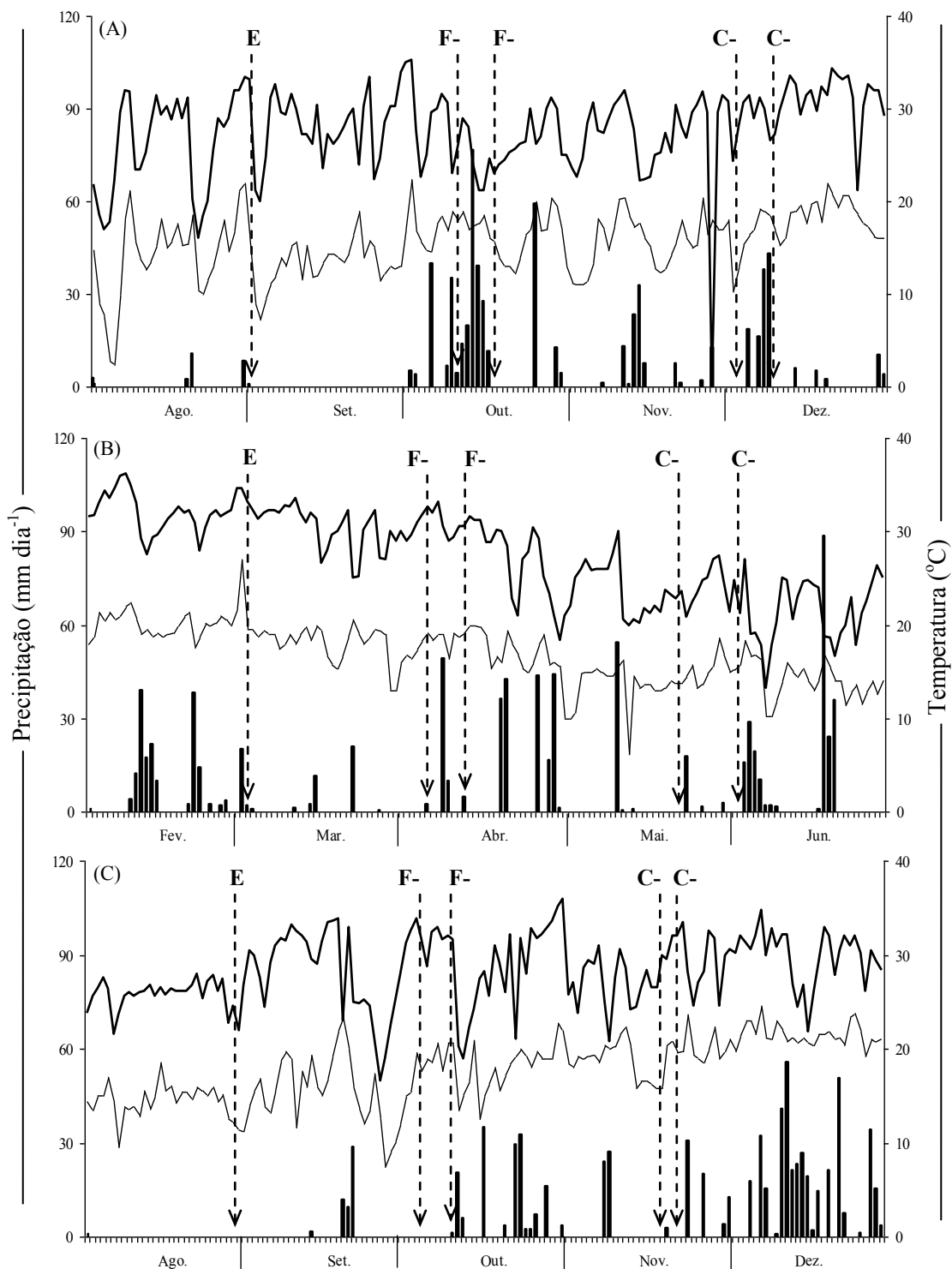
## **5. MATERIAL E MÉTODOS**

O presente trabalho de pesquisa foi realizado em duas etapas. Na primeira etapa foram desenvolvidos dois experimentos em campo, sendo um com cada cultivar de feijão (Pérola e IPR Eldorado), durante a safra “das águas”, do ano de 2011. Este experimento teve como finalidade estabelecer a melhor folha para diagnose da necessidade de N da cultura do feijão comum, mediante leitura indireta do teor de clorofila, utilizando o clorofilômetro portátil modelo Minolta SPAD-502.

Na segunda etapa, foram realizados quatro experimentos, dois com cada cultivar (Pérola e IPR Eldorado), com o objetivo de definir o ISN, em relação ao tratamento referência (sem deficiência de N), mais adequado para indicar a necessidade de N para a cultura do feijão, com o uso do clorofilômetro portátil.

### **5.1. Localização e caracterização edafoclimática da área experimental**

Os experimentos foram instalados na Fazenda Experimental Lageado, da Faculdade de Ciências Agrônômicas – UNESP, Botucatu-SP (22°51’S, 48°26’W e altitude de 740 m). Segundo a classificação climática de Köppen, o clima predominante na região é do tipo Cwa, caracterizado pelo clima tropical de altitude, com inverno seco e verão quente e chuvoso (LOMBARDI NETO; DRUGOWICH, 1994). Os dados climáticos registrados durante a condução do experimento estão contidos na Figura 1.



**Figura 1.** Precipitação pluvial ( █ ), temperaturas máximas ( — ) e mínimas ( — ) registradas na área experimental durante a primeira etapa, na safra “das águas” em 2011 (A), na segunda etapa, na safra “da seca” em 2012 (B) e safra “das águas” em 2012 (C), bem como, as datas de emergência (E), florescimento da cultivar Pérola (F-P) e da cultivar IPR Eldorado (F-I), e colheita da cultivar Pérola (C-P) e da cultivar IPR Eldorado (C-I).

Mediante levantamento detalhado realizado por Carvalho et al. (1983) e utilizando-se o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (EMBRAPA, 2006), o solo da área experimental foi classificado como Nitossolo Vermelho distroférico.

Antes da instalação dos experimentos, em cada safra de cultivo, foram coletadas amostras de solo na camada de 0,0 a 0,20 m de profundidade, para a análise química conforme Raij et al. (2001), cujos resultados estão apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Atributos químicos do solo, na profundidade de 0,0 a 0,20 m, antes da instalação dos experimentos.

Safra/ano	pH (CaCl <sub>2</sub> )	M.O. (g dm <sup>-3</sup> )	P (resina) (mg dm <sup>-3</sup> )	H+Al	K	Ca	Mg	CTC	V
				———— (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) ————					(%)
Águas/2011	4,7	34	55	56,0	3,9	27,0	10,0	97	42
Seca/2012	4,4	24	20	54,0	1,3	19,0	6,0	80	33
Águas/2012	5,0	35	26	36,0	1,2	23,0	8,0	68	48

## 5.2. Caracterização das cultivares de feijão

### a) Cultivar Pérola

A cultivar de feijão Pérola é proveniente de trabalho de seleção de linhas puras da cultivar Aporé, realizado pela Embrapa Arroz e Feijão. Possui potencial produtivo de 3900 kg ha<sup>-1</sup> e apresenta porte semiprostado (tipo II/III). É resistente à ferrugem, ao mosaico comum e a uma raça de antracnose. Apresenta também resistência intermediária à murcha do fusário e à mancha angular, grãos tipo carioca, vagens amarelo-areia, o florescimento pode ocorrer entre 42 e 50 dias após a emergência, possui ciclo da emergência à maturação fisiológica de 95 dias, massa de 100 sementes de aproximadamente 27 g e teor médio de 22% de proteína (EMBRAPA, 2009).

### b) Cultivar IPR Eldorado

A cultivar IPR Eldorado é originário do cruzamento realizado no Instituto Agrônomo do Paraná em 1990, entre a linhagem RM8454-21-1-cm e a cultivar IAPAR 14. Possui potencial produtivo de 3300 kg ha<sup>-1</sup> e apresenta porte semiereto (tipo II), com resistência ao mosaico dourado, grãos tipo carioca, vagens creme com nuances rosadas, número médio de 35 dias para o florescimento, com ciclo médio da emergência à

maturação fisiológica de 75 dias, massa de 100 sementes de aproximadamente 23 g e teor médio de 21% de proteína (IAPAR, 2011).

### **5.3. Primeira Etapa – safra “das águas” de 2011**

#### **5.3.1. Delineamento experimental e tratamentos**

Foram realizados dois experimentos, um com a cultivar Pérola e outro com a cultivar IPR Eldorado. Em ambos, o delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por cinco doses de N (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha<sup>-1</sup>), aplicadas 1/5 na semeadura + 2/5 aos 10 dias após a emergência (DAE) + 2/5 aos 20 DAE.

Cada unidade experimental possuía a dimensão de 5 x 6 m, perfazendo uma área de 30 m<sup>2</sup>, nas quais foram semeadas 10 fileiras de feijão espaçadas 0,45 m. Para as avaliações foram consideradas as quatro linhas centrais desprezando 0,5 m na extremidade de cada fileira de plantas e uma fileira de cada lado da unidade experimental.

#### **5.3.2. Instalação e condução dos experimentos em campo**

Os experimentos foram instalados em sistema plantio direto, ou seja, sem preparo convencional do solo, em área anteriormente ocupada pela sucessão milho/aveia preta/milho. O manejo da área foi realizado aproximadamente 15 dias antes da semeadura do feijão, com dessecação das plantas com herbicida glifosato na dose de 1.440 g ha<sup>-1</sup> do ingrediente ativo (i.a.) e uniformização mecânica utilizando triturador de palha.

A semeadura foi realizada no dia 23/08/2011, com uma semeadora-adubadora tratorizada modelo Personale DRILL-13, marca Semeato, regulada com espaçamento de 0,45 m entre fileiras e 15 sementes por metro. As sementes foram tratadas com o fungicida carboxin + tiram (60 + 60 g do i.a por 100 kg de sementes), com o inseticida tiametoxam (140 g do i.a. por 100 kg de semente) e cobalto + molibdênio (4,5 + 45 g por 100 kg de sementes). A adubação básica de semeadura constou da aplicação, em todos os tratamentos, de 40 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (superfosfato simples) e 40 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (cloreto de potássio), de acordo com as recomendações de Ambrosano et al. (1997). A

emergência das plântulas ocorreu em 31/08/2011, ou seja, 08 dias após a semeadura (DAS).

A quantidade de N aplicada em semeadura foi de acordo com os tratamentos propostos, utilizando-se como fonte o nitrato de amônio. As aplicações do N em cobertura ocorreram aos 10 e 20 DAE, nas quais, aplicaram-se as doses de acordo com os tratamentos. A distribuição do adubo foi realizada em filetes contínuos, aproximadamente 0,10 m de distância das fileiras de plantas. Logo após a distribuição do fertilizante foi realizada uma irrigação com lâmina de 20 mm, para incorporação do mesmo.

Para o controle de plantas daninhas foram realizadas aplicações dos herbicidas fluazifop-p-butílico + fomezafem (120 + 150 g ha<sup>-1</sup> do i.a.) nos dias 09 e 19/09/2011. Para o controle de pragas foram realizadas aplicações dos inseticidas metamidofós (600 g ha<sup>-1</sup> do i.a.) no dia 09/09/2011, e tiametoxam + lambda-cialotrina (14,1 + 10,6 g ha<sup>-1</sup> do i.a.) no dia 25/09/2011. Para o controle de doenças foram utilizados os fungicidas propiconazol + trifloxitrobina (75 + 75 g ha<sup>-1</sup> do i.a.) no dia 06/10/2011, e hidróxido de fentina (400 g ha<sup>-1</sup> do i.a.) no dia 03/11/2011.

O fornecimento de água foi realizado por um sistema de irrigação convencional por aspersão (irrigação de complementação), aplicando-se uma lâmina de 7 mm em cada irrigação e sempre durante as primeiras horas da manhã, de acordo com a necessidade da cultura.

Os florescimentos plenos das cultivares IPR Eldorado e Pérola ocorreram nos dias 10/10/2011 (41 DAE) e 17/10/2011 (48 DAE), respectivamente. A colheita da cultivar IPR Eldorado ocorreu aos 94 DAE e a da cultivar Pérola aos 101 DAE.

### **5.3.3. Avaliações realizadas**

#### **a) Nitrogênio total e inorgânico (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) no solo**

Foram retiradas amostras de solo nas profundidades de 0,0-0,20 m e 0,20-0,40 m nas seguintes épocas: 1) antes da semeadura, 2) no estágio V3 (primeira folha trifoliolada completamente expandida), 3) no florescimento pleno (R6), 4) no final do estágio de formação das vagens (R7) e, 5) no final do ciclo (estádio R9 - maturação).

A amostragem realizada antes da semeadura foi em 15 pontos distribuídos ao acaso na área onde foram instalados os experimentos. As amostragens

realizadas no estágio V3, no florescimento pleno, no final do estágio de formação das vagens e no final do ciclo foram em pontos situados a 0,15-0,20 m de distância da fileira de plantas, totalizando seis pontos por parcela.

As amostras foram colocadas em sacos plásticos e armazenadas em um isopor com gelo para reduzir a mineralização da matéria orgânica, até serem levadas para o laboratório onde foram armazenadas em um “freezer” para em seguida serem analisadas.

A determinação do N inorgânico ( $\text{N-NO}_3^-$  e  $\text{N-NH}_4^+$ ) foi realizada por extração com KCl, seguida de duas destilações, conforme Keeney e Nelson (1982), e o N total, por digestão sulfúrica e posterior destilação (BREMNER; MULVANEY, 1982).

#### **b) Persistência e liberação de N da palhada**

Durante o período experimental foi realizado acompanhamento da persistência e da liberação de N da palhada. Para tal, foram realizadas amostragens dos resíduos culturais presentes na superfície do solo, nas mesmas datas das coletas de solo (item 5.3.3). Em cada época de coleta e em cada unidade experimental foram realizadas amostragens em dois pontos aleatórios, com o auxílio de um quadro de madeira ( $0,25 \text{ m}^2$  de área interna), que constituíram uma amostra composta. As coletas foram realizadas de forma manual, com auxílio de tesoura de poda, retirando-se toda palha contida na área interna do quadro.

Após a coleta, realizou-se a pré-limpeza dos resíduos, por meio de peneiras, para redução da quantidade de solo aderido. Em seguida, foram lavados, agitando-os por alguns segundos em água deionizada, em três porções sucessivas, sendo a seguir colocados sobre papel absorvente (MALAVOLTA et al., 1997). As amostras foram acondicionadas em sacos de papel e secadas em estufa com circulação forçada de ar a  $60^\circ\text{C}$ , até atingirem peso constante, com posterior pesagem para determinação da quantidade de massa de matéria seca. Em seguida, o material foi moído, em moinho tipo Willey, para determinação do teor de N (MALAVOLTA et al., 1997). A quantidade de N contida na palhada, durante o transcorrer do tempo, foi obtida pelo produto da quantidade de massa de matéria seca com o teor do nutriente no resíduo vegetal, sendo apresentado em  $\text{kg ha}^{-1}$ .

### **c) Índice Relativo de Clorofila (IRC)**

O IRC foi determinado utilizando um clorofilômetro portátil, modelo SPAD-502 (Soil and Plant Analysis Development) da Minolta Co., Osaka, Japão (1989). Antes de realizar as leituras, o aparelho foi calibrado com o verificador de leitura (“reading checker”) de acordo com as recomendações do manual. Foi tomado o cuidado de não amostrar plantas não saudáveis (com ataque de pragas e ocorrência de doenças) e atípicas (fora de espaçamento).

As determinações do IRC foram realizadas no período da manhã (08h00min-10h00min), sombreando o aparelho com o corpo para evitar interferência de luz solar. As mesmas foram iniciadas aos 14 DAE e a partir desta data, as leituras foram tomadas, semanalmente, ou seja, aos 14, 21, 28 e 35 DAE, amostrando-se cinco plantas por unidade experimental, sendo que em cada planta foram realizadas duas leituras por trifólio de cada folha trifoliolada avaliada como diagnóstica (primeira folha trifoliolada, segunda folha trifoliolada e terceira folha trifoliolada completamente expandida a partir do ápice), em todo o limbo, exceto nervuras, somando, assim, 30 leituras por parcela. Na primeira leitura (14 DAE), como as plantas não apresentavam três folhas totalmente expandidas, as leituras foram tomadas apenas na primeira folha totalmente expandida a partir do ápice.

### **d) Teor de nitrogênio na folha**

Após a determinação do IRC, as folhas amostradas foram imediatamente coletadas, submetidas à lavagem com água destilada, acondicionadas em sacos de papel e colocadas em estufa para secagem e, posteriormente moídas para análise do teor de N total, conforme metodologia descrita por Malavolta et al. (1997).

### **e) Massa de matéria seca da parte aérea**

Esta avaliação foi realizada nas mesmas datas das coletas de solo (item 5.3.3), coletando-se 10 plantas por unidade experimental, submetidas à lavagem com água destilada, sendo posteriormente colocadas para secagem em estufa de ventilação forçada de ar a 60-70 °C, por 72 horas e pesadas.

#### **f) Teor e quantidade acumulada de nitrogênio na parte aérea**

O material utilizado para determinação da massa de matéria seca da parte aérea, avaliados durante o florescimento pleno das cultivares de feijão, foi submetido à análise para determinação dos teores de N, segundo os métodos descritos por Malavolta et al. (1997). Posteriormente, os teores foram multiplicados pela massa de matéria seca para o cálculo da quantidade acumulada de N.

#### **g) Componentes da produção**

##### **- População final de plantas**

A determinação da população final de plantas foi realizada na véspera da colheita, considerando duas fileiras dentro da área útil com comprimento de três metros em cada unidade experimental, sendo os resultados convertidos em plantas ha<sup>-1</sup>.

##### **- Número de vagens por planta**

Por ocasião da colheita, foi realizada a coleta de 10 plantas por unidade experimental, nas quais foi determinado o número de vagens por planta, mediante a relação entre número total de vagens e o número total de plantas.

##### **- Número de grãos por vagem**

Foi determinado mediante a relação entre número total de grãos e o número total de vagens, avaliados nas 10 plantas coletada para determinação do número de vagens por planta.

##### **- Massa de 100 grãos (g)**

Foi avaliada através da pesagem, em cada unidade experimental, de quatro amostras de 100 grãos cada uma. Os dados obtidos foram t corrigida para teor de água de 130 g kg<sup>-1</sup>.

#### **h) Produtividade de grãos**

Para esta avaliação foram colhidas, manualmente, as plantas contidas em duas fileiras de três metros de comprimento na área útil de cada unidade

experimental. As plantas, após serem arrancadas, foram secas ao sol e, posteriormente trilhadas mecanicamente. Os grãos, após abanação, foram pesados e foi calculada a produtividade em  $\text{kg ha}^{-1}$ , corrigida para teor de água de  $130 \text{ g kg}^{-1}$ .

#### 5.3.4. Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F. Os efeitos das doses de N foram avaliados por meio de análise de regressão, adotando-se como critério para escolha do modelo a magnitude dos coeficientes de regressão significativos a 5% de probabilidade pelo teste t.

Foram estabelecidas correlações lineares como medida de dependência entre a leitura do clorofilômetro (IRC) em cada tipo de folha e o teor de N na folha coletada no momento da leitura do clorofilômetro. Também foram estabelecidas correlações lineares da leitura do clorofilômetro (IRC) e do teor de N na planta com a massa de matéria seca da parte aérea, a quantidade de N acumulada na parte aérea determinados no florescimento pleno, e a produtividade de grãos. Para verificar a significância do coeficiente de correlação foi utilizado o teste t.

### 5.4. Segunda Etapa

#### 5.4.1. Delineamento experimental e tratamentos

Nesta etapa foram realizados quatro experimentos, dois durante a safra “da seca” e dois na safra “das águas” do ano agrícola de 2012. Em cada safra, um experimento foi constituído pela cultivar Pérola e o outro pela cultivar IPR Eldorado. Em todos os experimentos o delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por seis manejos de N: **M1**:  $40 \text{ kg ha}^{-1}$  de N na semeadura +  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  aos 10 DAE +  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  aos 20 DAE (referência); **M2**:  $20 \text{ kg ha}^{-1}$  de N na semeadura +  $40 \text{ kg ha}^{-1}$  aos 10 DAE +  $40 \text{ kg ha}^{-1}$  aos 20 DAE (dose recomendada); **M3**:  $20 \text{ kg ha}^{-1}$  de N na semeadura +  $30 \text{ kg ha}^{-1}$  quando as leituras do clorofilômetro indicavam  $\text{ISN} < 96\%$ ; **M4**:  $20 \text{ kg ha}^{-1}$  de N na semeadura +  $30 \text{ kg ha}^{-1}$  quando as leituras do clorofilômetro indicavam  $\text{ISN} < 93\%$ ; **M5**:  $20 \text{ kg ha}^{-1}$  de N na semeadura +  $30 \text{ kg ha}^{-1}$  quando as leituras do clorofilômetro indicavam  $\text{ISN} < 90\%$  e, **M6**: controle (sem aplicação de N).

Cada unidade experimental possuía dimensão de 5 x 6 m, perfazendo uma área de 30 m<sup>2</sup>, nas quais foram semeadas 10 fileiras de feijão espaçadas 0,45 m. Para as avaliações foram consideradas as quatro linhas centrais desprezando 0,5 m na extremidade de cada fileira de plantas e uma fileira de cada lado da unidade experimental.

Nas duas safras, o monitoramento do ISN, mediante as leituras com o clorofilômetro portátil, foi realizado aos 14, 21, 28 e 35 DAE, na folha que apresentou os maiores valores de correlações entre o IRC, teor de N e produtividade de grãos, determinados nos experimentos da primeira etapa, ou seja, a folha completamente expandida mais velha, até a existência da terceira folha completamente expandida. Em ambas as safras, aos 14 DAE, as plantas não apresentavam as três folhas totalmente expandidas, sendo assim, as leituras foram tomadas na primeira folha totalmente expandida a partir do ápice (folha mais velha). De 21 aos 35 DAE, as leituras foram realizadas na terceira folha completamente expandida a partir do ápice.

O cálculo do ISN foi obtido através da relação das medidas dos valores das leituras do clorofilômetro (SPAD-502) em cada parcela (LA) e na parcela referência (LR) (maior dose aplicada) pela equação 1.

$$\text{ISN (\%)} = (\text{LA} / \text{LR}) \times 100 \dots\dots\dots (\text{Eq. 1})$$

Quando o ISN foi maior ou igual a 96% (M3), 93% (M4) ou 90% (M5), não foi aplicado N em cobertura e quando o ISN foi menor que os referidos valores foram aplicadas as doses citadas acima nas suas respectivas parcelas, aproximadamente 24 horas após a determinação do IRC.

## **5.4.2. Instalação e condução dos experimentos em campo**

### **a) Safra “da seca”**

Os experimentos foram instalados em sistema plantio direto, em área anteriormente ocupada pela sucessão milho/aveia preta/milho. O manejo da área foi realizado aproximadamente 15 dias antes da semeadura do feijão, com dessecação das plantas utilizando herbicida glyphosate na dose de 1.440 g ha<sup>-1</sup> do ingrediente ativo (i.a.) e uniformização mecânica com triturador de palha.

A semeadura foi realizada no dia 29/02/2012, com uma semeadora-adubadora tratorizada modelo Personale DRILL-13, marca Semeato, regulada com

espaçamento de 0,45 m entre fileiras e 14 sementes por metro. As sementes foram tratadas com o fungicida carboxin + tiram (60 + 60 g do i.a por 100 kg de sementes), com o inseticida tiametoxam (140 g do i.a. por 100 kg de sementes) e cobalto + molibdênio (4,5 + 45 g por 100 kg de sementes). A adubação básica de semeadura constou da aplicação, em todos os tratamentos, de 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, na forma de superfosfato simples e 60 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, na forma de cloreto de potássio, de acordo com as recomendações de Ambrosano et al. (1997). A quantidade de N aplicada em semeadura foi realizada de acordo com os tratamentos propostos. A emergência das plântulas ocorreu em 07/03/2012 (7 DAS).

A primeira aplicação do N em cobertura, nos dois experimentos, foi realizada aos 10 DAE para os manejos M1 (referencia) e M2 (recomendada), quando as plantas de feijão encontravam-se no estágio V3 (primeira folha trifoliolada totalmente expandida) (FERNANDEZ et al., 1986).

O monitoramento dos ISN, mediante as leituras com o clorofilômetro, realizado aos 14 DAE nos dois experimentos, não mostrou deficiência de N para os manejos M3 (ISN < 96%), M4 (ISN < 93%) e M5 (ISN < 90%), ou seja, os ISN foram maiores que 96%, 93% e 90% do observado no tratamento referência (M1), não necessitando de adubação de cobertura (Tabela 2).

Aos 20 DAE (estádio V4 – terceira folha trifoliolada completamente expandida) (FERNANDEZ et al., 1986), nos dois experimentos, foi aplicada a segunda dose de N em cobertura para os manejos M1 e M2 (Tabela 2). Aos 22 DAE, foi aplicada cobertura de N nos dois experimentos, de acordo com o ISN < 96% para o manejo M3 e ISN < 93% para o manejo M4.

Aos 29 DAE foi realizada adubação de cobertura para os manejos M3 e M4 do experimento com cultivar IPR Eldorado, que apresentou ISN < 96% e < 93%, determinado no dia anterior (28 DAE). Nessa época as plantas encontravam-se no estágio V4-5 (quinta folha trifoliolada completamente expandida) (FERNANDEZ et al., 1986). Aos 35 DAE, época do quarto monitoramentos dos ISN, não foi determinada deficiência de N para os manejos M3 (ISN < 96%), M4 (ISN < 93%) e M5 (ISN < 90%), não necessitando de adubação de cobertura nos dois experimentos.

Assim, para o experimento com a cultivar Pérola, os manejos M3 e M4 proporcionaram a aplicação de 50 kg ha<sup>-1</sup> de N, ou seja, 20 kg ha<sup>-1</sup> na semeadura e 30 kg ha<sup>-1</sup> em cobertura (22 DAE) (Tabela 2). No caso do experimento com cultivar IPR Eldorado, nos manejos M3 e M4 foi necessária aplicação de um total de 80 kg ha<sup>-1</sup> de N

em cobertura (22 e 29 DAE). Para ambas as cultivares, o manejo M5 permitiu o desenvolvimento dessas sem a necessidade de aplicação de N em cobertura.

**Tabela 2.** Épocas de aplicação e total de N aplicado em cada manejo e experimento, na safra “da seca”.

Manejo do N	Épocas de aplicação em cobertura (DAE)	Total de N aplicado (kg ha <sup>-1</sup> )
Experimento com cv. Pérola		
M1	10 e 20	200
M2	10 e 20	100
M3	22	50
M4	22	50
M5	-	20
M6	-	0
----- Experimento com cv. IPR Eldorado		
M1	10 e 20	200
M2	10 e 20	100
M3	22 e 29	80
M4	22 e 29	80
M5	-	20
M6	-	0

M1 = 40 + 80 + 80 kg ha<sup>-1</sup>, M2 = 20 + 40 + 40 kg ha<sup>-1</sup>, M3 = 20 + 30 kg ha<sup>-1</sup> quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 96%; M4 = 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + 30 kg ha<sup>-1</sup> quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 93%; M5 = 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + 30 kg ha<sup>-1</sup> quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 90% e, M6 = controle, sem aplicação de N.

O fornecimento de água foi realizado por um sistema de irrigação convencional por aspersão (irrigação de complementação), aplicando-se uma lâmina de 7 mm em cada irrigação e sempre durante as primeiras horas da manhã, de acordo com a necessidade da cultura.

Para o controle de plantas daninhas foram realizadas aplicações dos herbicidas fluazifop-p-butílico + fomezafem (120 + 150 g ha<sup>-1</sup> do i.a.), nos dias 16 e 25/03/2012. Para o controle de pragas foram realizadas aplicações dos inseticidas metamidofós (600 g ha<sup>-1</sup> do i.a.), nos dias 09/03/2012 e tiametoxam + lambda-cialotrina (14,1 + 10,6 g ha<sup>-1</sup> do i.a.), no dia 28/03/2012. Para o controle de doenças foram utilizados os fungicidas propiconazol + trifloxitrobina (75 + 75 g ha<sup>-1</sup> do i.a.), no dia 28/03/12 e 25/04/2011 e hidróxido de fentina (400 g ha<sup>-1</sup> do i.a.) no dia 11/04/2012.

Os florescimentos plenos das cultivares IPR Eldorado e Pérola ocorreram nos dias 07/04/12 (31 DAE) e 12/04/2012 (35 DAE), respectivamente. A colheita da cultivar IPR Eldorado ocorreu aos 80 DAE e a da cultivar Pérola ocorreu aos 91 DAE.

#### **b) Safra “das águas”**

A semeadura foi realizada no dia 20/08/2012, com uma semeadora-adubadora tratorizada modelo Personale DRILL-13, marca Semeato, regulada com espaçamento de 0,45 m entre fileiras e 14 sementes por metro. As sementes foram tratadas com o fungicida carboxin + tiram (60 + 60 g do i.a por 100 kg de sementes), com o inseticida tiametoxam (140 g do i.a. por 100 kg de sementes) e cobalto + molibdênio (4,5 + 45 g por 100 kg de sementes). A adubação básica de semeadura constou da aplicação, em todos os tratamentos, de 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, na forma de superfosfato simples e 40 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, na forma de cloreto de potássio, de acordo com as recomendações de Ambrosano et al. (1997). A quantidade de N aplicada em semeadura foi de acordo com os tratamentos. A emergência das plântulas ocorreu em 29/08/12 (9 DAS).

A primeira aplicação do N em cobertura nos dois experimentos foi realizada aos 10 DAE para os manejos M1 e M2, quando as plantas de feijão encontravam-se no estágio V3 (primeira folha trifoliolada completamente expandida) (FERNANDEZ et al., 1986).

O monitoramento dos ISN, mediante as leituras com o clorofilômetro realizado aos 14 DAE nos dois experimentos, não mostrou deficiência de N para os manejos M3 (ISN < 96%), M4 (ISN < 93%) e M5 (ISN < 90%), ou seja, os ISN foram maiores que 96%, 93% e 90% do observado no tratamento referência (M1), não necessitando de adubação de cobertura (Tabela 3).

Aos 20 DAE, nos dois experimentos, foi aplicada a segunda dose de N em cobertura para os manejos M1 e M2, quando as plantas encontravam-se no estágio V4 (terceira folha trifoliolada completamente expandida) (FERNANDEZ et al., 1986) (Tabela 3). Aos 22 DAE, foi aplicada cobertura de N no experimento com a cultivar IPR Eldorado, de acordo com o ISN < 96% para o manejo M3 e ISN < 93% para o manejo M4 e ISN < 90% para o manejo M5, determinados no dia anterior. No experimento com a

cultivar Pérola não houve a necessidade de aplicação do N em cobertura, ou seja, as plantas não apresentaram deficiência de N.

**Tabela 3.** Épocas de aplicação e total de N aplicado em cada manejo e experimento, na safra “das águas”.

Manejo do N	Épocas de aplicação em cobertura (DAE)	Total de N aplicado (kg ha <sup>-1</sup> )
Experimento com o cv. Pérola		
M1	10 e 20	200
M2	10 e 20	100
M3	36	50
M4	36	50
M5	-	20
M6	-	0
----- Experimento com o cv. IPR Eldorado		
M1	10 e 20	200
M2	10 e 20	100
M3	22 e 29	80
M4	22	50
M5	22	50
M6	-	0

M1 = 40 + 80 + 80 kg ha<sup>-1</sup>, M2 = 20 + 40 + 40 kg ha<sup>-1</sup>, M3 = 20 + 30 kg ha<sup>-1</sup> quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 96%; M4 = 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + 30 kg ha<sup>-1</sup> quando as leituras do clorofilômetro indicaram ISN < 93%; M5 = 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + 30 kg ha<sup>-1</sup> quando as leituras do clorofilômetro indicaram ISN < 90% e, M6 = controle, sem aplicação de N.

Aos 29 DAE foi realizada adubação de cobertura apenas no manejo M3 do experimento com a cultivar IPR Eldorado, que apresentou ISN < 96% (Tabela 3). Nessa época as plantas encontravam-se no estágio V4-5 (quinta folha trifoliolada totalmente expandida) (FERNANDEZ et al., 1986). Aos 35 DAE, época do quarto monitoramentos dos ISN, foi determinada deficiência de N apenas para os manejos M3 (ISN < 96%) e M4 (ISN < 93%) do experimento com a cultivar Pérola, não necessitando de adubação de cobertura no experimento com o IPR Eldorado. Assim, para o experimento com a cultivar Pérola, os manejos M3 e M4 proporcionaram a aplicação de 50 kg ha<sup>-1</sup> de N, ou seja, 20 kg ha<sup>-1</sup> na semeadura e 30 kg ha<sup>-1</sup> em cobertura (22 DAE). Já o manejo M5 permitiu a condução dessa cultivar sem a necessidade de aplicação de N em cobertura. No caso do experimento com a cultivar IPR Eldorado, no manejo M3 foi necessária aplicação

de um total de 80 kg ha<sup>-1</sup> de N (22 e 29 DAE) e no manejo M4 e M5 foi necessária aplicação de N apenas uma aplicação do N em cobertura (22 DAE), totalizando a dose de 50 kg ha<sup>-1</sup> de N.

O fornecimento de água foi realizado por um sistema de irrigação convencional por aspersão (irrigação de complementação), aplicando-se uma lâmina de 7 mm em cada irrigação e sempre durante as primeiras horas da manhã, de acordo com a necessidade da cultura.

Para o controle de plantas daninhas foram realizadas aplicações dos herbicidas fluazifop-p-butílico + fomezafem (120 + 150 g ha<sup>-1</sup> do i.a.), nos dias 16 e 25/03/2012. Para o controle de pragas foram realizadas aplicações dos inseticidas metamidofós (600 g ha<sup>-1</sup> do i.a.), no dia 05/09/2012 e tiametoxam + lambda-cialotrina (14,1 + 10,6 g ha<sup>-1</sup> do i.a.), no dia 10/10/2012. Para o controle de doenças foram utilizados os fungicidas: hidróxido de fentina (400 g ha<sup>-1</sup> do i.a.) no dia 03/10/2012, azoxistrobina (60 g ha<sup>-1</sup> do i.a.) no dia 10/10/12 e óxido cuproso (110 g ha<sup>-1</sup> do i.a.) no dia 06/11/2012.

O florescimento pleno das cultivares IPR Eldorado e Pérola ocorreu nos dias 03/10/12 (35 DAE) e 10/10/12 (42 DAE), respectivamente. A colheita da cultivar IPR Eldorado ocorreu aos 80 DAE e da cultivar Pérola ocorreu aos 85 DAE.

### **5.4.3. Avaliações realizadas**

#### **a) Nitrogênio total e inorgânico (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) no solo**

Foram retiradas amostras de solo nas profundidades de 0,0-0,20 m e 0,20-0,40 m nas seguintes épocas: 1) antes da semeadura e 2) no florescimento pleno da cultura (R6).

A amostragem realizada antes da semeadura foi realizada em 15 pontos distribuídos ao acaso na área total do experimento. A amostragem realizada no florescimento pleno do feijoeiro foi feita ao acaso em pontos situados a 0,15-0,20 m de distância da fileira de plantas, totalizando seis pontos por parcela.

As amostras foram coletadas em sacos plásticos e armazenadas em um isopor com gelo para reduzir a mineralização da matéria orgânica, até serem levadas para o laboratório onde foram armazenadas em um “freezer” para posterior análise. A determinação do N inorgânico (NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) foi realizada por extração com KCl, seguida

de duas destilações, conforme Keeney e Nelson (1982), e o N total, por digestão sulfúrica e posterior destilação (BREMNER; MULVANEY, 1982).

#### **b) Quantidade de palhada na área e de N na palhada**

Foram realizadas amostragens dos resíduos culturais presentes na superfície do solo, nas mesmas datas das coletas de solo (item 5.4.3). A amostragem realizada antes da semeadura foi em seis pontos distribuídos ao acaso na área total do experimento. No florescimento pleno do feijoeiro foi realizada amostragem em dois pontos ao acaso, com o auxílio de um quadro de madeira (0,25 m<sup>2</sup> de área interna), que constituíram uma amostra composta. As coletas foram realizadas de forma manual, com auxílio de tesoura de poda, retirando-se toda palhada contida na área interna do quadro.

Após as coletas, os resíduos sofreram uma pré-limpeza, por meio de peneiras, para redução da quantidade de solo aderido. Em seguida, foram lavados, agitando-os por alguns segundos em água deionizada, em três porções sucessivas, sendo a seguir colocados sobre papel absorvente (MALAVOLTA et al., 1997). As amostras foram acondicionadas em sacos de papel e secadas em estufa com circulação forçada de ar a 60°C, até atingirem peso constante, com posterior pesagem para determinação da quantidade de matéria seca. A seguir, o material foi moído, em moinho tipo Willey, para posterior determinação do teor de N (MALAVOLTA et al., 1997).

A quantidade de N contida na palhada foi obtida pelo produto da quantidade de massa de matéria seca com o teor do nutriente no resíduo vegetal, sendo apresentado em kg ha<sup>-1</sup>.

#### **c) Massa de matéria seca da parte aérea**

Esta avaliação foi realizada por ocasião do florescimento, coletando-se 10 plantas ao acaso por unidade experimental, submetidas à lavagem com água destilada, sendo posteriormente colocadas para secagem em estufa de ventilação forçada de ar a 60-70 °C, por 72 horas e pesadas.

#### **d) Teor e quantidade acumulada de nitrogênio na parte aérea**

O material utilizado para determinação da massa de matéria seca da parte aérea foi submetido à análise para determinação dos teores de N, segundo os métodos descritos por Malavolta et al. (1997). Posteriormente, os teores foram multiplicados pela massa de matéria seca para o cálculo da quantidade de N acumulada.

#### **e) Componentes da produção**

##### **- Número de vagens por planta**

Por ocasião da colheita, foi realizada a coleta de 10 plantas por unidade experimental, nas quais foi determinado o número de vagens por planta, mediante a relação entre número total de vagens e o número total de plantas.

##### **- Número de grãos por vagem**

Foi determinado mediante a relação entre número total de grãos e o número total de vagens, avaliados nas 10 plantas coletada para determinação do número de vagens por planta.

##### **- Massa de 100 grãos (g)**

Foi avaliada através da pesagem, em cada unidade experimental, de quatro amostras de 100 grãos cada uma. Os dados obtidos foram corrigida para teor de água de  $130 \text{ g kg}^{-1}$ .

#### **f) Produtividade de grãos**

Para esta avaliação foram colhidas, manualmente, as plantas contidas em duas fileiras de três metros de comprimento na área útil de cada unidade experimental. As plantas, após serem arrancadas, foram secas ao sol e, posteriormente trilhadas mecanicamente. Os grãos, após abanação, foram pesados e foi calculada a produtividade em  $\text{kg ha}^{-1}$ , corrigida para teor de água de  $130 \text{ g kg}^{-1}$ .

#### **g) Produtividade relativa**

Foi calculada definindo-se a porcentagem de aumento da média de produtividade de grãos em cada manejo do N em relação à média do controle (sem aplicação de N).

#### **h) Eficiência de utilização do nitrogênio aplicado**

Foi determinado mediante a relação  $\text{kg ha}^{-1}$  de grãos incrementado /  $\text{kg ha}^{-1}$  de N aplicado em cada tratamento, em relação ao controle (sem aplicação de N).

#### **5.4.4. Análise estatística**

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F. As médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1. Primeira Etapa – Safra “das águas” de 2011

#### 6.1.1. Cultivar Pérola

##### a) Nitrogênio total e nitrogênio inorgânico (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) no solo

Na Tabela 4 estão apresentados os teores de N total, N-amoniacoal (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) e N-nítrico (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) do solo nas profundidades de 0,0-0,20 m e 0,20-0,40 m, determinados em amostras coletadas em área total antes da semeadura dos experimentos. Observa-se elevado teor de N total na camada de 0,0-0,20 m de profundidade, que pode estar relacionado ao fato de que, mais de 95% do N total presente no solo, está na forma orgânica (CAMARGO et al., 1999), e os maiores teores de matéria orgânica são encontrados nas camadas mais superficiais do solo. Este resultado corrobora os teores de matéria orgânica presentes no solo do experimento em estudo, de 34 g dm<sup>-3</sup>, que, de acordo com Fageria (2004), se encontram na faixa de médio teor.

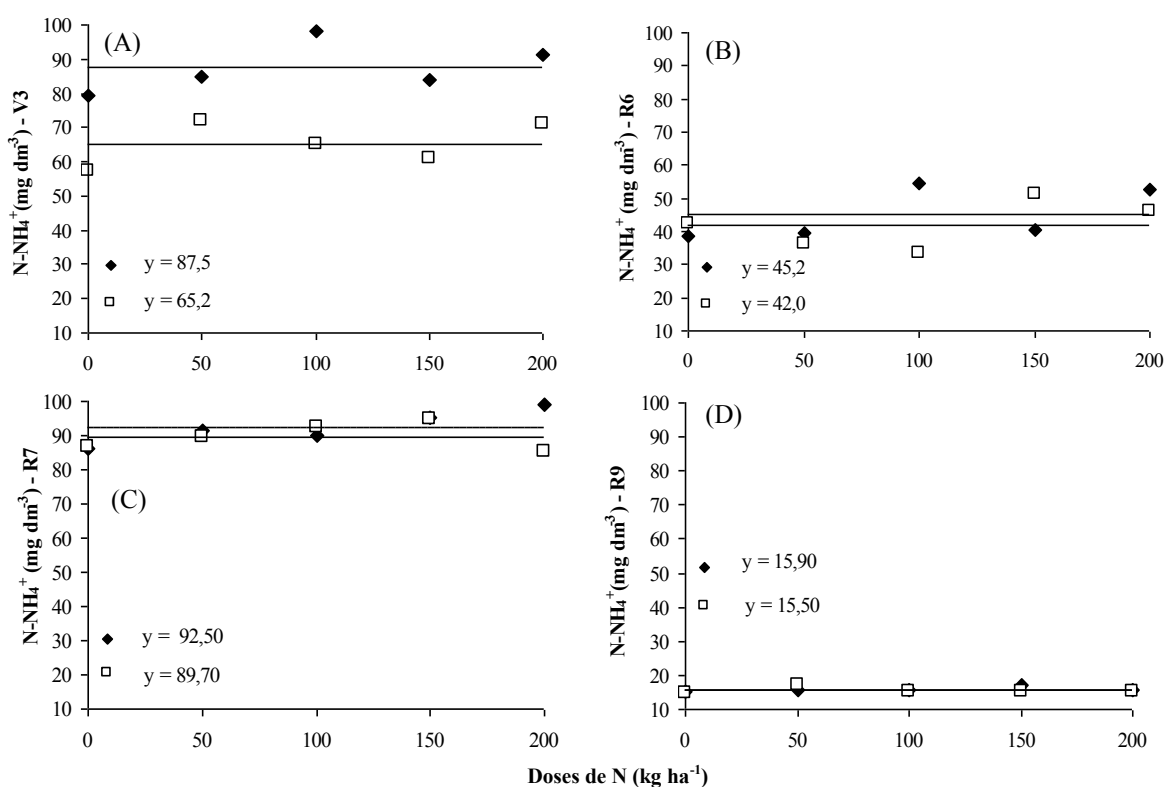
**Tabela 4.** Teores de N total, N-amoniacoal (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) e N-nítrico (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), no perfil do solo (0,0-0,20 m e 0,20-0,40 m), determinados em amostras coletadas na área do experimento antes da semeadura da cultura do feijão.

Profundidade (m)	N total	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
0,0-0,20	1581,9	47,4	38,0
0,20-0,40	1204,6	45,4	23,0

O teor de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> foi superior ao de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> nas duas profundidades (Tabela 4), provavelmente em função do pH do solo apresentar-se baixo

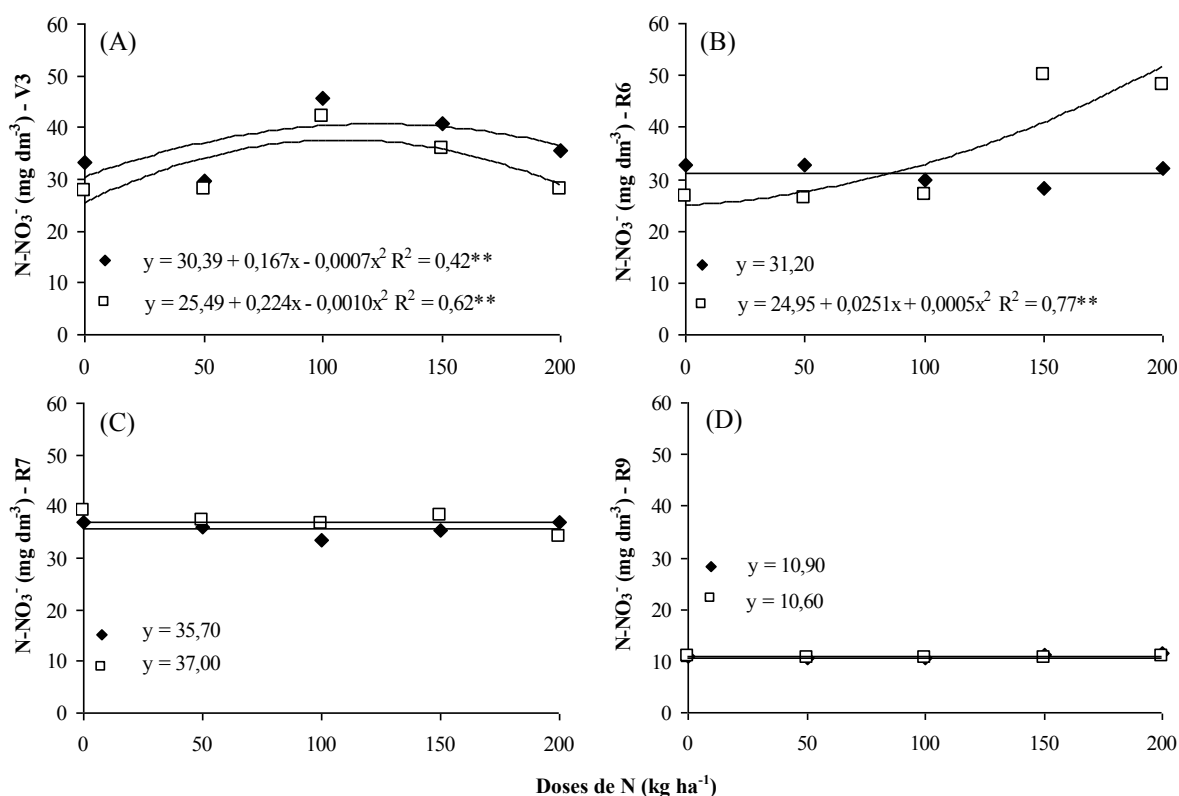
(pH 4,7), fator que pode limitar a taxa de nitrificação de acordo com Haynes (1986). Segundo Moreira e Siqueira (2006), o processo de nitrificação é mediado pelas bactérias dos gêneros *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*, sendo esse processo muito sensível a valores de pH menores que 6,0 e nulas em pH menor que 4,5. A intensidade da nitrificação, que, em última instância, determina a disponibilidade de nitrato no sistema solo-planta, varia tanto com o grau de fertilidade do solo quanto com a molécula carreadora de N, e as maiores taxas de nitrificação têm sido obtidas nos solos onde se procede a correção da acidez do solo (HAYNES, 1986; KREUTZER, 1995).

Não houve efeito significativo das doses de N aplicadas sobre o teor de  $\text{N-NH}_4^+$  no solo determinado em todas as épocas de avaliação, nas duas profundidades avaliadas (Figuras 2A e 2B).



**Figura 2.** Teores de N-amoniacal ( $\text{N-NH}_4^+$ ) nas camadas de 0,0-0,20 m (◆) e 0,20-0,40 m (□) do solo, determinados nos estádios V3 (primeira folha trifoliolada completamente expandida) (A), R6 (florescimento pleno) (B), final de R7 (Formação e crescimento de vagens) (C) e R9 (colheita de grãos) (D) do feijoeiro cultivar Pérola, em função de doses de N aplicadas.

Os teores de  $\text{N-NO}_3^-$  nas camadas de 0,0-0,20 m foram influenciados pelas doses de N apenas na avaliação realizada no estágio V3 (14 DAE), com ajuste quadrático (Figura 3A). Na camada de 0,20-0,40 m os teores de  $\text{N-NO}_3^-$  foram influenciados nas amostragens realizadas em V3 e R6 (Figuras 3A e 3B), com ajustes quadráticos. Os teores de  $\text{N-NO}_3^-$  observados na camada de 0,20-0,40 m foram inferiores aos encontrados na camada de 0,0-0,20 m, mostrando que, apesar da aplicação de altas doses de N ( $200 \text{ kg ha}^{-1}$ ), esse nutriente foi aproveitado pelas plantas, resultando em pequena lixiviação no perfil do solo.



**Figura 3.** Teores de N-nítrico ( $\text{N-NO}_3^-$ ) nas camadas de 0,0-0,20 m ( $\blacklozenge$ ) e 0,20-0,40 m ( $\square$ ), determinados nos estádios V3 (primeira folha trifoliolada completamente expandida) (A), R6 (florescimento pleno) (B), final de R7 (Formação e crescimento de vagens) (C) e R9 (colheita de grãos) (D) do feijoeiro cultivar Pérola, em função de doses de N aplicadas. \*\*  $p < 0,01$ .

O teor de N-nítrico encontrado na camada de 0,0-0,20 m, em avaliação no estágio R9, pode ser considerado baixo, levando em consideração que o teor de  $25 \text{ mg dm}^{-3}$  de  $\text{N-NO}_3^-$  na camada de 0,0-0,30 m (“Pre Sidedress Nitrate Test”) é considerado como valor crítico em cultivo de milho no estado de Iowa-EUA, no qual o teor

de N-nítrico na camada superficial é utilizado no cálculo da adubação nitrogenada em cobertura (BLACKMER; VOSS, 1997). Costa et al. (2008) consideraram teores de  $\text{N-NO}_3^-$  no solo entre 10 e 60  $\text{mg kg}^{-1}$  como baixos em pastagens de capim Marandu. Os baixos teores de N-nítrico no final do ciclo podem ser explicados pelo processo de imobilização do N, fato que também pôde ser observado nos teores de  $\text{N-NH}_4^+$  determinados no solo.

Vários trabalhos têm mostrado que o nitrato, por ser um ânion, é facilmente lixiviado no perfil do solo, sendo levado para fora do alcance das raízes das plantas podendo atingir as águas subsuperficiais (MUCHOVEJ; RECHEIGL, 1994; COSTA et al., 1999; SILVA et al., 1999; OLIVEIRA et al., 2001). Entretanto, observa-se que a maior parte do  $\text{N-NO}_3^-$  no solo está presente na camada superficial avaliada (de 0,0-0,20 m), o que pode estar relacionado com o manejo adequado do adubo aplicado, pois, de acordo com Muchovej e Recheigl (1994), o manejo adequado, utilizando-se do parcelamento da dose do fertilizante, pode controlar a lixiviação do nitrato, aumentar a permanência do mesmo no solo e melhorar a absorção do elemento pelas plantas, devido ao sistema radicular das plantas apresentar-se desenvolvido.

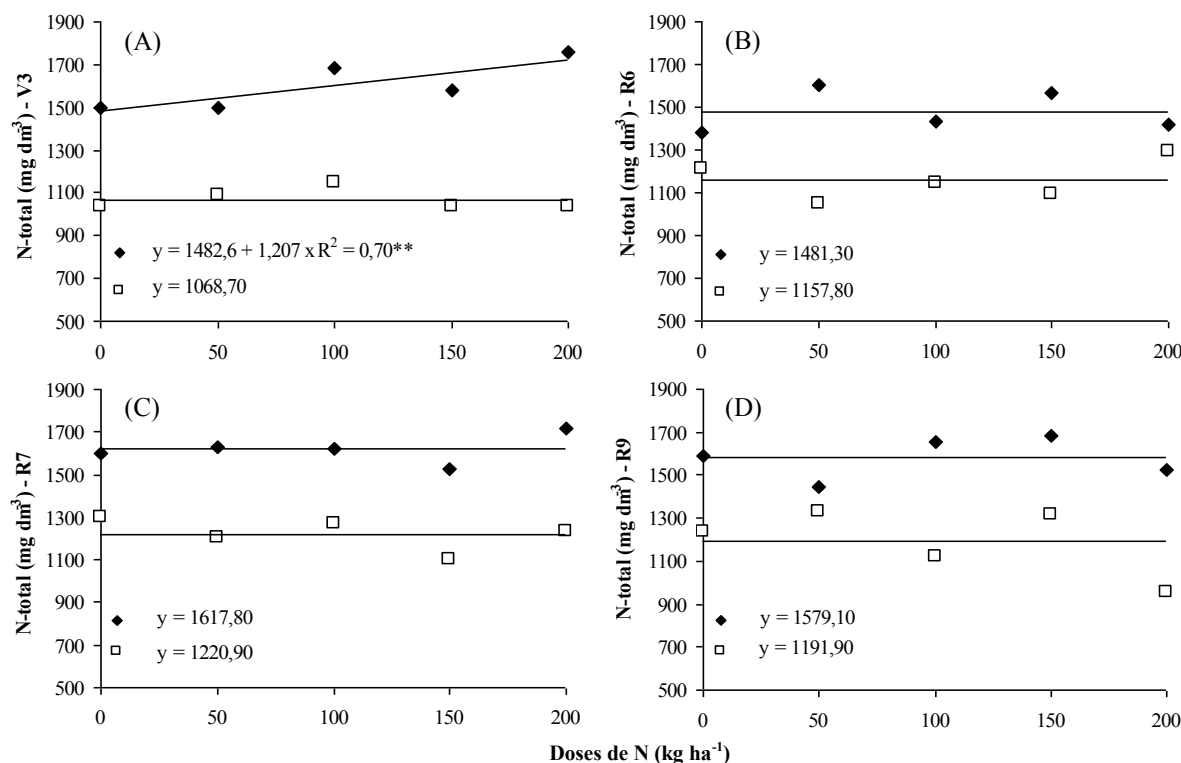
Os teores de N total no solo foram influenciados pelas doses de N aplicadas apenas na avaliação realizada no estágio V3, na profundidade de 0,0-0,20 m, apresentando comportamento linear, ou seja, aumento do teor de N total no solo com o aumento das doses de N aplicadas (Figura 4A). Provavelmente essa resposta linear ocorreu devido à aplicação das doses do adubo nitrogenado em cobertura aos 10 DAE. Na camada de 0,20-0,40 m, amostrada em V3, o teor médio de N total foi de 1068,7  $\text{mg dm}^{-3}$  de solo.

Os teores de N total no solo em profundidade foram menores, em todas as épocas de avaliação (Figura 4). A redução no teor de N total em profundidade corrobora Pillon et al. (2011) e Eiler et al. (2012).

Independente da época e da profundidade de amostragem, o teor de N total no solo variou de 1068 a 1700  $\text{mg dm}^{-3}$  (Figura 4), o que está incluído na faixa apresentada por Sá (1996), que cita que o teor de N total dos solos agrícolas é em geral de 500 a 5000  $\text{mg dm}^{-3}$  e que mais de 85% desse total encontra-se na forma orgânica e nas camadas mais superficiais do solo.

De acordo com Moreira e Siqueira (2006), entre os indicadores de qualidade do solo, o N total desempenha um papel fundamental por sua relação com a capacidade produtiva do solo. Os teores de N total, em diferentes profundidades do solo, apresentam o mesmo padrão de distribuição dos teores de carbono, com os maiores valores

nas camadas superficiais, onde há o maior acúmulo de matéria orgânica (RANGEL; SILVA, 2007).



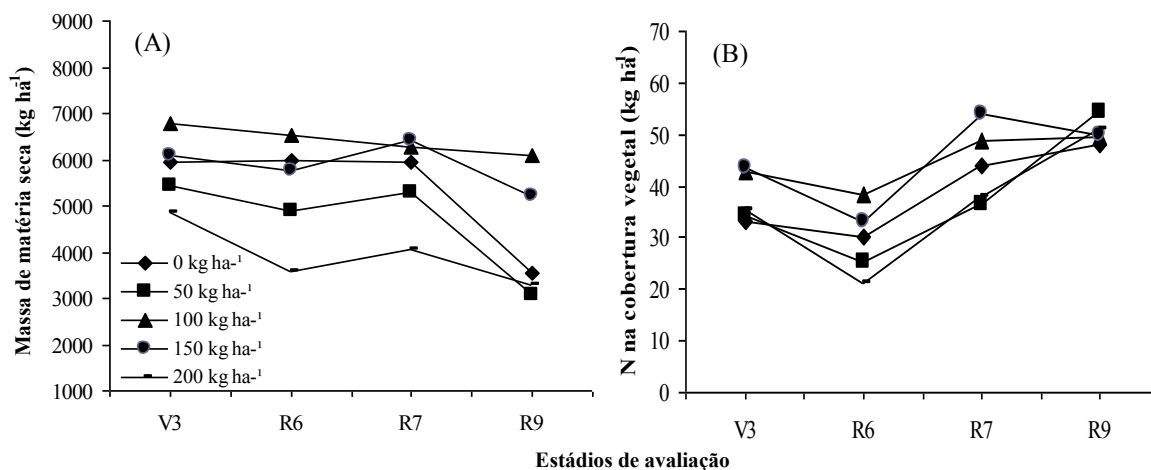
**Figura 4.** Teores de N total nas camadas de 0,0-0,20 m (♦) e 0,20-0,40 m (□), do solo determinados nos estádios V3 (primeira folha trifoliolada completamente expandida) (A), R6 (florescimento pleno) (B), final de R7 (Formação e crescimento de vagens) (C) e R9 (colheita de grãos) (D) do feijoeiro cultivar Pérola, em função de doses de N aplicadas. \*\*  $p < 0,01$ .

### b) Persistência e liberação de N da palhada

No momento da semeadura a quantidade de material vegetal presente na área era de  $5.442 \text{ kg ha}^{-1}$ , e a quantidade de N acumulado no tecido vegetal era de  $42,9 \text{ kg ha}^{-1}$ .

Observa-se que a quantidade de massa de matéria seca da cobertura vegetal no decorrer das avaliações não sofreram grandes alterações, ou seja, a palhada da cobertura vegetal se decompôs mais lentamente e de forma mais contínua e uniforme ao longo do tempo dentro dos tratamentos aplicados (Figura 5A). A taxa de decomposição dos resíduos vegetais é controlada pelas características qualitativas do material vegetal, como a relação C:N e o teor de lignina, além do manejo da palha e do tamanho dos fragmentos (BORTOLUZZI; ELTZ, 2000).

Vale ressaltar que esse experimento foi conduzido sobre área anteriormente ocupada pela sucessão milho/aveia-preta/milho, o que contribui para alta relação C:N do material vegetal presente. Geralmente gramíneas apresentam quantidades relativamente elevadas de fitomassa, caracterizada pela alta relação C:N, o que pode aumentar a persistência da cobertura do solo (PERIN et al., 2004).



**Figura 5.** Massa de matéria seca (A) e quantidade de N acumulado na cobertura vegetal (B) em diferentes estádios de desenvolvimento do feijoeiro cultivar Pérola, em função das doses de N aplicadas.

O tratamento com aplicação de  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  apresentou os menores valores de massa de matéria seca de cobertura vegetal presente no solo, quando comparada aos demais tratamentos ao longo do tempo (Figura 5A). Possivelmente, a aplicação mais elevada de N na semeadura e aos 10 DAE contribuíram para maior decomposição dos resíduos presentes nesse tratamento. De acordo com Ernani et al. (2002), aplicação de doses mais altas de N acelerou o processo de decomposição do material vegetal em 21%, em relação ao tratamento sem aplicação desse elemento.

A quantidade de N na cobertura vegetal aumentou ao longo do tempo em todos os tratamentos estudados (Figura 5B), ou seja, houve imobilização do N, principalmente pelo fato de a decomposição do resíduo ter sido lenta no decorrer do tempo (Figura 5A). Ou seja, quanto maior a quantidade acumulada do nutriente no resíduo em processo de degradação, menor foi sua quantidade disponibilizada para o solo, e, o comportamento entre essas duas variáveis é inversamente proporcional.

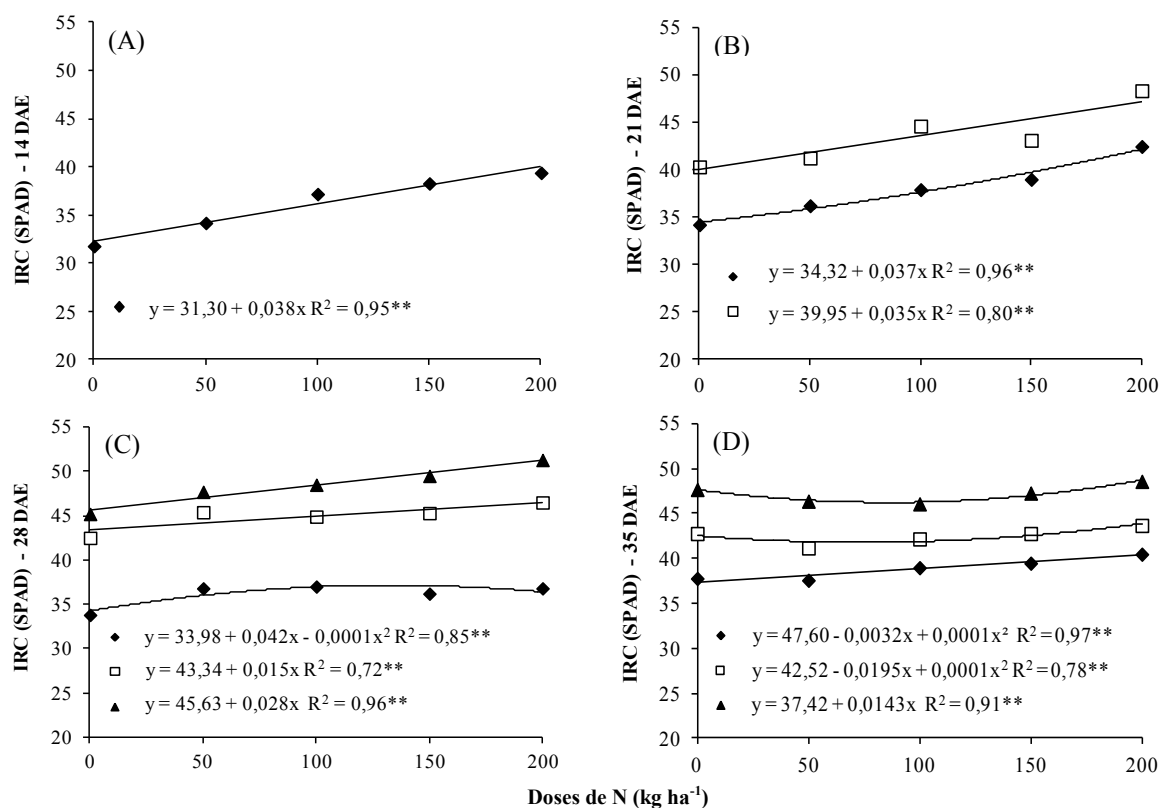
### c) Índice relativo de clorofila e teor de N foliar

Houve efeito das doses de N sobre os IRC obtidos com o clorofilômetro na primeira, segunda e terceira folhas completamente expandidas a partir do ápice do feijoeiro cultivar Pérola, avaliadas como diagnose, em todas as épocas de avaliação (Figura 6). Isto ocorreu pelo fato de o N ser constituinte da molécula de clorofila (TAIZ; ZEIGER, 2009). Soratto et al. (2004), Garcia et al. (2011) e Maia et al. (2012; 2013) também constataram aumento nos valores dessa variável com o incremento nas doses de N aplicadas. Estudo realizado por Toso et al. (2011) demonstrou que o aumento da disponibilidade de N no meio radicular elevou o valor da leitura de clorofila em plantas de feijoeiro cultivar Pérola, indicando que a maior disponibilidade de N aumenta a absorção e assimilação desse nutriente pela planta.

Tanto nas folhas mais jovens, quanto na mais madura, o IRC variou em função das doses de N, sendo que os IRC de cada folha, nas diferentes posições avaliadas, responderam diferentemente ao aumento das doses de N aplicadas (Figura 6). A primeira folha completamente expandida apresentou respostas lineares à aplicação de N nas avaliações realizadas aos 14 e 28 DAE e quadráticas aos 28 e 35 DAE (Figuras 6C e 6D). As leituras dos IRC realizadas aos 21 e 28 DAE, na segunda folha completamente expandida (Figuras 6B e 6C), apresentaram comportamento linear e, quadrático aos 35 DAE quanto se aplicou as doses de N (Figura 6D). Já a terceira folha completamente expandida apresentou respostas lineares nas avaliações em 28 e 35 DAE. Estudos realizados por Zhou e Wang (2003), em arroz, demonstraram que existe grande diferença entre folhas mais novas e mais maduras fisiologicamente na sensibilidade de resposta do IRC ao acréscimo de N, e que os valores de índice SPAD críticos para recomendação de aplicação de N também variam dentro dos estádios de crescimento da planta. De acordo com Li et al. (2012), a sensibilidade de resposta dos valores dos IRC ao N aplicado é muito importante para a determinação da melhor posição de uma folha diagnóstica.

A terceira folha completamente expandida apresentou maiores leituras de IRC, em comparação às demais folhas, nas avaliações realizadas aos 28 e 35 DAE (Figuras 6C e 6D). Isto pode indicar que a terceira folha completamente expandida do feijoeiro a partir do ápice continha teores mais elevados de clorofila do que as folhas mais jovens, o que pode ser explicado pelo fato de que folhas mais jovens apresentam teores mais elevados de  $N-NO_3^-$  na forma livre e nessa forma o N não se está associado à

molécula de clorofila e, portanto, não é quantificado pelo clorofilômetro (DWYER, 1995). Além disso,

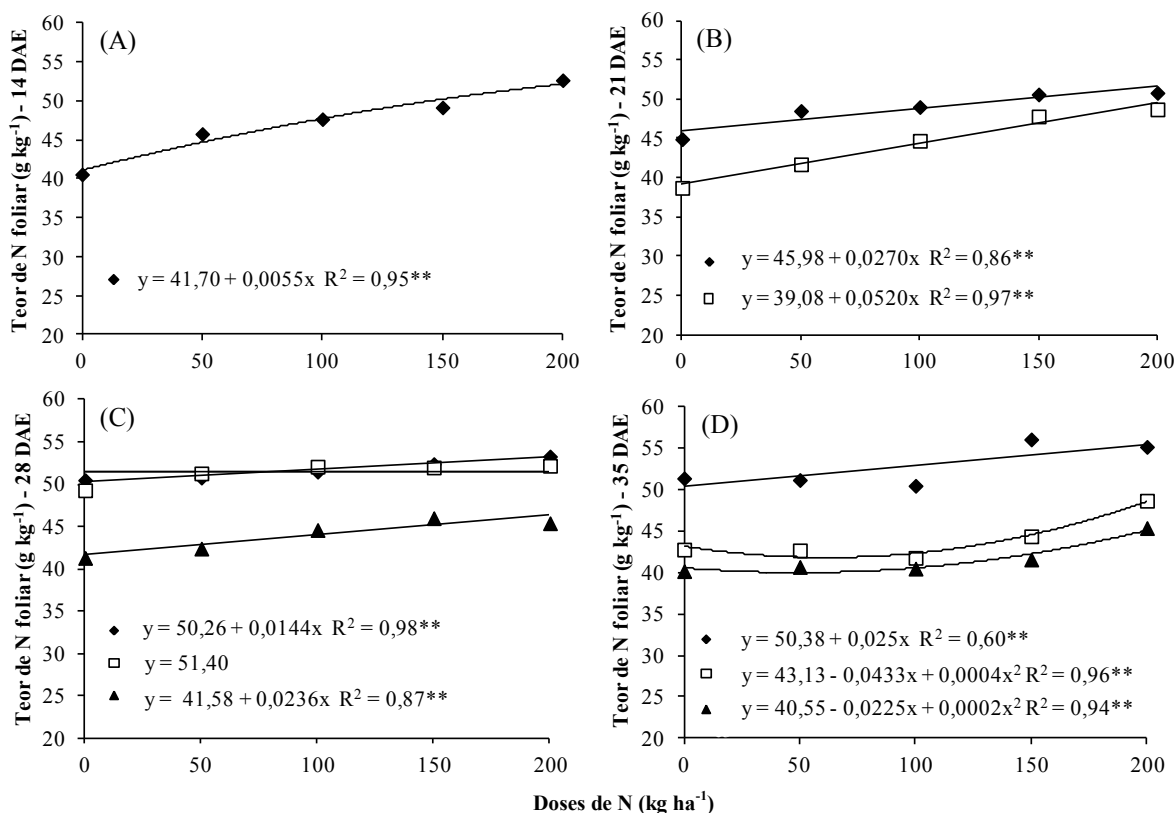


**Figura 6.** Índices relativos de clorofila (IRC) determinados na primeira (◆), segunda (□) e terceira (▲) folhas completamente expandidas a partir do ápice do feijoeiro cultivar Pérola, avaliados aos 14 DAE (A), aos 21 DAE (B), aos 28 DAE (C) e aos 35 DAE (D), em função de doses de N aplicadas. \*  $p < 0,05$  e \*\*  $p < 0,01$ .

Toso et al. (2011) observaram diferença no teor de clorofila obtido com clorofilômetro, em folhas em diferentes fases fisiológicas, ou seja, folhas velhas, aquelas situadas na base da planta e sem sinais de senescência, apresentaram teores de clorofila mais elevados até a fase de floração, seguido de folhas médias, aquelas situadas em posição intermediária entre as novas e as velhas, e novas, aquelas situadas no ápice da planta.

Quanto ao teor de N foliar, houve efeito das doses de N sobre essa variável, exceto na avaliação realizada na segunda folha totalmente expandida aos 28 DAE (Figura 7C). Vale salientar que os valores encontrados, no presente trabalho, situaram-se dentro da faixa de suficiência indicada por Malavolta et al. (1997) e Ambrosano et al.

(1997), e acima do nível crítico de  $30 \text{ g kg}^{-1}$ , mesmo na ausência de adubação nitrogenada, o que pode ser explicado pelos altos teores de N inorgânico disponíveis no solo (Figuras 2 e 3).



**Figura 7.** Teores de N foliar determinados na primeira (◆), segunda (□) e terceira (▲) folhas completamente expandidas a partir do ápice do feijoeiro cultivar Pérola, avaliados aos 14 DAE (A), aos 21 DAE (B), aos 28 DAE (C) e aos 35 DAE (D), em função de doses de N aplicadas. \*  $p < 0,05$  e \*\*  $p < 0,01$ .

Em todas as datas de avaliação, a primeira folha completamente expandida apresentou os maiores teores de N foliar quando comparada com as demais folhas (Figura 7). Em ordem de utilização mais eficiente da radiação solar, a distribuição de N dentro da parte aérea das plantas corresponde com a distribuição de luz dentro do dossel dessas plantas, sendo assim, a concentração de N total nas folhas mais altas, ou mais novas, são geralmente mais elevadas do que aquelas folhas localizadas em regiões mais baixas da planta (SARKAR et al., 1998). Além disso, a redução no teor de N sugere redistribuição desse nutriente das folhas fontes ou mais velhas (terceira folha completamente expandida) para regiões de crescimento da planta, evidenciando, dessa

maneira a alta capacidade de redistribuição desse nutriente (TAIZ; ZEIGER, 2009). Assim, as folhas mais velhas ou de posição mais baixa na planta apresentam sensível resposta às condições de deficiência de N do que as folhas mais novas.

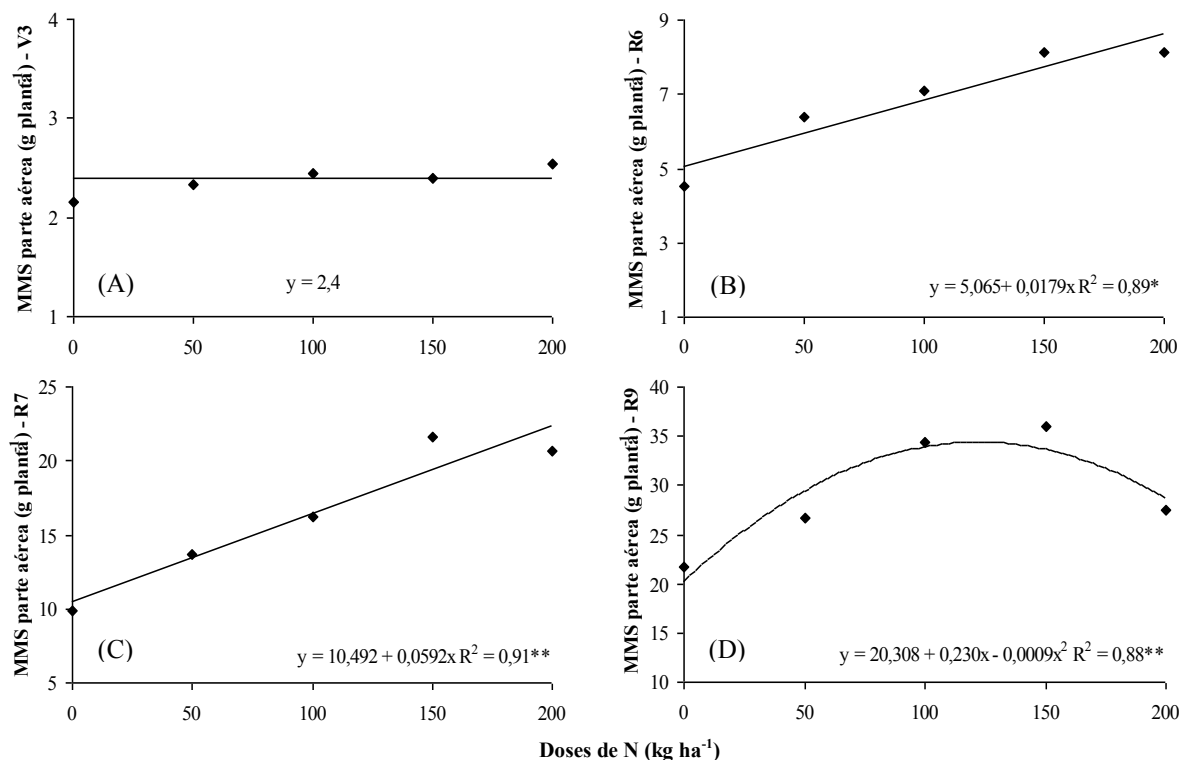
**d) Massa de matéria seca da parte aérea, teor de N e quantidade de N acumulado na massa de matéria seca da parte aérea**

A massa de matéria seca da parte aérea do feijoeiro foi afetada pela aplicação das doses de N nas avaliações realizadas em R6, R7 e R9 (Figuras 8B, 8C e 8D). O acréscimo na dose de N aplicada aumentou a disponibilidade desse nutriente no solo (Figuras 2 e 3). Dessa forma, o incremento na absorção pelas plantas é observado, promovendo a produção de maiores massa de matéria seca, uma vez que o N tem influência direta na fotossíntese e crescimento da planta (MALAVOLTA et al., 1997).

Na avaliação realizada no estágio V3 (primeira folha trifoliolada completamente expandida) não houve efeito das doses sobre a massa de matéria seca da parte aérea (Figura 8A). Isto pode ser explicado pelo fato de o crescimento inicial do feijoeiro ser caracterizado por uma fase lenta de crescimento, e que nessa fase a taxa de absorção de água e nutrientes é muito pequena para ativar os processos fisiológicos do crescimento, que exigem atividades metabólicas aceleradas, e essa fase dura até os 25-30 DAE (GOMES et al., 2000). A partir do estágio V3 e após a segunda aplicação do N em cobertura (20 DAE), ocorreram diferenças na produção de massa de matéria seca da parte aérea (Figura 8). Observou-se acúmulo mais acentuado nessa variável durante o estágio R7 caracterizado pela fase final de formação de vagens (Figura 8C). Na avaliação realizada em R9 (Figura 8D) houve aumento da massa de matéria seca da parte aérea de forma quadrática com os acréscimos das doses de N, sendo o teor máximo alcançado com a aplicação de  $128 \text{ kg ha}^{-1}$  de N. Brito (1992) afirmou que o acúmulo da massa de matéria seca e de N absorvido pela cultivar Carioca aumenta significativamente a cada etapa do ciclo da cultura, sendo maior no período de enchimento de vagens e maturação fisiológica, entre 47 e 78 DAE.

Com o decorrer do tempo houve aumento da massa de matéria seca da parte aérea do feijoeiro cultivar Pérola (Figura 8), e as maiores massas de matéria seca ( $\text{g planta}^{-1}$ ) foram obtidas na avaliação realizada no período de maturação fisiológica, ou seja, no estágio R9 (Figura 8D). Esse aumento da massa da matéria seca da parte aérea

com o aumento da idade da planta pode estar associado com o aumento na área foliar, enchimento de vagens e grãos, e com crescimento das raízes e da maior disponibilidade de N.



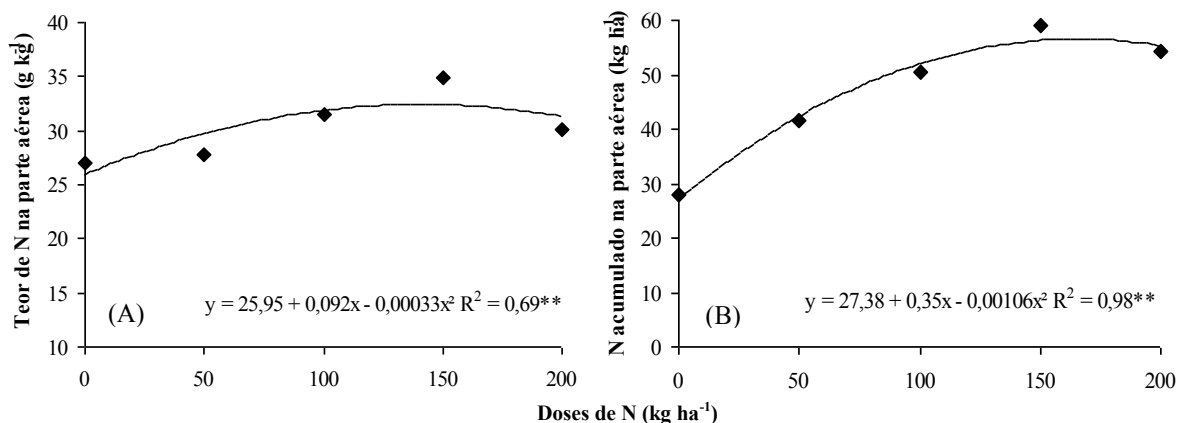
**Figura 8.** Massa de matéria seca (MMS) da parte aérea em V3 (primeira folha trifoliolada completamente expandida) (A), em R6 (florescimento pleno) (B), no final de R7 (Formação e crescimento de vagens) (C) e em R9 (colheita de grãos) (D) da cultivar Pérola, em função das doses de N aplicadas. \*  $p < 0,05$  e \*\*  $p < 0,01$ .

A análise dos resultados evidenciou que as doses de N tiveram efeito significativo sobre o teor de N e na quantidade de N acumulado na massa de matéria seca da parte aérea do feijão Pérola, durante o florescimento pleno da cultura (Figura 9).

O aumento na dose de N em cobertura incrementou o teor de N na parte aérea até os 139 kg ha<sup>-1</sup> de N (Figura 9A). Em estudo semelhante, Alvarez et al. (2005) e Fageria et al. (2008) avaliaram a aplicação de doses de N na cultura do feijão, e verificaram aumento do teor de N na parte aérea da planta com o aumento da dose desse nutriente aplicada ao solo.

O efeito positivo da adubação nitrogenada na massa de matéria seca da parte aérea avaliada no florescimento (R6) (Figura 8B) e no teor de N na parte

aérea (Figura 8A) refletiu em aumento na quantidade de N acumulada na parte aérea do feijoeiro, chegando a 56,3 kg ha<sup>-1</sup> de N acumulado com a dose estimada de 165 kg ha<sup>-1</sup> de N (Figura 9B).



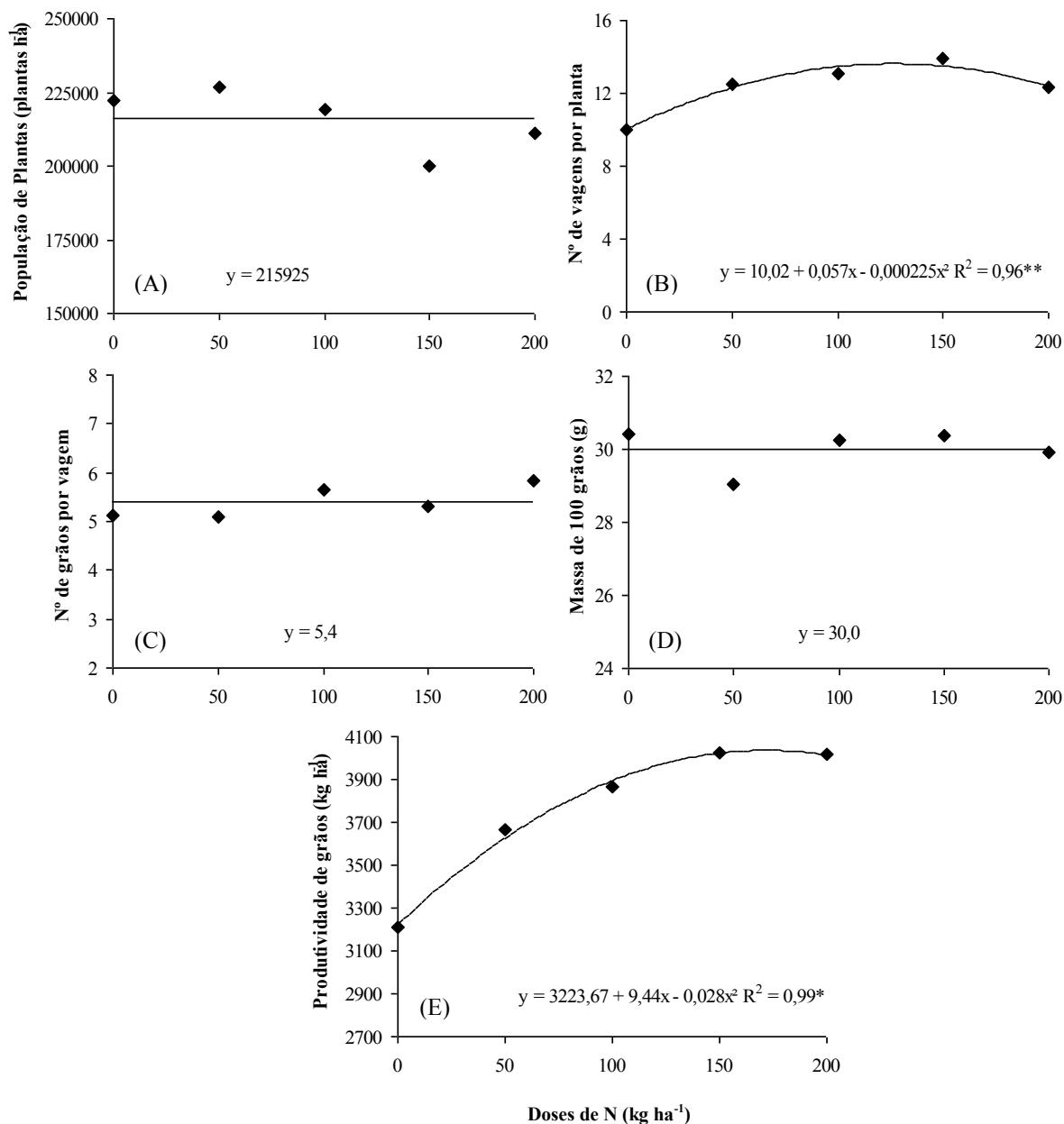
**Figura 9.** Teor de N na massa de matéria seca da parte aérea (A) e quantidade de N acumulada na massa de matéria seca da parte aérea (B), no florescimento pleno, do feijoeiro cultivar Pérola, em função de doses de N aplicadas. \*\*  $p < 0,01$ .

#### e) Componentes da produção e produtividade de grãos

A população final de plantas não apresentou diferenças com o aumento das doses de N aplicadas (Figura 10A). Em média, a população final de plantas observada foi de 215.945 plantas ha<sup>-1</sup>, ou seja, cerca de nove plantas por metro de fileira. A população final de plantas ficou abaixo da preestabelecida na semeadura (333 mil plantas por hectare), provavelmente em razão de problemas no vigor das sementes e/ou com as condições de estabelecimento da cultura.

Para o número de vagens por planta, os ajustes foram crescentes mediante as doses aplicadas até a dose máxima de 127 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 10B), confirmando o efeito positivo do uso do fertilizante nitrogenado sobre o número de vagens por planta (CALVACHE et al., 1995; DINIZ, 1995; ANDRADE et al., 1998; SORATTO et al., 2014). O maior número de vagens obtido em resposta à aplicação de N pode estar relacionado ao aumento da massa de matéria seca (Figura 8), pois, plantas maiores e com maior quantidade de ramificações produzem maior número de estruturas reprodutivas. Estes resultados comprovam, de certa forma, que a adubação nitrogenada exerce influência sobre as vagens do feijoeiro, pois, de acordo com Portes (1996), quantidades insuficientes

deste nutriente levam a planta a produzir menos flores, acarretando em redução do número de vagens.



**Figura 10.** População final de plantas (A), número de vagens por planta (B), número de grãos por vagem (C), massa de 100 grãos (D) e produtividade de grãos do feijoeiro cultivar Pérola, em função das doses de N aplicadas. \*  $p < 0,05$  e \*\*  $p < 0,01$ .

Mesmo com o aumento das doses de N aplicado, os resultados se mostraram constantes para o número de grãos por vagem (Figura 10C). Da mesma forma, para Silva et al. (2003) e Soratto et al. (2004), que não obtiveram efeitos significativos no

número de grãos por vagem com a utilização de níveis de N em cobertura. Embora o número de grãos por vagem seja considerado características de herdabilidade genética, resultados de trabalhos de pesquisa indicam que uma melhor nutrição em N pode aumentar o número de óvulos fertilizados por vagem, com os dados se ajustando a equações lineares crescentes (SANTOS et al., 2003; ARF et al., 2004; SORATTO et al., 2006). Crusciol et al. (2007) também não verificaram efeito da aplicação de N no número de grãos por vagem e atribuíram isso ao fato de se tratar de uma característica de alta herdabilidade genética e pouco influenciada pelo ambiente.

Da mesma forma, a massa de 100 grãos da cultivar Pérola, não apresentou influência pelas doses de adubação nitrogenada (Figura 10D). De acordo com Crusciol et al. (2007), a massa de 100 grãos é a característica que apresenta a menor variação percentual, em função das alterações no meio de cultivo. Soratto et al. (2004) verificaram que doses de N não causam grande variação na massa de 100 grãos. Resultados semelhantes também foram encontrados por Arf et al. (1999), que, trabalhando com diferentes doses e parcelamento da adubação nitrogenada em cobertura na cultura do feijão de inverno, em sistema plantio direto, verificaram que não houve efeito significativo para a variável avaliada.

Resultados obtidos por Teixeira et al. (2000) discordam mostrando evidências da influência de doses crescentes de N em cobertura, em cultivo realizado na época das águas, seca e inverno, porém, em sistema convencional de preparo do solo. Contraria também aos resultados observados por Stone e Moreira (2001), que, em quatro anos de estudo, em sistema plantio direto, encontraram efeitos linear e quadrático de doses de N em cobertura sobre a massa de 100 grãos.

A produtividade de grãos aumentou de forma quadrática, com os acréscimos das doses de N utilizadas (Figura 10E). Por essa equação, tem-se um aumento inicial na produtividade de grãos, atingindo um máximo com a dose estimada de 169 kg ha<sup>-1</sup> de N, ocorrendo em seguida um decréscimo mínimo na dose mais alta, evidenciando que o feijoeiro responde a altas doses de N em sistemas irrigados quando cultivado sobre gramíneas. Estes resultados concordam com os obtidos por Soratto et al. (2004) que obteve efeito quadrático na produtividade de grãos de feijão com a aplicação de N em cobertura cultivado em plantio direto com produtividade máxima alcançada na dose estimada de 182 kg ha<sup>-1</sup> de N. Kikuti et al. (2005) observaram maiores produtividades do feijoeiro de inverno com doses de 170 kg ha<sup>-1</sup> e 144 kg ha<sup>-1</sup> de N em diferentes anos. Soratto et al.

(2005), Soratto et al. (2006) e Crusciol et al. (2007) também verificaram aumento da produtividade do feijoeiro cultivado em sistema plantio direto, mediante a aplicação de N em cobertura. Segundo Pelegrin et al. (2009), a variabilidade nas respostas do feijoeiro às doses de N, nos diferentes experimentos, tem sido verificada especialmente em função dos níveis de fertilidade do solo e outras técnicas empregadas nos sistemas produtivos, destacando-se o uso de sistemas de irrigação.

Deve-se ressaltar que o tratamento controle (sem aplicação de N) apresentou produtividade de grãos elevada (Figura 10E), fato que pode ser atribuído ao fornecimento do N pelo solo, principalmente aos altos teores de N inorgânico disponíveis durante todo o ciclo da cultura (Figuras 2 e 3). De acordo com Lamothe (1994), em condições climáticas normais, a concentração de  $\text{N-NO}_3^-$  no solo entre as camadas de 0,0 a 0,40 m inferior a  $15 \text{ mg dm}^{-3}$  de solo reflete baixo poder de suprimento de N pelo solo, que se relaciona com baixas produtividades de grãos, sendo necessária assim, a adição de N através de fertilizantes.

#### **f) Correlações entre as características avaliadas**

Houve correlações lineares e positivas entre os valores dos IRC e o teor de N foliar, em todas as folhas avaliadas como folha diagnose e em todas as épocas de amostragem (Tabela 5). Por esse comportamento observa-se que à medida que se aumentou o teor de N nas folhas, as leituras dos IRC aumentaram linearmente. A correlação entre as leituras do clorofilômetro e o teor de N é atribuída, principalmente, ao fato de que 50 a 70% do N total das folhas serem integrantes do conteúdo de clorofila das folhas (CHAPMAN; BARRETO, 1997).

Os maiores índices de correlação entre o IRC e o teor de N foliar foram observados na folha mais velha na fase inicial de desenvolvimento do feijoeiro, ou seja, na segunda folha completamente expandida a partir do ápice e, nas amostragens realizadas aos 28 e 35 DAE. Observa-se que a terceira folha completamente expandida apresentou os maiores valores de correlação entre o IRC e o teor de N foliar (0,89 e 0,81) (Tabela 5). Assim, a terceira folha completamente expandida a partir do ápice foi definida como a melhor posição para a mensuração da necessidade de N pelo feijoeiro cultivar Pérola. Nas amostragens realizadas aos 28 DAE na terceira folha completamente expandida foram determinadas correlações lineares positivas entre o IRC e a massa de

matéria seca da parte aérea N acumulado e produtividade de grãos (Tabela 5). Em estádios anteriores, quando a terceira folha ainda não existir, a folha mais velha presente na planta é a indicada como folha diagnose.

**Tabela 5.** Coeficientes de correlação linear simples entre o índice relativo de clorofila e teor de N foliar determinados de cada época de avaliação e folha diagnóstica e a massa de matéria seca (MMS) da parte aérea, teor de N na parte aérea, quantidade de N acumulado na parte aérea no estádio R6 e produtividade de grãos do feijoeiro cultivar Pérola.

Variável	Teor de N foliar	MMS da parte aérea	Teor de N na parte aérea	Quantidade de N acumulado	Produtividade de grãos
1ª leitura (14 DAE) – 1ª Folha					
IRC	0,68**	0,70**	0,53*	0,75***	0,44*
Teor de N	-	0,82**	0,42*	0,80***	0,72***
2ª leitura (21 DAE) – 1ª Folha					
IRC	0,79**	0,77***	0,48*	0,75***	0,59**
Teor de N	-	0,83***	0,63**	0,89***	0,61**
2ª leitura (21 DAE) – 2ª Folha					
IRC	0,80**	0,64**	ns	0,63**	0,48*
Teor de N	-	0,93**	0,63**	0,91**	0,64**
3ª leitura (28 DAE) – 1ª Folha					
IRC	0,75**	0,70**	ns	0,71***	0,61**
Teor de N	-	0,60**	ns	0,60**	ns
3ª leitura (28 DAE) – 2ª Folha					
IRC	0,80***	0,76**	ns	0,72***	0,56*
Teor de N	-	0,49*	ns	0,55*	ns
3ª leitura (28 DAE) – 3ª Folha					
IRC	0,89***	0,76***	ns	0,79***	0,64**
Teor de N	-	0,69**	0,47*	0,78***	ns
4ª leitura (35 DAE) – 1ª Folha					
IRC	0,72***	ns	ns	ns	ns
Teor de N	-	ns	0,53*	ns	ns
4ª leitura (35 DAE) – 2ª Folha					
IRC	0,77***	ns	ns	ns	ns
Teor de N	-	0,51*	ns	ns	ns
4ª Leitura (35 DAE) – 3ª Folha					
IRC	0,81***	0,51*	ns	0,50*	ns
Teor de N	-	ns	ns	ns	ns

\*, \*\*, \*\*\* e ns são, respectivamente, significativos a 5%, 1%, 0,1% e não significativo pelo teste t.

### 6.1.2. Cultivar IPR Eldorado

#### a) Nitrogênio total e nitrogênio inorgânico (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) no solo

Os teores de N total determinados na camada de 0,0-0,20 m de profundidade, antes da instalação do experimento, apresentaram-se altos (Tabela 6), o que pode estar relacionado ao fato de que mais de 95% do N total presente no solo estar na forma orgânica (CAMARGO et al., 1999), e os maiores teores de matéria orgânica são encontrados nas camadas mais superficiais do solo. Estes resultados concordam com os

teores de matéria orgânica presentes no solo do experimento em estudo, ou seja, de 34 g  $\text{dm}^{-3}$ , em camada superficial, que de acordo com Fageria (2004) se encontram na faixa de médio teor.

**Tabela 6.** Teores de N total, N-amoniacoal ( $\text{N-NH}_4^+$ ) e N-nítrico ( $\text{N-NO}_3^-$ ), no perfil do solo (0,0-0,20 m e 0,20-0,40 m), determinados em amostras coletadas na área do experimento antes da semeadura da cultura do feijão.

Profundidade (m)	N total	$\text{N-NH}_4^+$ ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	$\text{N-NO}_3^-$
0,0-0,20	1581,9	47,4	38,0
0,20-0,40	1204,6	45,4	23,0

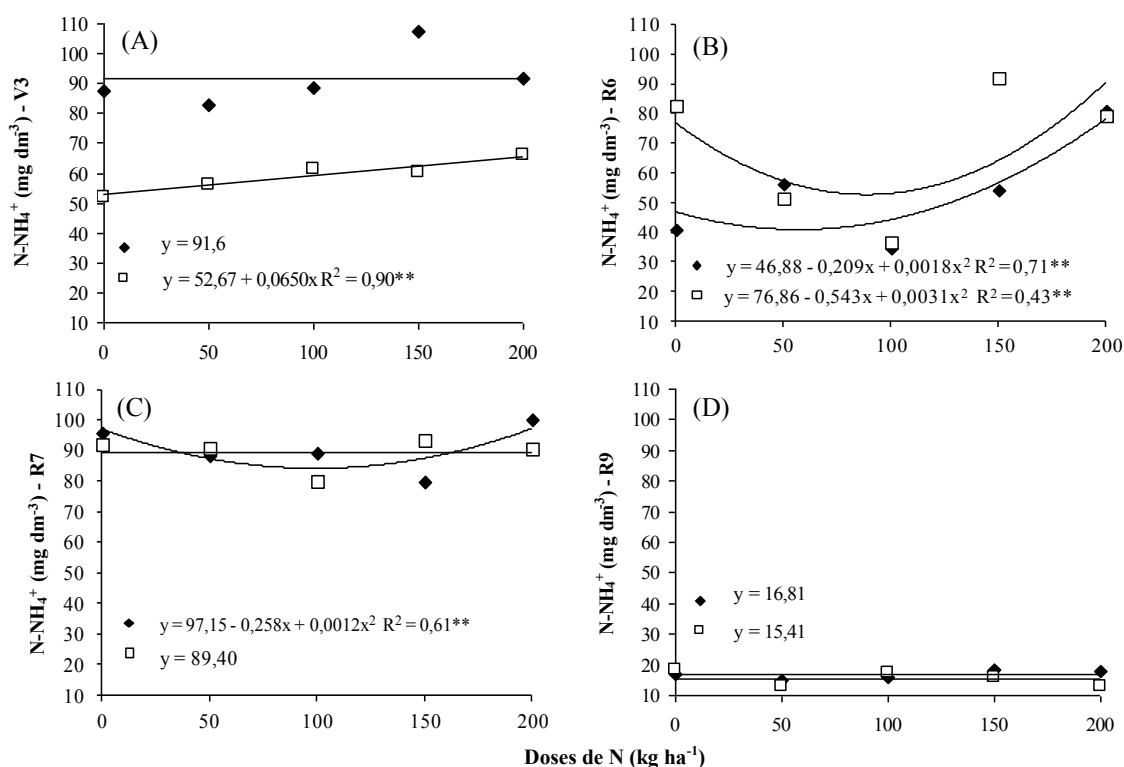
O teor de  $\text{N-NH}_4^+$  foi superior ao de  $\text{N-NO}_3^-$  nas duas profundidades (Tabela 6), provavelmente em função do pH baixo do solo (pH 4,7), fator que pode limitar a taxa de nitrificação de acordo (HAYNES, 1986). Segundo Moreira e Siqueira (2006), o processo de nitrificação é mediado pelas bactérias dos gêneros *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*, sendo esse processo muito sensível a valores de pH menores que 6,0 e nulas em pH menor que 4,5. A intensidade da nitrificação, que, em última instância, determina a disponibilidade de nitrato no sistema solo-planta, varia tanto com o grau de fertilidade do solo quanto com a molécula carreadora de N, e as maiores taxas de nitrificação têm sido obtidas nos solos onde se procede a correção da acidez do solo (HAYNES, 1986; KREUTZER, 1995).

Na amostragem realizada no estágio V3, observa-se um efeito linear nos teores de  $\text{N-NH}_4^+$  com a aplicação das doses de N no solo na camada de 0,20-0,40 m (Figura 11A), alcançando teor máximo de N-amoniacoal com a máxima dose aplicada ( $200 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Esse resultado pode ser explicado pelo fato de nessa época, quatro dias antes da amostragem, ter sido realizada a primeira adubação de cobertura com N, o que provocou aumento nos teores desse nutriente no solo em profundidade.

No estágio R6 do feijoeiro, nas duas camadas (Figura 11B), os teores de  $\text{N-NH}_4^+$  mostraram-se em efeito um efeito quadrático no teor de N-amoniacoal à aplicação do N, porém, o teor máximo foi atingido na dose de  $200 \text{ kg ha}^{-1}$ . Em R7, os teores de  $\text{N-NH}_4^+$  na camada de 0,0-20 m apresentou um aumento quadrático à aplicação do N no solo até a dose máxima de  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  e não houve efeito das doses sobre o teor de

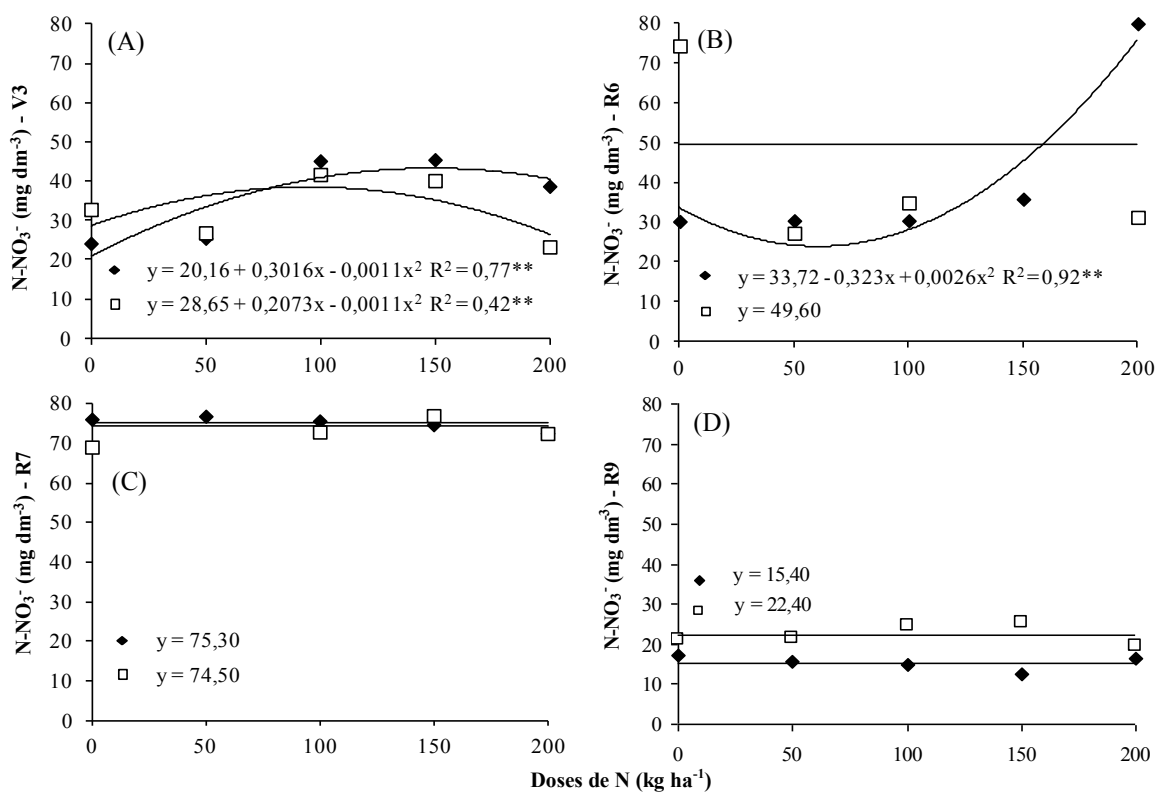
N-amoniaco na camada de 0,20-0,40 m, no qual obteve como média 89,40 mg de  $\text{N-NH}_4^+$   $\text{dm}^{-3}$  (Figura 11C).

Nas camadas de 0,0-0,20 m e 0,20-0,40 m, na amostragem em R9, não houve efeito das doses de N sobre os teores de  $\text{N-NH}_4^+$ , na qual as médias calculadas foram de 16,81 e 15,41 mg  $\text{dm}^{-3}$ , respectivamente (Figura 11D). Os menores teores de  $\text{N-NH}_4^+$  no solo foram observados na amostragem realizada no final do ciclo da cultura do feijão (R9), o que pode estar relacionado com o processo de nitrificação do N-amoniaco. Geralmente, o N-amoniaco no solo é rapidamente absorvido por microrganismos e incorporado à biomassa microbiana e rapidamente oxidado a  $\text{N-NO}_3^-$  (SCHIMIDT, 1982). Ou ainda à imobilização do N, em função da lenta decomposição dos resíduos vegetais com o passar do tempo e alto teor de N acumulado na massa de matéria seca da cobertura vegetal presente no solo principalmente nas avaliações realizadas no final do ciclo (Figuras 14A e 14B).



**Figura 11.** Teores de N-amoniaco ( $\text{N-NH}_4^+$ ) nas camadas de 0,0-0,20 m (◆) e 0,20-0,40 m (□) do solo, avaliados aos 14 DAE (A), aos 21 DAE (B), aos 28 DAE (C) e aos 35 DAE (D), em função das doses de N aplicadas. \*\*  $p < 0,01$ .

A aplicação das doses de N no solo proporcionou aumento quadrático nos teores de N-nítrico na amostragem realizada em V3, nas duas profundidades de solo avaliadas (Figura 12A). O teor máximo na camada de 0,0-0,20 m foi alcançado com a aplicação da dose de 104 kg ha<sup>-1</sup> de N e na camada de 0,20-0,40 m com a dose estimada de 151 kg ha<sup>-1</sup> de N. Provavelmente esse efeito inicial das doses ocorreu pela aplicação do adubo nitrogenado em cobertura dias antes da determinação do N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> no solo. A disponibilidade do N do fertilizante pode ser aumentada através de aplicações parceladas do adubo durante o período de crescimento das plantas (CARDOSO NETO et al., 2006).



**Figura 12.** Teores de N-nítrico (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) nas camadas de 0,0-0,20 m (◆) e 0,20-0,40 m (□) do solo, determinados nos estádios V3 (primeira folha trifoliolada completamente expandida) (A), R6 (florescimento pleno) (B), final de R7 (Formação e crescimento de vagens) (C) e R9 (colheita de grãos) (D) do feijoeiro cultivar IPR Eldorado, em função das doses de N aplicadas. \*  $p < 0,05$  e \*\*  $p < 0,01$ .

Em R6, na camada de 0,0-0,20 não houve efeito das doses de N sobre os teores de N-nítrico, e a média dos tratamentos foi de 49,60 mg dm<sup>-3</sup> (Figura 12B). Contudo na camada de 0,20-0,40 m houve efeito quadrático das doses e o máximo teor

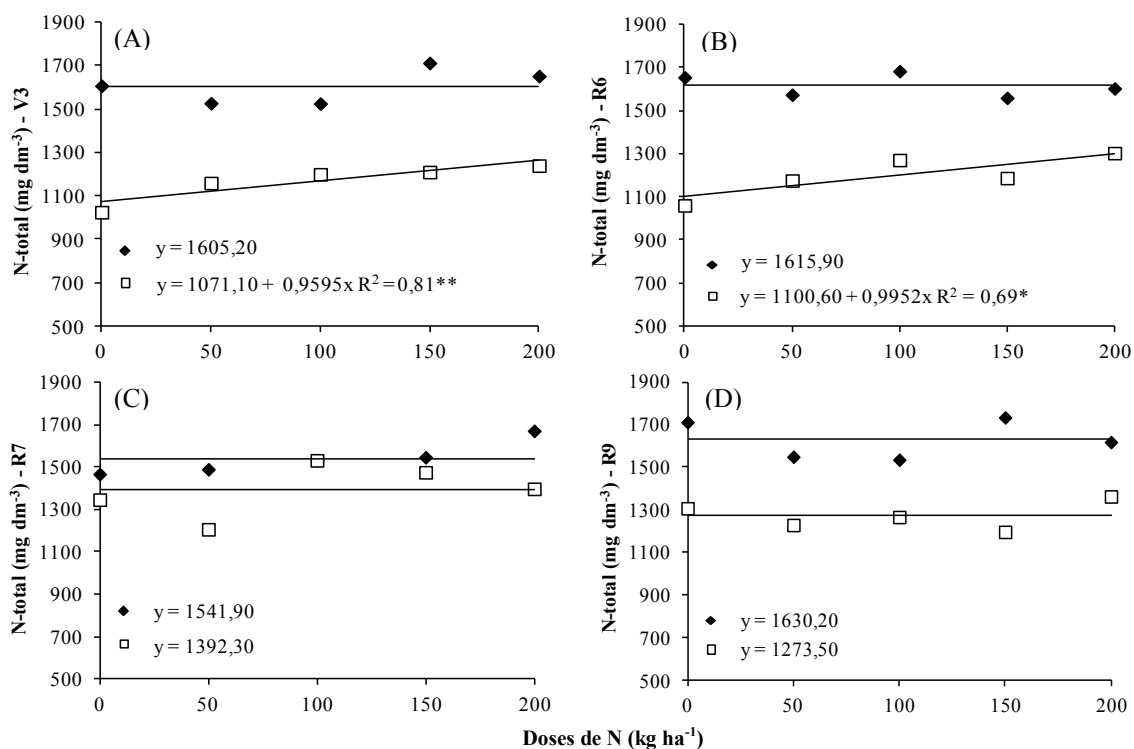
encontrado foi na dose de 200 kg de N ha<sup>-1</sup>. Nas amostragens realizadas em R7 e R9 não houve efeito das doses de N aplicadas nos teores de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, e as médias dos tratamentos para as camadas de 0,0-0,20 m e 0,20-0,40 m em R7 foram de 75,30 e 74,50, respectivamente e para as amostragens realizadas em R9 foram de 15,40 e 22,40 mg dm<sup>-3</sup> de solo, respectivamente (Figura 12C e 12D).

Os teores de N-nítrico no solo aumentaram até a avaliação realizada no estágio R7 (Figura 12C), provavelmente isso se deve ao processo de nitrificação do N-amoniaco, porém, houve redução dos teores de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> no final do ciclo (R9), o que pode ser devido à imobilização desse nutriente por microrganismos presentes no solo. De acordo com Schimidt (1982) o N-nítrico é passível de redução assimilatória após a nitrificação e, desse modo, pode ser imobilizado por microrganismos.

Observa-se que durante o ciclo da cultura, os teores de N-nítrico encontrados nas duas camadas do solo foram muito parecidos e a profundidade de 0,20-0,40 m apresentou teores ligeiramente acima da camada mais superficial (Figura 12). Isso pode ser explicado pela maior absorção de N na forma de nitrato disponível na região radicular pela cultivar IPR Eldorado.

De acordo com Lane e Bassirad (2002), a existência de formas preferenciais de N na absorção pelas plantas está associada a fatores intrínsecos às espécies vegetais e cultivares, dentre os quais, processos fotossintéticos, estágio de crescimento e repartição na formação da biomassa. De maneira geral, quando se compara os teores de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (Figura 11) com os teores de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (Figura 12), observa-se que os teores de N-amoniaco foram superiores aos teores de N-nítrico no solo, fato que pode ser atribuído provavelmente ao pH do solo estar ácido (pH 4,7) fator que pode limitar o processo de nitrificação (VERDADE, 1951).

Os teores de N total no solo na camada de 0,0-0,20 m não foram afetados pelas doses de N aplicadas em todas as datas de amostragens (Figura 13). De maneira geral, independente da época amostrada nessa profundidade, a média dos tratamentos variou de 1541,9 a 1630,2 mg dm<sup>-3</sup>, valores estes que estão dentro da faixa de suficiência citada por Sá (1996).



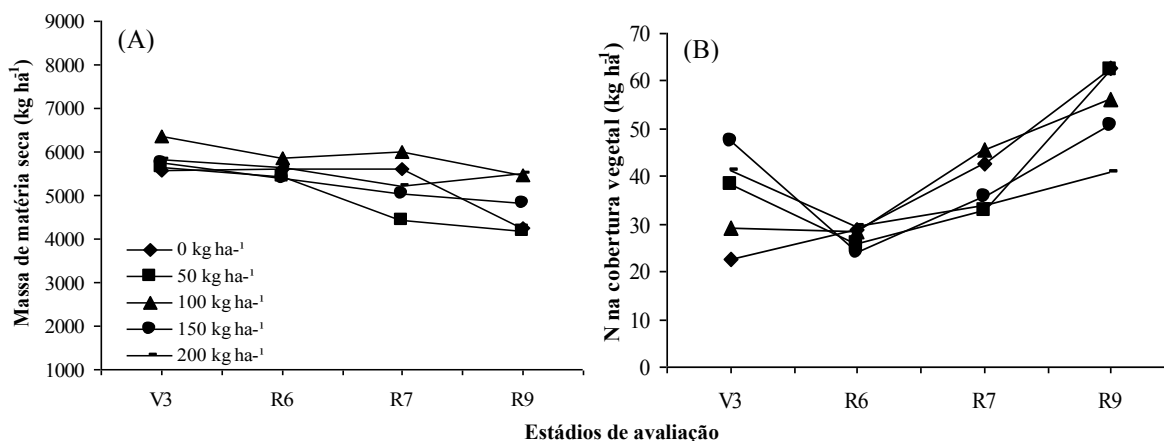
**Figura 13.** Teores de N total nas camadas de 0,0-0,20 m (◆) e 0,20-0,40 m (□) do solo, determinados nos estádios V3 (primeira folha trifoliolada completamente expandida) (A), R6 (florescimento pleno) (B), final de R7 (Formação e crescimento de vagens) (C) e R9 (colheita de grãos) (D) do feijoeiro cultivar IPR Eldorado, em função de doses de N aplicadas. \*  $p < 0,05$  e \*\*  $p < 0,01$ .

### b) Persistência e liberação de N da palhada

A massa de matéria seca da cobertura vegetal, avaliada em pré-semeadura, presente na área era de 5.442 kg ha<sup>-1</sup>, e a quantidade de N acumulada no tecido vegetal era de 42,9 kg ha<sup>-1</sup>. Observa-se que a massa de matéria seca da cobertura vegetal no decorrer das avaliações não sofreu grandes alterações, ou seja, a palhada da cobertura vegetal se decompôs mais lentamente e de forma mais contínua e uniforme ao longo do tempo dentro dos tratamentos aplicados (Figura 14). Materiais com alta relação C/N, como a palhada de milho (C/N=64), sofrem decomposição mais lenta (SILVA; RESCK, 1997). A taxa de decomposição dos resíduos vegetais é controlada pelas características qualitativas do material vegetal, como a relação C:N e o teor de lignina, além do manejo da palha e do tamanho dos fragmentos (BORTOLUZZI; ELTZ, 2000).

O experimento com a cultivar IPR Eldorado foi conduzido sobre área anteriormente ocupada pela sucessão milho/aveia preta/milho, o que contribuiu para alta relação C/N do material vegetal presente. Geralmente gramíneas apresentam

quantidades relativamente elevadas de fitomassa, caracterizada pela alta relação C/N, o que pode aumentar a persistência da cobertura vegetal no solo (PERIN et al., 2004). O emprego de gramíneas pode amenizar a perda de N, mediante a reciclagem e imobilização em sua fitomassa, ao mesmo tempo e que sua baixa taxa de decomposição, favorecida pela alta relação C/N, confere cobertura mais prolongada do solo (LARA CABEZAS et al., 2004; PERIN et al., 2004).



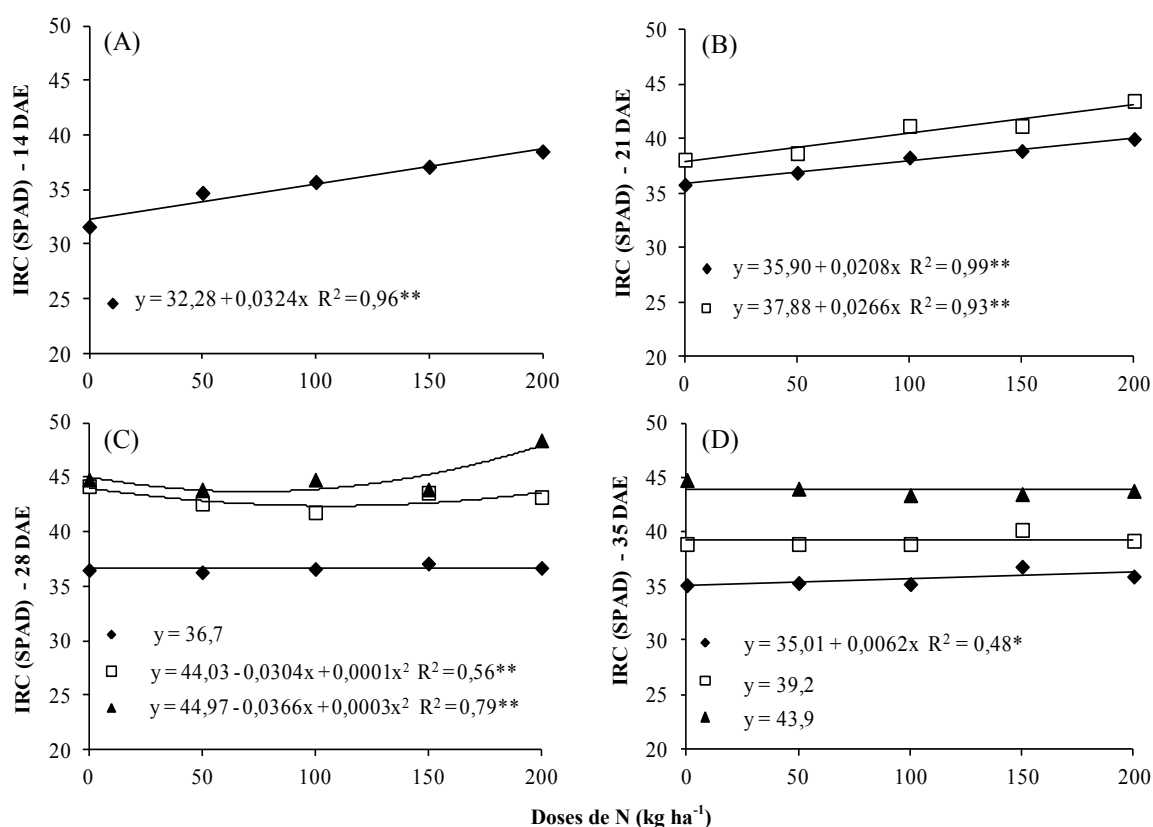
**Figura 14.** Massa de matéria seca (A) e quantidade de N acumulada na cobertura vegetal (B), avaliados nos estádios V3 (primeira folha trifoliolada completamente expandida), R6 (florescimento pleno), final de R7 (Formação e crescimento de vagens) e R9 (colheita de grãos) do feijoeiro cultivar IPR Eldorado, em função das doses de N aplicadas.

A quantidade de N acumulado na cobertura vegetal apresentou ligeira queda durante a avaliação realizada em R6 (florescimento pleno do feijão) (Figura 14B), provavelmente pelo fato de que nessa época a utilização de N pela cultura foi mais alta e a quantidade de N disponível para a planta foi utilizada para suprimento de efeitos metabólicos reprodutivos desse estágio.

Observa-se que o N na cobertura vegetal aumentou após o estágio R6 em todos os tratamentos estudados, ou seja, houve imobilização do N, principalmente pelo fato de a decomposição do resíduo ter sido lenta no decorrer do tempo (Figura 14A). Quanto maior a quantidade acumulada do nutriente no resíduo em processo de degradação, menor foi sua quantidade disponibilizada para o solo, ou seja, o comportamento entre essas duas variáveis é inversamente proporcional.

### c) Índice relativo de clorofila e teor de N foliar

Os índices relativos de clorofila determinados aos 14 DAE e 21 DAE na primeira e segunda folhas completamente expandidas partir do ápice aumentaram concomitantemente ao acréscimo de N no solo (Figura 15A e 15B). Estudo realizado por Toso et al. (2011) demonstrou que o aumento da disponibilidade de N no meio radicular elevou o valor da leitura de clorofila em plantas de feijoeiro cultivar Pérola, indicando que a maior disponibilidade de N aumenta a absorção e assimilação desse nutriente pela planta.



**Figura 15.** Índices relativos de clorofila (IRC) determinados na primeira (◆), segunda (□) e terceira (▲) folhas completamente expandidas a partir do ápice do feijoeiro cultivar IPR Eldorado, avaliados aos 14 DAE (A), aos 21 DAE (B), aos 28 DAE (C) e aos 35 DAE (D), em função de doses de N aplicadas. \*  $p < 0,05$  e \*\*  $p < 0,01$ .

Nas leituras realizadas aos 28 DAE (Figura 15C), apenas a segunda e terceira folhas responderam à aplicação das doses de N, sendo que as médias das leituras realizadas na primeira folha foram de 36,7, e aos 35 DAE apenas a primeira folha apresentou incremento linear com a aplicação das doses de N, e as médias dos IRC da segunda e terceira folha foram de 39,2 e 43,9, respectivamente (Figura 15D).

Pode-se observar que a terceira folha completamente expandida apresentou maiores leituras de IRC em comparação às demais folhas nas avaliações realizadas aos 28 e 35 DAE (Figuras 15C e 15D). Os baixos índices relativos de clorofila determinados na primeira e segunda folha completamente expandida podem indicar teores mais baixos de clorofila, pois, folhas mais jovens apresentam maiores teores de nitrogênio na forma de  $N-NO_3^-$  livre, e nessa forma o N não se associa à molécula de clorofila e, portanto, não é quantificado pelo clorofilômetro (DWYER, 1995).

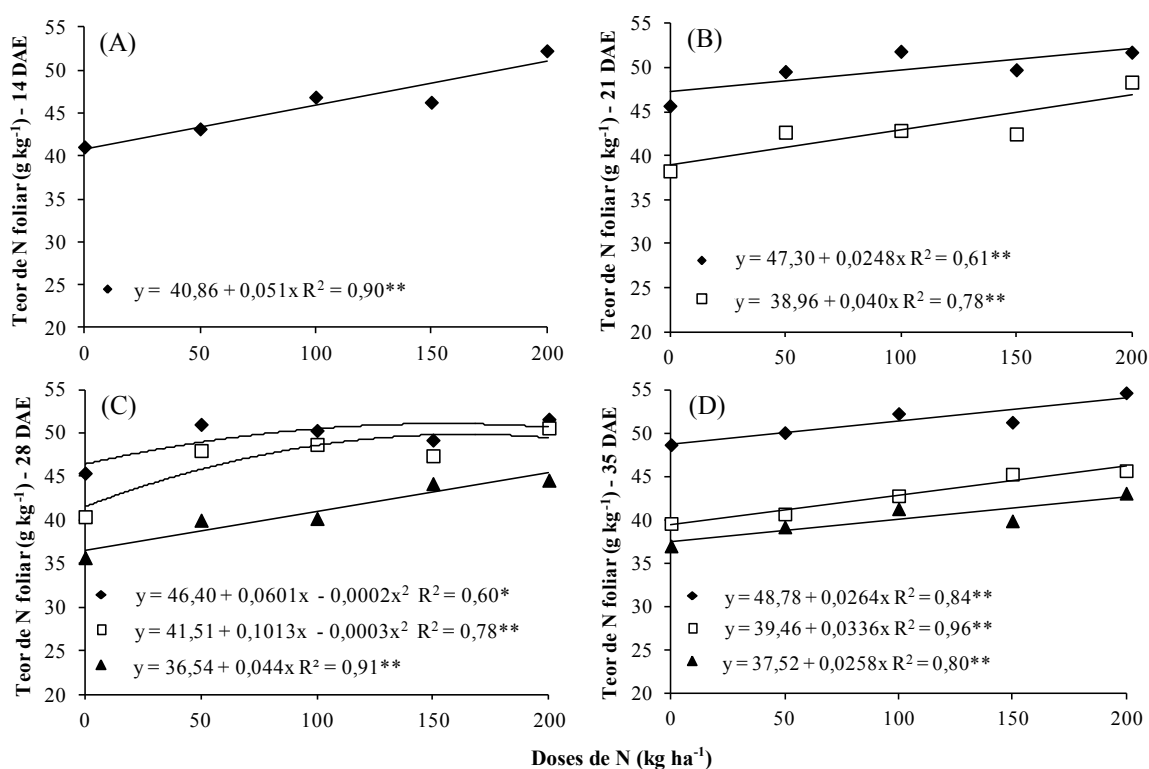
Além disso, a clorofila é constantemente sintetizada e destruída (foto-oxidação) em presença de luz, mas sob intensidades luminosas muito altas, a velocidade de decomposição da clorofila é maior, sendo o equilíbrio estabelecido a uma concentração mais baixa desse pigmento (KRAMER; KOZLOWSKI, 1979). Por isto, Boardman (1977) salientou que as folhas de sombra apresentam maior concentração de clorofila do que folhas de sol. Toso et al. (2011) observaram diferença no teor de clorofila obtido com clorofilômetro, em folhas em diferentes fases fisiológicas, ou seja, folhas velhas, aquelas situadas na base da planta e sem sinais de senescência, apresentaram teor de clorofila mais elevado até a fase de floração, seguido de folhas médias, aquelas situadas em posição intermediária a novas e velhas, e novas, aquelas situadas no ápice da planta.

No que se refere ao teor de N foliar, houve diferença significativa entre as doses utilizadas, e os teores de N, em todas as folhas avaliadas, aumentaram com a aplicação do N (Figura 16). Vale salientar que os valores encontrados, no presente trabalho, situaram-se dentro da faixa de suficiência indicada por Malavolta et al. (1997) e Ambrosano et al. (1997), e acima do nível crítico de  $30 \text{ g kg}^{-1}$ , mesmo na ausência de adubação nitrogenada, o que pode ter ocorrido devido ao alto teor de N total e inorgânico presente no solo e disponíveis para a planta.

Na avaliação realizada aos 14, 21 e 35 DAE (Figuras 16A, 16B e 16D) os teores de N nas folhas estudadas aumentaram de forma linear, atingindo o máximo teor na dose máxima estudada, evidenciando que mesmo na maior dose utilizada ( $200 \text{ kg ha}^{-1}$ ), não foi suficiente para fornecer todo o N requerido pela cultura.

Aos 28 DAE, apenas a terceira folha completamente expandida respondeu de forma linear à aplicação do N, atingindo o máximo teor na máxima dose aplicada, e as demais folhas apresentaram um comportamento quadrático à aplicação de N até a dose calculada de  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  para a primeira folha e  $169 \text{ kg ha}^{-1}$  para a segunda folha completamente expandida (Figura 16D).

Em todas as datas de avaliação a primeira folha completamente expandida apresentou os maiores teores de N foliar quando comparada com as demais folhas (Figura 16). A redução no teor de N sugere uma redistribuição desse nutriente das folhas fontes ou mais velhas (terceira folha completamente expandida) para regiões de crescimento da planta, evidenciando, dessa maneira a alta capacidade de redistribuição desse nutriente (TAIZ; ZEIGER, 2009). Assim, as folhas mais velhas ou de posição mais baixa na planta apresentam sensível resposta às condições de deficiência de N do que as folhas mais novas.



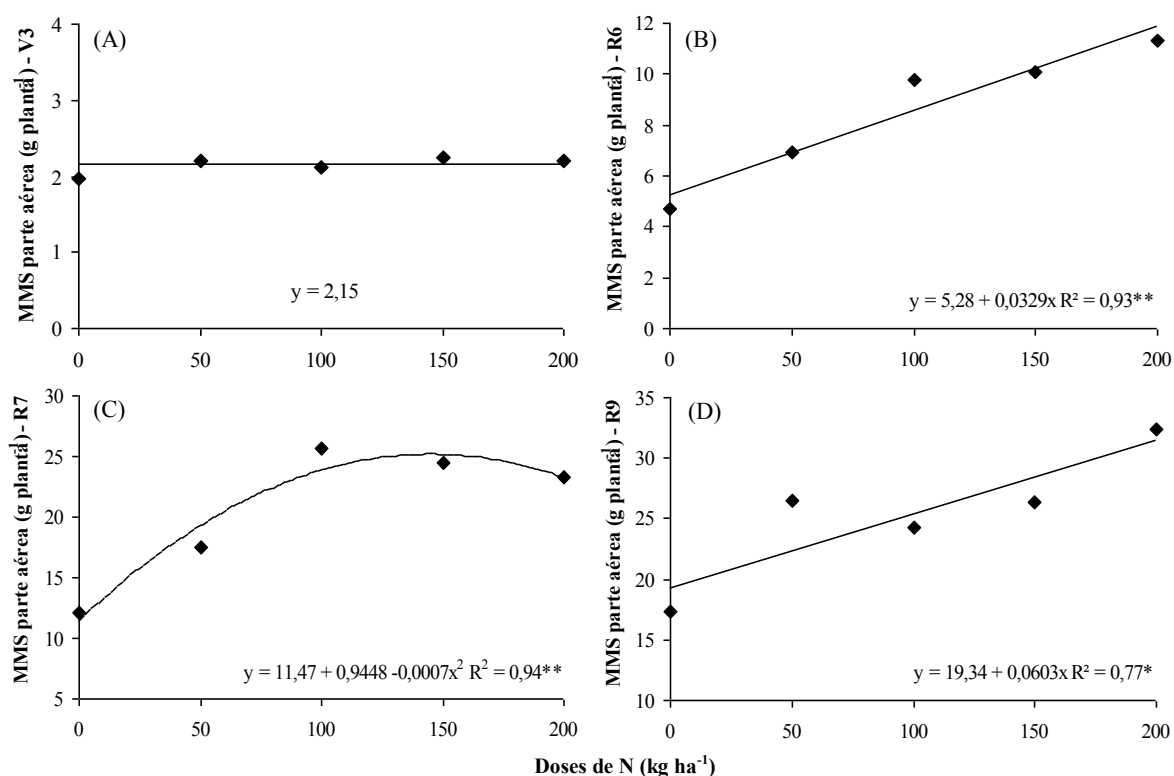
**Figura 16.** Teores de N foliar determinado na primeira (◆), segunda (□) e terceira (▲) folhas completamente expandidas a partir do ápice do feijoeiro cultivar IPR Eldorado, avaliados aos 14 DAE (A), aos 21 DAE (B), aos 28 DAE (C) e aos 35 DAE (D), em função de doses de N aplicadas. \*  $p < 0,05$  e \*\*  $p < 0,01$ .

#### d) Massa de matéria seca da parte aérea, teor de N e quantidade de N acumulado na massa de matéria seca da parte aérea

Houve efeito das doses de N aplicadas ao solo na massa de matéria seca da parte aérea do feijoeiro cultivar IPR Eldorado, nas avaliações realizadas em R6, R7 e R9 (Figuras 17B, 17C e 17D). O aumento da massa de matéria seca da parte aérea,

provavelmente, está relacionado com o maior teor de N total nas folhas proporcionado pelas maiores doses de N aplicado (CRUSCIOL et al., 2007; SORATTO et al., 2004; 2014), o que pode ser verificado no presente experimento, pois os teores foliares acumulados de N aumentaram com o acréscimo das doses de N (Figura 16). O N pode aumentar o teor de clorofila e o índice de área foliar e, conseqüentemente, os níveis de fotossíntese líquida, que resulta em maior acúmulo de matéria seca na parte aérea.

Na avaliação realizada no estágio V3 (primeira folha trifoliolada completamente expandida) não houve efeito das doses sobre a massa de matéria seca da parte aérea (Figura 17A). Isto pode ser explicado pelo fato de que o crescimento inicial do feijoeiro ser caracterizado por uma fase mais lenta de crescimento, e que nessa fase a taxa de absorção de água e nutrientes é muito pequena para ativar os processos fisiológicos do crescimento, que exigem atividades metabólicas aceleradas, e essa fase dura até os 25-30 DAE (GOMES et al., 2000).

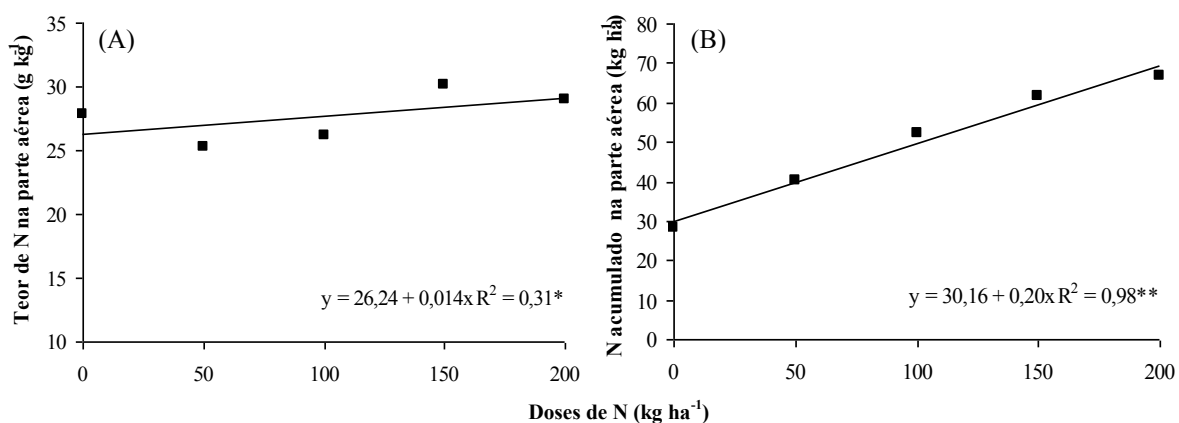


**Figura 17.** Massa de matéria seca (MMS) da parte aérea avaliada nos estádios V3 (primeira folha trifoliolada completamente expandida) (A), R6 (florescimento pleno) (B), final de R7 (Formação e crescimento de vagens) (C) e R9 (colheita de grãos) (D) do feijoeiro cultivar IPR Eldorado, em função das doses de N aplicadas. \*  $p < 0,05$  e \*\*  $p < 0,01$ .

A resposta da massa da matéria seca da parte aérea foi linear nos estádios R6 e R7 com o aumento das doses de N (Figuras 17B e 17C). Porém, no final no ciclo, durante o estágio R9 (Figura 17D), a resposta foi exponencial quadrática. Houve aumento da massa da matéria seca da parte aérea com o aumento da idade da planta durante o ciclo da cultura, o que pode estar associado com o aumento na área foliar, enchimento de vagens e grãos, e com crescimento das raízes e da maior disponibilidade de N.

Com o aumento das doses de N aplicado verificou-se aumento no teor de N na massa de matéria seca da parte aérea das plantas de feijão IPR Eldorado avaliados no florescimento pleno da cultura (Figura 18A). Carvalho et al. (2003) e Binotti et al. (2009) também observaram influência da aplicação de N em cobertura sobre o teor de N na parte aérea do feijoeiro.

A quantidade de N acumulada na parte aérea na cultivar IPR Eldorado, apresentou incrementos com a aplicação das doses de N (Figura 18B). Esse resultado comprova que o acúmulo máximo de nutrientes corresponde à disponibilidade e necessidade total do nutriente para a cultura. Stone e Moreira (2001) e Maia et al. (2012; 2013) verificaram incrementos na quantidade de N acumulada na parte aérea do feijoeiro com a aplicação da adubação nitrogenada.



**Figura 18.** Teor de N na massa de matéria seca da parte aérea (A) e quantidade de N acumulado na massa de matéria seca da parte aérea (B), determinados no florescimento pleno do feijoeiro cultivar IPR Eldorado, em função das doses de N aplicadas. \*  $p < 0,05$  e \*\*  $p < 0,01$ .

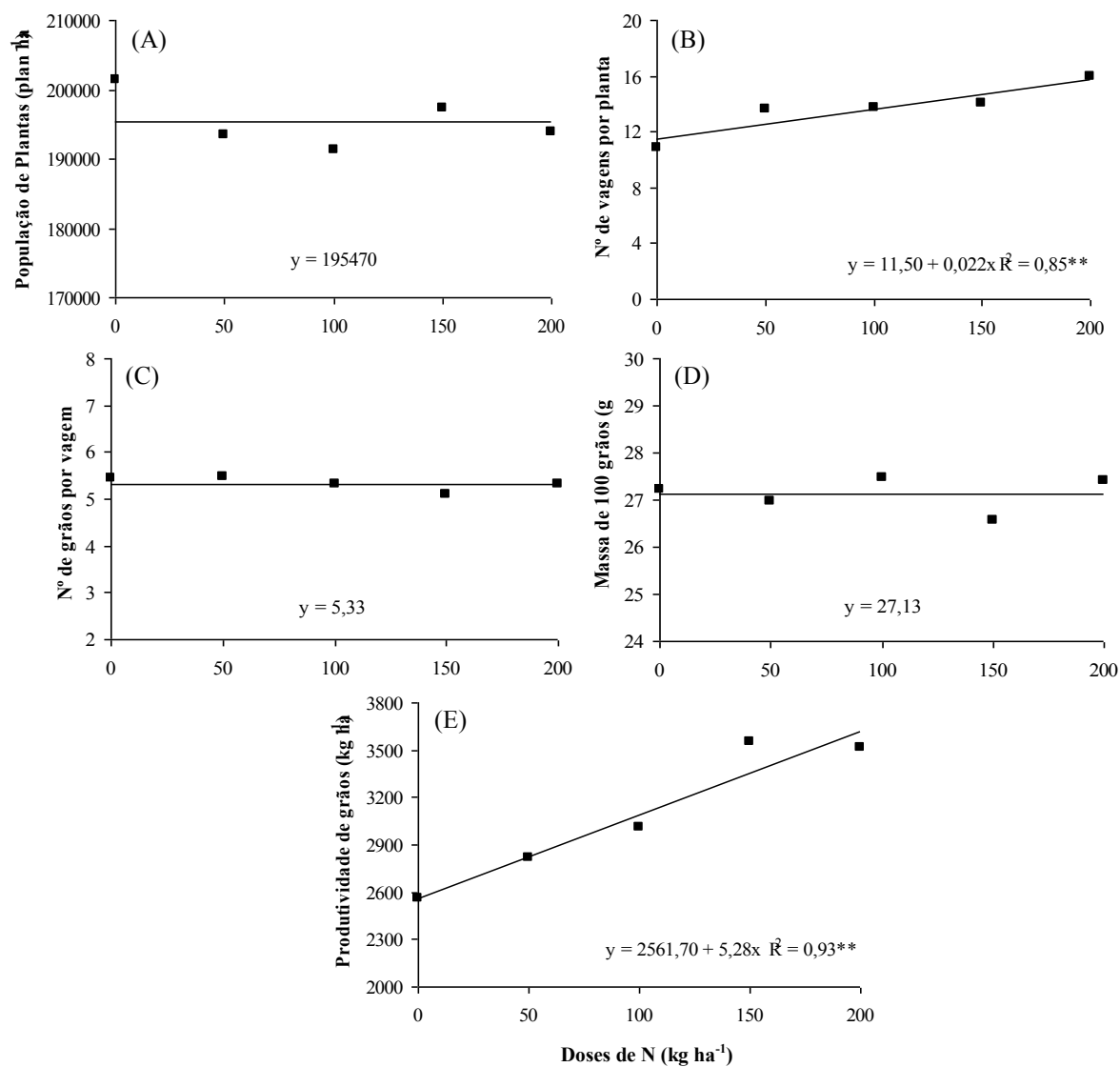
#### e) Componentes da produção e produtividade de grãos

Não foram verificados efeitos significativos das doses de N para a população final de plantas da cultivar IPR Eldorado (Figura 19A). Em média, a população final de plantas observada foi de 195.470 plantas ha<sup>-1</sup>, ou seja, cerca de nove plantas por metro de fileira. A população final de plantas ficou abaixo da preestabelecida na semeadura (333 mil plantas por hectare), provavelmente em razão de problemas no vigor das sementes e/ou com as condições de estabelecimento da cultura. Cultivares de hábito de crescimento indeterminado, não sofrem grande influência em termos de produtividade de grãos, com variações na densidade de plantas em um mesmo espaçamento entre as linhas de cultivo, por possuírem grande poder de compensação, e aumentar principalmente o número de vagens por planta (DEL PELOSO, 1990). Romanini Junior et al. (2007) e Binotti et al. (2010) também verificaram que a aplicação de N em cobertura em sistema plantio direto não influenciou a população final de plantas do feijoeiro. Segundo Kaneko et al. (2010), o estabelecimento da população de plantas depende preponderantemente das reservas da semente, da umidade adequada do solo, do baixo impedimento da camada de solo que as cobre e da ausência de ataque de patógenos e pragas de solo na fase inicial da cultura.

Para o número de vagens por planta houve efeito linear crescente em razão da aplicação de N (Figura 19B). Estes resultados comprovam, de certa forma, que a adubação nitrogenada exerce influência sobre as vagens do feijoeiro, e quando a planta apresenta deficiência desse nutriente produz menos flores e, conseqüentemente, menos vagens (SILVA et al., 2003; SORATTO et al., 2004). Segundo Silva et al. (2009) acréscimos de vagens por planta com o incremento de doses de N, aplicadas em cobertura, podem ocorrer devido à maior altura de plantas e/ou à maior emissão de ramos reprodutivos.

Não foram verificados efeitos significativos das doses de N no número de grãos por vagem e massa de 100 grãos (Figuras 19C e 19D). O número de grãos por vagem é uma característica de alta herdabilidade genética e, portanto, relacionada com a cultivar utilizada no cultivo e sofrendo pouca influência das práticas culturais (FERREIRA et al., 2000). Soratto et al. (2004) e Binotti et al. (2009), não obtiveram efeitos significativos no número de grãos por vagem com a utilização de doses de N aplicada em cobertura. Maia et al. (2012; 2013) também não obtiveram efeito no número de grãos por vagem com a aplicação de doses e manejos de N no feijoeiro. Para Soratto et al. (2004), doses de N não causam grande variação na massa de 100 grãos, e essa é uma

das características que apresenta pequena variação, em função das alterações no meio de cultivo.



**Figura 19.** População final de plantas (A), número de vagens por planta (B), número de grãos por vagem (C), massa de 100 grãos (D) e produtividade de grãos (E) do feijoeiro cultivar IPR Eldorado, em função das doses de N aplicadas. \*  $p < 0,05$  e \*\*  $p < 0,01$ .

Assim, em condições adversas, com restrição de N, a planta de feijão preferencialmente formará poucos grãos nas vagens fixadas ao invés de vários e mal formados grãos (SORATTO et al., 2005). Gomes Júnior et al. (2008) também não constataram diferença significativa para a massa de 100 grãos do feijoeiro quando submetido a doses e épocas de aplicação de N em sistema plantio direto. Maia et al. (2012;

2013) observaram que diferentes manejos de N em cobertura não influenciaram na massa de 100 grãos do feijoeiro. Arf et al. (2008) citaram que a massa dos grãos está mais relacionada com as características genéticas da cultivar utilizada.

As doses de N proporcionaram aumento linear na produtividade do feijoeiro (Figura 19E), o que está relacionada com o aumento linear da massa seca da planta, teor de N e número de vagens por planta. Verifica-se também que a aplicação do N não foi suficiente para que a cultivar atingisse a máxima produtividade. Este fato reforça a hipótese de que no sistema plantio direto em sucessão a gramíneas, a aplicação de doses de N mais elevadas pode proporcionar maiores produtividades (SORATTO et al., 2004). Barbosa Filho e Silva (2000), Stone e Moreira (2001) e Meira et al. (2005) verificaram resposta positiva do feijoeiro a adubações elevadas com doses acima de 140 kg ha<sup>-1</sup>. Kikuti et al. (2005), obtiveram incremento na produtividade do feijoeiro em feijoeiro de inverno, com doses de 170 kg ha<sup>-1</sup> e 144 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, em 2000 e 2002.

#### **f) Correlações entre as características avaliadas**

Houve correlação linear altamente significativa entre os IRC e o teor de N foliar nas datas de amostragem e nas folhas estudadas (Tabela 7), o que é justificado pelo fato desse elemento fazer parte da molécula de clorofila (MALAVOLTA et al., 1997), exceto para as leituras realizadas aos 28 DAE na primeira e segunda folha completamente expandidas, em função de haver pouca variação significativa nos valores especialmente de IRC nessa época de avaliação e nessas folhas avaliadas (Figura 15).

Ao se comparar as leituras dos IRC realizadas aos 28 e 35, épocas em que haviam as três folhas avaliadas como diagnose, observa-se que a terceira folha completamente expandida foi a que obteve maiores índices de correlação entre as leituras dos IRC e o teor de N na folha (Tabela 7).

O IRC da terceira folha aos 28 DAE também se correlacionou com a quantidade de N acumulado na matéria seca (Tabela 7). O teor de N na terceira folha completamente expandida aos 28 DAE teve alta correlação positiva com a massa de matéria seca da parte aérea, com a quantidade de N acumulado e com a produtividade de grãos.

**Tabela 7.** Coeficientes de correlação linear simples entre o índice relativo de clorofila e teor de N foliar determinados de cada época de avaliação e folha diagnóstica e a massa de matéria seca (MMS) da parte aérea, teor de N na parte aérea, quantidade de N acumulado na parte aérea no estádio R6 e produtividade de grãos do feijoeiro cultivar IPR Eldorado.

Variável	Teor de N foliar	MMS da parte aérea	Teor de N na parte aérea	Quantidade de N acumulado	Produtividade de grãos
1ª leitura (14 DAE) – 1ª Folha					
IRC	0,76***	0,78***	ns	0,76***	0,53*
Teor de N	-	0,75***	ns	0,73***	ns
2ª leitura (21 DAE) – 1ª Folha					
IRC	0,83***	0,84***	ns	0,79***	0,56*
Teor de N	-	0,84***	ns	0,71***	ns
2ª leitura (21 DAE) – 2ª Folha					
IRC	0,86***	0,82***	ns	0,81***	0,52*
Teor de N	-	0,78***	ns	0,80***	0,53*
3ª leitura (28 DAE) – 1ª Folha					
IRC	ns	ns	ns	ns	ns
Teor de N	-	0,68**	ns	0,62**	0,46*
3ª leitura (28 DAE) – 2ª Folha					
IRC	ns	ns	0,53	ns	ns
Teor de N	-	0,82***	ns	0,79**	0,48*
3ª leitura (28 DAE) – 3ª Folha					
IRC	0,47*	ns	ns	0,50*	ns
Teor de N	-	0,84***	ns	0,94**	0,68**
4ª leitura (35 DAE) – 1ª Folha					
IRC	0,44*	ns	0,48*	0,51*	ns
Teor de N	-	0,82***	ns	0,78***	ns
4ª leitura (35 DAE) – 2ª Folha					
IRC	0,61**	ns	0,45*	ns	ns
Teor de N	-	0,83***	0,53*	0,93***	0,61**
4ª Leitura (35 DAE) – 3ª Folha					
IRC	0,67**	ns	ns	ns	ns
Teor de N	-	0,75***	ns	0,79***	ns

\*, \*\*, \*\*\* e ns são, respectivamente, significativos a 5%, 1%, 0,1% e não-significativo pelo teste t.

Aos 35 DAE o teor de N foliar correlacionou-se com a matéria seca da parte aérea e quantidade de N acumulado na matéria seca (Tabela 7). Sendo assim, a terceira folha completamente expandida a partir do ápice, ou a folha mais velha quando a terceira ainda não existir, foram definidas como a folha diagnose para ser utilizada como folha diagnose para o manejo da adubação nitrogenada na segunda etapa desse trabalho.

## 6.2. Segunda Etapa - 2012

### 6.2.1. Cultivar Pérola

#### a) Nitrogênio total e nitrogênio inorgânico (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) no solo

Na safra “da seca” o teor de N total no solo, avaliado antes da semeadura do experimento com a cultivar Pérola, foi de 1487 mg dm<sup>-3</sup> na camada de 0,0-

0,20 m e de 1297 mg dm<sup>-3</sup> para a camada de 0,20-0,40 m (Tabela 8). Na safra “das águas” foi observado que o teor de N total disponível na camada de 0,0-0,20 m foi de 1629 mg dm<sup>-3</sup> e na camada de 0,20-0,40 m foi de 1369 mg dm<sup>-3</sup>. Vale ressaltar que nas duas safras os teores de N total no solo são mais elevados na camada de 0,0-0,20 m que na camada de 0,20-0,40 m, o que pode ser explicado pelo fato de que mais de 95% do N total estar na forma orgânica presente nas camadas superficiais do solo, e, esse nutriente segue o mesmo padrão de distribuição dos teores de carbono, com os maiores valores nas camadas superficiais, onde há o maior acúmulo de matéria orgânica (RANGEL et al., 2008).

Durante a safra “da seca” os teores de N-amoniaco e N-nítrico foram de 21,2 mg dm<sup>-3</sup> e 16,8 mg dm<sup>-3</sup> respectivamente, para a camada mais superficial do solo. Na camada de 0,20-0,40 m os teores de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> foram de 21,8 e 19,6 mg dm<sup>-3</sup>, respectivamente. Pode se observar que os teores de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> foram superiores aos teores de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> em ambas as camadas avaliadas. Na safra “das águas” observa-se que os teores de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> foram superiores aos de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> na camada de 0,0-0,20 m.

**Tabela 8.** Teores de N total, N-amoniaco (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) e N-nítrico (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) no perfil do solo (até 0,40 m de profundidade), determinado em amostras coletadas na área do experimento antes da semeadura da cultivar Pérola durante as safras “da seca” e “das águas”.

Profundidade (m)	N total		N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	
	Seca	Águas	Seca	Águas	Seca	Águas
0,0-0,20	1487,8	1629,5	21,2	25,5	16,8	18,3
0,20-0,40	1297,0	1369,1	21,8	14,6	19,6	22,3

O pH do solo da área experimental na duas safra estava abaixo de 5,0, o que pode ter promovido menor nitrificação pelas bactérias dos gêneros *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*, e esse processo é muito sensível a valores de pH abaixo de 6,0 e praticamente nulo em pH menor que 4,5 (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006). Silva e Vale (2000), estudando o efeito da calagem e de fontes e doses de N na disponibilidade de N-nítrico em solos brasileiros, mostraram, para a maioria dos solos, que o abaixamento do pH promoveu drástica redução da nitrificação e que, em pH de 4,9 a 5,2, pouco N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> foi formado.

Já os teores de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> na camada de 0,20-0,40 m, avaliados na safra “das águas” (Tabela 8), foram maiores que os valores da camada superficial, o que pode estar relacionado com a maior absorção de N na forma de nitrato disponível na região

radicular pela cultivar Pérola. De acordo com Lane e Bassirirad (2002), a existência de formas preferenciais de N na absorção pelas plantas está associada a fatores intrínsecos às espécies vegetais e cultivares, dentre os quais, processos fotossintéticos, estágio de crescimento e repartição na formação da biomassa.

Na avaliação realizada durante o florescimento pleno da cultivar Pérola observa-se que não houve efeito das doses de N aplicadas ao solo nos teores de N total, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> nas duas camadas estudadas durante a safra “da seca” (Tabela 9).

**Tabela 9.** Teores de N total, N-amoniacoal (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) e N-nítrico (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) no perfil do solo (até 0,40 m de profundidade), determinado em amostras coletadas na área experimental durante o florescimento pleno do feijoeiro cultivar Pérola, nas safras “da seca” e das “águas”.

Manejos do N	N total		N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	
	Seca	Águas	Seca	Águas	Seca	Águas
	(mg dm <sup>-3</sup> )					
	0,0-0,20					
M1	1472,0a	1619,0a	18,9a	26,3a	22,5a	22,3a
M2	1484,5a	1560,8a	19,1a	23,9a	24,4a	17,3ab
M3	1441,8a	1594,5a	22,2a	22,7a	21,9a	20,4a
M4	1501,5a	1568,0a	17,6a	23,9a	20,8a	17,9ab
M5	1422,3a	1494,5a	18,2a	17,8b	19,9a	22,3a
M6	1465,3a	1494,8a	18,4a	18,2b	21,1a	14,3b
CV (%)	7,0	4,7	12,6	9,2	17,5	13,3
	0,20-0,40					
M1	1113,5a	1133,0a	17,9a	19,9a	22,6a	29,9a
M2	1122,0a	1180,5a	17,8a	19,1a	17,5a	17,2bc
M3	1125,5a	1074,3a	18,1a	19,4a	18,5a	20,4b
M4	1083,3a	1136,3a	18,4a	16,3a	19,3a	18,1bc
M5	1008,8a	1083,8a	17,3a	15,6a	19,9a	14,9c
M6	1066,3a	1171,8a	18,9a	15,9a	17,2a	15,9bc
CV (%)	8,0	7,1	11,5	9,0	14,5	19,3

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. M1 = 40 + 80 + 80 kg ha<sup>-1</sup>, M2 = 20 + 40 + 40 kg ha<sup>-1</sup>, M3 = 20 + 30 kg ha<sup>-1</sup> quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 96%; M4 = 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + 30 kg ha<sup>-1</sup> quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 93%; M5 = 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + 30 kg ha<sup>-1</sup> quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 90% e, M6 = controle, sem aplicação de N.

Os teores de N total foram mais altos na profundidade 0,0-0,20 m (Tabela 9), o que se deve ao fato de que os teores de N, nas diferentes profundidades do solo, podem apresentar o mesmo padrão de distribuição dos teores de C, com os maiores

valores observados em camadas mais superficiais do solo, onde há maior acúmulo de MO. Os teores de N inorgânico não foram alterados quando se compara os valores dentro das camadas avaliadas. Verifica-se também baixa variância nos valores de  $\text{N-NO}_3^-$  entre as camadas, mostrando que, apesar da aplicação de altas doses de N ( $200 \text{ kg ha}^{-1}$ ), esse nutriente foi aproveitado pelas plantas, resultando em pequena lixiviação no perfil do solo.

Na safra “das águas” os manejos de N não influenciaram os teores de N total em ambas as profundidades de solo avaliadas (Tabela 9). Os valores de  $\text{N-NH}_4^+$  na camada de 0,0-0,20 m foram afetados pelos manejos de N aplicados no solo, ou seja, a aplicação de maiores doses de N proporcionou maiores quantidades desse nutriente. Porém na camada 0,20-0,40 m não houve efeito da aplicação dos manejos nos teores desse nutriente no solo. Vale ressaltar que a camada superficial do solo, diretamente em contato com o adubo, foi a que mostrou maior concentração de amônio, com essa concentração, em geral, diminuída com o aumento da profundidade. Isto indica que o amônio tendeu a se concentrar em torno da região de aplicação do adubo, concordando com o que foi observado por Rodrigues e Kiehl (1992). A presença de amônio nas camadas subsuperficiais mesmo que em menores concentrações, pode estar relacionada com a pequena movimentação dessa forma nitrogenada no perfil do solo (GONÇALVES et al., 2001).

#### **b) Quantidade de palhada na área e N acumulado na palhada**

A massa de matéria seca da cobertura vegetal, avaliada em pré-semeadura na safra da “seca”, era de  $4.300 \text{ kg ha}^{-1}$ , com acúmulo de N no tecido vegetal de  $29,6 \text{ kg ha}^{-1}$ . Durante a safra “das águas” a massa de matéria seca da cobertura vegetal, presente na área era de  $5.336 \text{ kg ha}^{-1}$ , com N acumulado no tecido vegetal de  $32,2 \text{ kg ha}^{-1}$ . Gonçalves et al. (2000) avaliando a decomposição e persistência de plantas de cobertura em sistema plantio direto após aplicação de doses de N, verificaram que a quantidade de matéria seca mantida no solo da sucessão de cultivo aveia-preta/milho foi de  $4.300 \text{ kg ha}^{-1}$  e o teor de N acumulado foi  $40 \text{ kg ha}^{-1}$ , além disso, esses autores citam que a aveia preta apresenta alta produção de matéria seca, porém apresenta-se entre aquelas com menores quantidades de resíduos acumulados sobre a superfície do solo evidenciando que, quando o milho é cultivado em sucessão à aveia, a contribuição de matéria seca do milho para o acúmulo de resíduos vegetais na superfície do solo é inferior.

**Tabela 10.** Massa de matéria seca e quantidade de N na cobertura vegetal avaliadas na área do experimento durante o florescimento do feijoeiro cultivar Pérola em função dos manejos da adubação nitrogenada durante as safras “da seca” e “das águas”.

Manejo do N	Matéria seca de cobertura vegetal		N acumulado na cobertura vegetal	
	Seca	Águas	Seca	Águas
	(kg ha <sup>-1</sup> )			
M1	4.485a	5.154ab	36,1ab	37,5a
M2	4.609a	5.738a	39,1a	37,5a
M3	4.288ab	4.582ab	35,5ab	32,9a
M4	3.904b	4.326ab	30,5ab	33,1a
M5	3.914b	4.022b	27,9b	26,7a
M6	4.254ab	4.086b	27,9b	24,9a
CV (%)	4,9	15,4	13,2	20,4

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. M1 = 40 + 80 + 80 kg ha<sup>-1</sup>, M2 = 20 + 40 + 40 kg ha<sup>-1</sup>, M3 = 20 + 30 kg ha<sup>-1</sup> quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 96%; M4 = 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + 30 kg ha<sup>-1</sup> quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 93%; M5 = 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + 30 kg ha<sup>-1</sup> quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 90% e, M6 = controle, sem aplicação de N.

A massa de matéria seca da cobertura vegetal avaliada durante o florescimento pleno do feijoeiro, na safra “da seca”, foi alterada com a aplicação dos manejos de N no solo (Tabela 10). Observa-se que não houve diferença estatística entre o tratamento controle (M6) e a aplicação das maiores doses de N no solo (M1 e M2). Já na safra “das águas” os manejos de N influenciaram significativamente as quantidades de massa de matéria seca da cobertura vegetal disponível no solo durante a fase de florescimento do feijoeiro. A maior massa de matéria seca de palhada foi observada no tratamento M2 (5.738 kg ha<sup>-1</sup>) que diferiu apenas dos tratamentos M5 e controle (M6).

Os acúmulos de N na cobertura vegetal foram influenciados pela aplicação dos manejos de N na safra “da seca”, porém seguiram um comportamento diferente da massa de matéria seca da parte aérea (Tabela 10). Observa-se que a aplicação de N aumentou a quantidade acumulada desse elemento na cobertura vegetal. Resultados semelhantes foram descritos por Fernandes et al. (2007), que aplicaram doses de N antecipadas à semeadura.

Nas avaliações realizadas na safra “das águas”, as quantidades de N da cobertura vegetal não foram influenciadas pela aplicação dos manejos de N no solo (Tabela 10). Possivelmente a falta de resposta à aplicação dos manejos de N deve-se aos altos teores de N total disponível no solo, determinado na mesma época de amostragem da massa de matéria seca da cobertura vegetal (Tabela 9).

### c) Índice relativo de clorofila e índice de suficiência de N

Durante a safra “da seca”, os índices relativos de clorofila avaliados na terceira folha completamente expandida apresentaram aumento dos 14 DAE aos 21 DAE e se estabilizaram a partir dessa data (Figura 20A). Na safra “das águas” os valores dos IRC, determinados nas plantas de todos os tratamentos, aumentaram com o decorrer do período de avaliação, ou seja, durante todo o período de desenvolvimento vegetativo da cultivar Pérola. Barbosa Filho et al. (2008; 2009) e Maia et al. (2012) também observaram que os índices relativos de clorofila, determinados nas folhas de feijão cultivar Pérola, foram crescentes com o decorrer do período vegetativo e estabilizaram a partir do florescimento pleno da cultura.

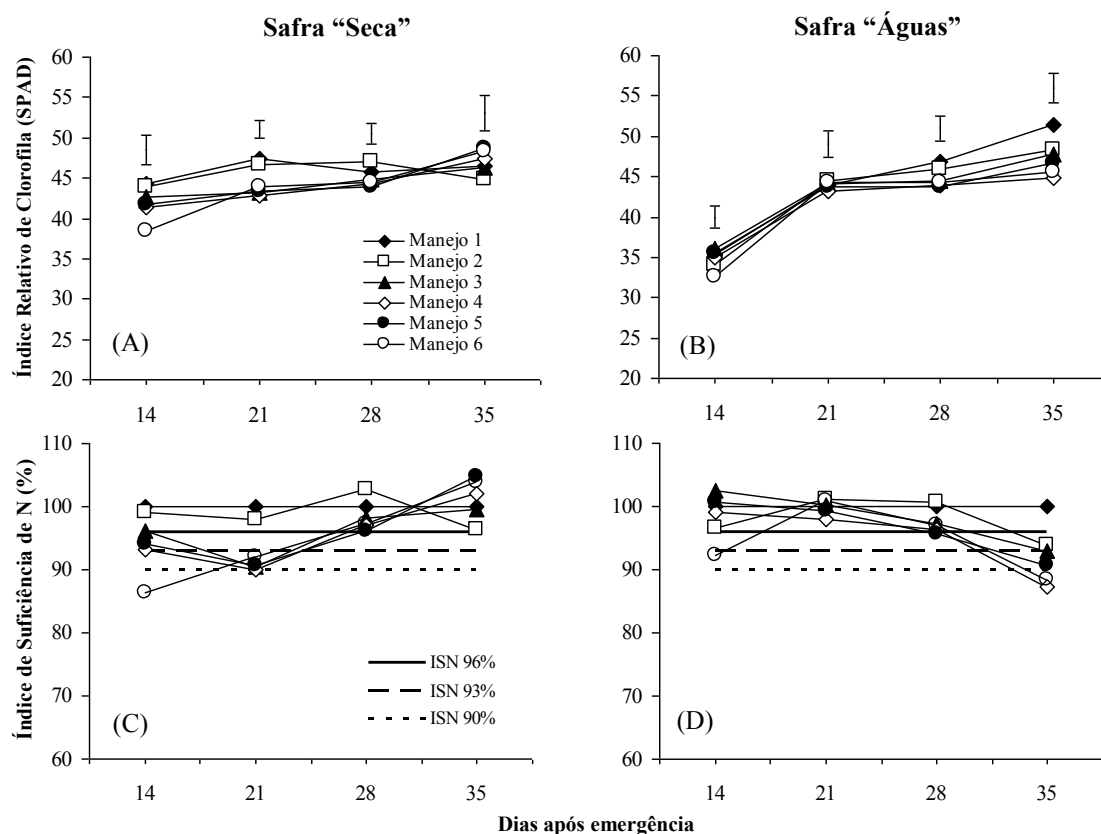
Aos 14 DAE, na safra “da seca”, os ISN dos tratamentos baseados no clorofilômetro apresentaram valores de 96,1% para o M3, 93,2% para o M4 e 94,1% para o manejo M5, indicando que não havia a necessidade da aplicação de N em cobertura para esses tratamentos (Figura 20C). Aos 21 DAE, os manejos M3 e M4 apresentaram ISN de 90% e 91%, respectivamente, indicando a necessidade da primeira aplicação do N em cobertura. O manejo M5 não apresentou índice abaixo do limite mínimo definido, não necessitando da aplicação do N em cobertura.

Aos 28 e 35 DAE os valores de IRC verificados no tratamento referência (M1) foram semelhantes aos observados nos demais manejos com aplicação de N (M2, M3, M4 e M5), assim, os valores de ISN dos tratamentos M3, M4 e M5 foram maiores que os índices pré-estabelecidos para cada um desses tratamentos (M3=96%, M4=93% e M5=90%), dispensando a adubação em cobertura nestas datas.

Já na safra “das águas”, aos 14 DAE os valores de IRC verificados no tratamento referência (M1) foram semelhantes aos observados nos demais manejos de N (M2, M3, M4 e M5), assim, os valores de ISN dos tratamentos M3, M4 e M5 foram maiores que os índices pré-estabelecidos para cada um desses tratamentos (M3=96%, M4=93% e M5=90%), dispensando a adubação em cobertura nesta data (Figura 20D).

Aos 21 e 28 DAE, os manejos M3, M4 e M5 não apresentaram índice abaixo do limite mínimo definido, não necessitando da aplicação do N em cobertura (Figura 20D). Os valores dos ISN aos 21 DAE foram de 100,2% para o manejo M3, 98% para o M4 e 99,3% para o M5, e os 28 DAE os valores foram de 97% em M3, 96,3% em M4 e 95,8% em M5. Aos 35 DAE, os manejos M3 e M4 apresentaram ISN de 93% e 87,3%, respectivamente, indicando a necessidade da primeira aplicação do N em cobertura,

a qual foi realizada no dia seguinte, no período da manhã, aplicando-se 30 kg de N ha<sup>-1</sup>. O manejo M5 (ISN < 90%) não apresentou ISN abaixo do definido como mínimo em nenhuma das datas de avaliação, não necessitando de aplicação do N em cobertura.



**Figura 20.** Índice relativo de clorofila (A e B) e índice de suficiência de N (C e D) das folhas do feijoeiro cultivar Pérola, nas safras “da seca” e “das águas”, em diferentes épocas de avaliação, em função do manejo da adubação nitrogenada de cobertura. M1 = 40 + 80 + 80 kg ha<sup>-1</sup>, M2 = 20 + 40 + 40 kg ha<sup>-1</sup>, M3 = 20 + 30 kg ha<sup>-1</sup> quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 96%; M4 = 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + 30 kg ha<sup>-1</sup> quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 93%; M5 = 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + 30 kg ha<sup>-1</sup> quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 90% e, M6 = controle, sem aplicação de N. Barras verticais são indicativas do valor de DMS pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Assim, na cultivar Pérola, o tratamento M5 recebeu apenas 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura. Maia et al. (2012; 2013) avaliando seis manejos de N em duas cultivares de feijão, através do uso de ISN, observaram que o manejo M5 (ISN < 90%), não apresentou ISN abaixo do definido como mínimo em nenhuma das datas de avaliação, não necessitando de aplicação do N em cobertura e assim, o tratamento M5 recebeu apenas

20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura. Esses autores concluíram que o ISN de 90% permite definir quando se deve aplicar o N em cobertura no feijoeiro, melhorando a eficiência de utilização do N aplicado.

Durante todo período de avaliação, nas duas safras de cultivo, observou-se que os valores dos IRC do tratamento sem aplicação de N (M6) apresentaram-se muito próximos das leituras determinadas nas parcelas adubadas com N (Figuras 20A e 20B). Isso pode ter ocorrido pelo processo de mineralização do N dos resíduos vegetais deixados na superfície do solo pelo cultivo anterior e pelo alto teor de N total disponível no solo. Segundo Piekielek e Fox (1992), o fornecimento de N às plantas, seja por meio de aplicações de fertilizantes ou pela mineralização da matéria orgânica pode, temporariamente, compensar eventual deficiência de N e aumentar o teor de clorofila nas folhas no momento da tomada de leituras no aparelho.

#### **d) Massa de matéria seca da parte aérea, teor de N e quantidade de N acumulada na massa de matéria seca da parte aérea**

Houve efeito dos manejos de N na massa de matéria seca da parte aérea das plantas de feijão estudadas nas duas safras de cultivo (Tabela 11). Na safra “da seca”, a cultivar Pérola apresentou maiores valores de massa de matéria seca na parte aérea nos manejos M1 e M2 (13,8 e 13,50 g planta<sup>-1</sup>, respectivamente), porém, diferindo estatisticamente dos tratamentos M4, M5 e M6 (sem aplicação de N). Já na safra “das águas” a aplicação do N proporcionou maiores valores de massa de matéria seca no manejo M1 e M5, que diferiram do tratamento controle (M6, sem aplicação de N), sendo que os demais tratamentos apresentaram valores iguais estatisticamente ao controle. O acréscimo na dose de N aplicada aumenta a disponibilidade desse nutriente, dessa forma um incremento na absorção pelas plantas é observado, promovendo a produção de matéria seca, uma vez que o N tem influência direta na fotossíntese e crescimento da planta (MALAVOLTA et al., 1997; SILVEIRA; DAMASCENO, 1993). Soratto et al. (2006), Crusciol et al. (2007) e Soratto et al. (2014) também verificaram aumento da matéria seca do feijoeiro cultivado em SPD com a aplicação de N.

Na safra “da seca” houve diferença significativa entre os tratamentos para o teor de N na parte aérea da cultivar Pérola, sendo que o maior valor foi proporcionado pelo tratamento M2 (36,10 g kg<sup>-1</sup>), porém diferindo apenas do M4 (28,00 g

kg<sup>-1</sup>) (Tabela 11). Carvalho et al. (2003) e Binotti et al. (2009) observaram influência da aplicação de N em cobertura sobre o teor de N na parte aérea do feijoeiro. Na safra “das águas” o teor de N na massa de matéria seca da parte aérea da cultivar Pérola não foi afetado pela aplicação dos manejos de N. Isso pode estar relacionado aos altos teores de N total e inorgânico disponíveis no solo desse experimento na avaliação realizada durante o florescimento pleno da cultura nessa safra em questão (Tabela 9).

**Tabela 11.** Massa de matéria seca, teor de N e quantidade de N acumulado na parte aérea do feijoeiro cultivar Pérola, determinadas no florescimento pleno, em função dos manejos de N, nas safras “da seca” e “das águas”.

Manejo do N	Massa de matéria seca da parte aérea		Teor de N na matéria seca da parte aérea		Quantidade de N acumulado na parte aérea	
	Seca	Águas	Seca	Águas	Seca	Águas
	— (g planta <sup>-1</sup> ) —		— (g kg <sup>-1</sup> ) —		— (kg ha <sup>-1</sup> ) —	
M1	13,8a	15,7a	34,3ab	31,4a	88,8a	131,1a
M2	13,5a	13,1bc	34,1ab	28,4a	85,4a	103,4ab
M3	11,3ab	12,4c	36,1a	31,6a	76,4ab	106,5ab
M4	10,1bc	11,3c	28,0b	33,1a	47,0c	97,6b
M5	9,1bc	15,1ab	35,0ab	27,9a	60,9bc	117,3ab
M6	8,7c	11,3c	29,3ab	30,4a	46,8c	93,5b
CV (%)	11,3	7,4	10,6	5,3	15,4	13,1

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. M1 = 40 + 80 + 80 kg ha<sup>-1</sup>, M2 = 20 + 40 + 40 kg ha<sup>-1</sup>, M3 = 20 + 30 kg ha<sup>-1</sup> quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 96%; M4 = 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + 30 kg ha<sup>-1</sup> quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 93%; M5 = 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + 30 kg ha<sup>-1</sup> quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 90% e, M6 = controle, sem aplicação de N.

A quantidade de N acumulado na parte aérea do feijoeiro Pérola foi influenciada pelos manejos estudados, durante as duas safras de cultivo (Tabela 11). Na safra “da seca” os manejos M1, M2 e M3 apresentaram os maiores valores de N acumulado, diferindo apenas do manejo M4 e M6. Isto se deve ao fato de que os tratamentos M1, M2 e M3 produziram os maiores valores de matéria seca da parte aérea e os maiores teores de N na parte da aérea. Esses resultados comprovam que o acúmulo máximo de nutrientes corresponde à disponibilidade e necessidade total do nutriente para a cultura. Na safra “das águas” o maior valor de N na parte aérea foi verificado no tratamento que recebeu a maior dose de N (M1), porém, esse tratamento diferiu apenas dos tratamentos M4 e controle (M6). Stone e Moreira (2001) também verificaram incrementos na quantidade de N acumulada na parte aérea do feijoeiro com a aplicação da adubação nitrogenada.

### e) Componentes da produção e produtividade de grãos

Os tratamentos não tiveram efeito sobre a população de plantas avaliadas durante a colheita do feijão nas duas safras de cultivo do feijoeiro (Tabela 12). Destaca-se que a maior dose de N aplicada na semeadura ( $40 \text{ kg ha}^{-1}$ ) não foi elevada e não influenciou no estabelecimento da cultura. Binotti et al. (2010) também verificaram que a aplicação de N em cobertura em sistema plantio direto não influenciou a população final de plantas do feijoeiro. Vale ressaltar que o valor médio da população de plantas na safra “da seca” foi de 180 mil plantas  $\text{ha}^{-1}$ , que corresponde a oito plantas por metro de fileira, e na safra “das águas” foi de 270 mil plantas  $\text{ha}^{-1}$ , que corresponde a 12 plantas por metro de fileira. Verificou-se menor valor médio de população de plantas na safra “da seca” do que na safra “das águas”, o que pode estar relacionado com maior vigor das sementes ou com as condições de estabelecimento da cultura, já que nas duas safras foram utilizadas aproximadamente 333.000 sementes  $\text{ha}^{-1}$  na semeadura. Romanini Junior et al. (2007) e Binotti et al. (2010) também verificaram que a aplicação de N em cobertura em sistema plantio direto não influenciou a população final de plantas do feijoeiro.

**Tabela 12.** População final de plantas, número de vagens por planta, número de grãos por vagem e massa de 100 grãos do feijoeiro cultivar Pérola em função dos manejos de N, nas safras “da seca” e “das águas”.

Manejo do N	Pop. final de plantas		Nº de vagens por planta		Nº de grãos por vagem		Massa de 100 grãos	
	Seca	Águas	Seca	Águas	Seca	Águas	Seca	Águas
	(mil plantas $\text{ha}^{-1}$ )		— (nº planta $^{-1}$ ) —		— (nº vagem $^{-1}$ ) —		— (g) —	
M1	192a	265a	13,1a	14,2a	5,0a	4,8a	28,8a	24,5a
M2	175a	279a	11,4a	10,9a	5,5a	4,9a	29,6a	24,6a
M3	173a	272a	11,2a	12,7a	5,3a	4,8a	28,4a	23,3a
M4	162a	259a	10,4a	11,4a	5,2a	4,9a	29,7a	24,2a
M5	174a	280a	10,9a	10,0a	5,2a	5,0a	26,7a	24,6a
M6	194a	271a	10,6a	11,3a	5,5a	4,9a	29,4a	25,7a
CV (%)	9,9	6,7	14,0	11,5	7,5	4,9	4,7	4,5

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. M1 =  $40 + 80 + 80 \text{ kg ha}^{-1}$ , M2 =  $20 + 40 + 40 \text{ kg ha}^{-1}$ , M3 =  $20 + 30 \text{ kg ha}^{-1}$  quando as leituras do clorofilômetro indicarem  $\text{ISN} < 96\%$ ; M4 =  $20 \text{ kg ha}^{-1}$  de N na semeadura +  $30 \text{ kg ha}^{-1}$  quando as leituras do clorofilômetro indicarem  $\text{ISN} < 93\%$ ; M5 =  $20 \text{ kg ha}^{-1}$  de N na semeadura +  $30 \text{ kg ha}^{-1}$  quando as leituras do clorofilômetro indicarem  $\text{ISN} < 90\%$  e, M6 = controle, sem aplicação de N.

Não houve diferenças significativas para o número de vagens por plantas da cultivar Pérola em função dos manejos de N aplicados, nas duas safras

estudadas (Tabela 12). Esses resultados corroboram Gomes Júnior et al. (2008) e Valderrama et al. (2009), que não obtiveram resposta quanto ao número de vagens por planta com a aplicação de N em cobertura no feijoeiro cultivar Pérola. Macedo et al. (2002) relataram que o número de vagens por planta é uma característica bastante variável, podendo ser influenciada pelo ambiente de cultivo. Para Gomes Júnior et al. (2008), a resposta ao uso do N sobre esta característica do feijoeiro cultivado em sistema plantio direto ainda não se encontra plenamente esclarecida pela pesquisa. Vale ressaltar que apesar das grandes diferenças nos teores de massa de matéria seca da parte aérea das plantas no estágio R6, proporcionadas pelos manejos do N, a ausência de efeito no número de vagens por planta pode ter sido devido a um efeito de compensação, ou seja, formação e pegamento de flores formadas mais tardiamente, já que essa cultivar possui hábito de crescimento indeterminado (tipo II ou III).

O número de grãos por vagem também não foi influenciado significativamente pelos manejos de N nas duas safras (Tabela 12), provavelmente por ser uma característica varietal pouco influenciada pelo ambiente, de alta herdabilidade e, portanto, mais relacionada com a cultivar analisada (ANDRADE et al., 1998), além disso, esta característica geralmente não apresenta correlação com a produtividade (BIZARI, et al., 2009). Soratto et al. (2004) também observaram que o número de grãos por vagem do feijoeiro IAC Carioca não foi influenciado pela aplicação de doses de N em cobertura e atribuíram esse resultado a alta herdabilidade genética desta característica.

A massa de 100 grãos não apresentou efeito dos manejos de N aplicados durante as safras “da seca” e “das águas” (Tabela 12). Esses resultados encontram respaldo nos observados por Arf et al. (1999), que, trabalhando com doses e parcelamento da adubação nitrogenada em cobertura na cultura do feijão, em sistema plantio direto, verificaram que não houve efeito significativo para este parâmetro avaliado. Gomes Júnior et al. (2008) também não constataram diferença significativa para a massa de 100 grãos do feijoeiro quando submetido a doses e épocas de aplicação de N em sistema plantio direto.

A produtividade de grãos do feijoeiro cultivar Pérola não foi influenciada significativamente pelos manejos de N na safra “da seca” e “das águas” (Tabela 13). Contudo, na safra “da seca” o manejo M1 proporcionou produtividade de grãos 11% superior ao controle (M6). Na safra “das águas” o manejo M1 proporcionou produtividade de grãos 9% superior ao controle, já os demais tratamentos baseados no

clorofilômetro (M3, M4 e M5) não proporcionaram incrementos em relação ao tratamento controle. Devido ao fato de os tratamentos baseados no clorofilômetro não apresentarem incrementos na produtividade de grãos em relação ao tratamento controle (M6) durante as duas safras de estudo, não foi possível calcular a eficiência de utilização do N (EUN). A EUN, por definição, é maior quanto menor for a quantidade de N aplicada para uma maior produtividade de grãos, fato que não pode ser verificado para esse experimento com a cultivar Pérola. Contudo, é importante destacar que em ambas as safras, o manejo do N mediante monitoramento com o clorofilômetro portátil utilizando o ISN (< 90%), ou seja, o manejo M5 proporcionou economia de 180 kg ha<sup>-1</sup> de N, em relação ao tratamento referência (M1), e 80 kg ha<sup>-1</sup> de N, em relação ao tratamento que utilizou a dose recomendada por Ambrosano et al. (1997) (M2), sem reduções significativas na produtividade de grãos (Tabelas 2, 3 e 13).

**Tabela 13.** Produtividade de grãos, produtividade relativa e eficiência de utilização do N aplicado no feijoeiro cultivar Pérola em função dos manejos de N, nas safras “da seca” e “das águas”.

Manejo do N	Produtividade de grãos		Produtividade relativa		Eficiência de utilização	
	Seca	Águas	Seca	Águas	Seca	Águas
	(kg ha <sup>-1</sup> )		(%)		(kg grãos kg de N <sup>-1</sup> )	
M1	3.120a	3.568a	111	109	1,5	1,5
M2	2.959a	3.083a	106	94	1,4	-
M3	2.740a	2.989a	97	91	-	-
M4	2.796a	2.987a	99	91	-	-
M5	2.676a	3.088a	95	94	-	-
M6	2.813a	3.270a	100	100	-	-
CV (%)	10,5	12,5	-	-	-	-

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. M1 = 40 + 80 + 80 kg ha<sup>-1</sup>, M2 = 20 + 40 + 40 kg ha<sup>-1</sup>, M3 = 20 + 30 kg ha<sup>-1</sup> quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 96%; M4 = 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + 30 kg ha<sup>-1</sup> quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 93%; M5 = 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + 30 kg ha<sup>-1</sup> quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 90% e, M6 = controle, sem aplicação de N.

Mesmos sem a aplicação de N foram obtidos produtividades de grãos elevadas (Tabela 13), o que pode estar relacionado, provavelmente, com o elevado teor de N total e inorgânico presentes no solo (Tabela 9) e pela elevada quantidade de palhada na superfície do solo presente nesse tratamento (Tabela 10), que pode ter favorecido o processo de fixação simbiótica de N<sub>2</sub>, devido à menor oscilação da temperatura e maior teor de água no solo, proporcionada pela elevada quantidade de

palhada na superfície desse solo (SORATTO et al, 2013b; CRUSCIOL et al., 2011). Para Kluthcouski et al. (2005), em áreas sob longo período em sistema plantio direto o porte de N é bastante representativo, permitindo a obtenção de boas produtividades de grãos da cultura do feijão com aplicação de pequena dose de N na semeadura.

### 6.2.2. Cultivar IPR Eldorado

#### a) Nitrogênio total e nitrogênio inorgânico (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) no solo

Os teores de N total, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> determinados durante as safras “da seca” e “das águas”, em área experimental em pré-semeadura, estão apresentados na Tabela 14. O teor de N total na camada de 0,0-0,20 m foi mais elevado que na camada de 0,20-0,40 m. Os teores de N total mais alto na profundidade de 0,0-0,20 m, foram devidos ao fato de que os teores de N, nas diferentes profundidades do solo, podem apresentar o mesmo padrão de distribuição dos teores de C, com os maiores valores observados em camadas mais superficiais do solo, onde há maior acúmulo de matéria orgânica.

Nas duas safras, os teores de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> foram superiores aos teores de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> na camada 0,0-0,20 m (Tabela 14). O pH do solo da área experimental era de 4,4, e o processo de nitrificação é mediado pelas bactérias dos gêneros *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*, sendo essas muito sensíveis a valores de pH menores que 6,0 e nulas em pH menor que 4,5 (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

**Tabela 14.** Teores de N total, N-amoniaco (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) e N-nítrico (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) no perfil do solo (até 0,40 m de profundidade), determinado em amostras coletadas na área do experimento antes da semeadura da cultivar IPR Eldorado durante as safras “da seca” e “das águas”.

Profundidade (m)	N total		N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	
	Seca	Águas	Seca	Águas	Seca	Águas
0,0-0,20	1487,8	1629,5	21,2	25,5	16,8	18,3
0,20-0,40	1297,0	1369,1	21,8	14,6	19,6	22,3

Nas duas safras de cultivo não foram encontradas diferenças significativas entre os teores de N total no solo com a aplicação dos manejos de N em ambas as camadas avaliadas durante o florescimento pleno da cultura (Tabela 15).

Observa-se que os teores de N total na camada mais superficial foram superiores aos valores encontrados na camada de 0,20-0,40 m, corroborando Silva et al. (2005), e que pode confirmar o fato de que os teores de N, nas diferentes profundidades do solo, apresentam o mesmo padrão de distribuição e acúmulo de matéria orgânica, com maiores valores observados nas camadas mais superficiais do solo.

**Tabela 15.** Teores de N total, N-amoniaco ( $\text{N-NH}_4^+$ ) e N-nítrico ( $\text{N-NO}_3^-$ ) no perfil do solo (até 0,40 m de profundidade), determinado em amostras coletadas na área experimental durante o florescimento pleno do feijoeiro cultivar IPR Eldorado, nas safras “da seca” e das “águas”.

Manejos do N	N total		$\text{N-NH}_4^+$		$\text{N-NO}_3^-$	
	Seca	Águas	Seca	Águas	Seca	Águas
(mg $\text{dm}^{-3}$ )						
0,0-0,20						
M1	1382,8a	1623,8a	22,4a	33,3a	26,8a	23,3a
M2	1433,0a	1593,5a	20,9a	17,6b	16,1b	19,2b
M3	1291,5a	1670,3a	22,4a	15,2b	16,3b	17,2b
M4	1466,8a	1683,0a	21,1a	16,5b	16,6b	14,6b
M5	1238,8a	1620,5a	22,5a	17,3b	14,5b	14,7b
M6	1347,3a	1602,3a	21,6a	15,5b	15,2b	17,9b
CV (%)	13,3	5,8	9,7	8,7	7,4	16,2
0,20-0,40						
M1	1047,3a	1236,3a	21,3a	19,4a	23,8a	28,8a
M2	991,3a	1209,8a	20,1a	15,7a	16,1b	18,5b
M3	974,0a	1185,8a	20,5a	15,9a	19,8b	17,6b
M4	1067,8a	1251,0a	20,4a	20,5a	18,1b	17,1b
M5	1121,0a	1159,5a	23,5a	17,2a	15,6b	16,1b
M6	950,8a	1440,5a	20,2a	16,1a	16,3b	16,5b
CV (%)	11,3	12,8	7,9	15,7	15,5	11,6

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. M1 = 40 + 80 + 80 kg  $\text{ha}^{-1}$ , M2 = 20 + 40 + 40 kg  $\text{ha}^{-1}$ , M3 = 20 + 30 kg  $\text{ha}^{-1}$  quando as leituras do clorofilômetro indicarem  $\text{ISN} < 96\%$ ; M4 = 20 kg  $\text{ha}^{-1}$  de N na semeadura + 30 kg  $\text{ha}^{-1}$  quando as leituras do clorofilômetro indicarem  $\text{ISN} < 93\%$ ; M5 = 20 kg  $\text{ha}^{-1}$  de N na semeadura + 30 kg  $\text{ha}^{-1}$  quando as leituras do clorofilômetro indicarem  $\text{ISN} < 90\%$  e, M6 = controle, sem aplicação de N.

Houve efeito das doses de N sobre os teores de  $\text{N-NO}_3^-$ , e apenas o manejo M1 diferiu dos demais tratamentos nas duas safras de cultivo (Tabela 15). A aplicação mais elevada de N no manejo M1 (200 kg  $\text{ha}^{-1}$ ) promoveu os maiores teores de N-nítrico nas duas camadas avaliadas. Esses resultados estão de acordo com os encontrados por Bonfim-da-Silva (2005) e Colozza et al. (2000). Os teores de  $\text{N-NO}_3^-$  na

camada de 0,20-0,40 m foram semelhantes aos encontrados na de 0,0-0,20 m, demonstrando que, apesar da aplicação de altas doses de N ( $200 \text{ kg ha}^{-1}$ ), esse nutriente foi aproveitado pelas plantas, resultando em pequena lixiviação no perfil do solo.

Segundo Maia (1999), a matéria orgânica aumenta a capacidade de troca catiônica do solo contribuindo para uma maior adsorção de  $\text{NH}_4^+$ , da mesma forma que aumenta a capacidade de retenção de água diminuindo, assim, a lixiviação de nitrato no perfil do solo. De acordo com Coelho et al. (1991) doses de N relativamente baixas, a textura argilosa da maioria dos solos e o parcelamento da adubação nitrogenada, no qual a maior parte do N é aplicada no período de ativa absorção de N pelas plantas, ajudam a explicar as limitadas perdas de N por lixiviação.

#### **b) Quantidade de palhada na área e N acumulado na palhada**

A massa de matéria seca da cobertura vegetal, avaliada em pré-semeadura na safra “da seca”, presente na área era de  $4.300 \text{ kg ha}^{-1}$ , com acúmulo de N no tecido vegetal de  $29,6 \text{ kg ha}^{-1}$ . Para a safra “das águas” a determinação da massa de matéria seca da cobertura vegetal, avaliada em pré-semeadura, foi de  $5,336 \text{ kg ha}^{-1}$ , com N acumulado no tecido vegetal de  $32,2 \text{ kg ha}^{-1}$ . Gonçalves et al. (2000) avaliando a decomposição e persistência de plantas de cobertura em sistema plantio direto após aplicação de doses de N, verificaram que a quantidade de matéria seca mantida no solo da sucessão de cultivo aveia-preta/milho foi de  $4.300 \text{ kg ha}^{-1}$  e o teor de N acumulado foi  $40 \text{ kg ha}^{-1}$ , além disso, esses autores citam que a aveia preta apresenta alta produção de matéria seca, porém apresenta-se entre aquelas com menores quantidades de resíduos acumulados sobre a superfície do solo evidenciando que, quando o milho é cultivado em sucessão à aveia, a contribuição de matéria seca do milho para o acúmulo de resíduos vegetais na superfície do solo é inferior.

Houve efeito significativo da aplicação dos manejos de N sobre a massa de matéria seca da cobertura vegetal disponível no solo na safra “da seca” (Tabela 16). O manejo M6 (controle) diferiu dos demais tratamentos apresentando os maiores teores de massa de matéria seca de cobertura vegetal sobre o solo ( $4.566 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Observa-se que quanto maior a dose de N aplicado, menores são os valores da massa de matéria seca da palhada. Possivelmente, a aplicação mais elevada de N contribuiu para maior decomposição dos resíduos presentes nesse tratamento. De acordo com Ernani et al.

(2002), aplicação de doses mais altas de N pode acelerar o processo de decomposição do material vegetal em 21%, em relação ao tratamento sem aplicação desse elemento.

**Tabela 16.** Massa de matéria seca e quantidade de N na cobertura vegetal avaliadas na área do experimento durante o florescimento do feijoeiro cultivar IPR Eldorado em função dos manejos da adubação nitrogenada durante as safras “da seca” e “das águas”.

Manejo do N	Matéria seca de cobertura vegetal		N acumulado na cobertura vegetal	
	Seca	Águas	Seca	Águas
	(kg ha <sup>-1</sup> )			
M1	3.471c	4.752a	30,2a	35,2a
M2	3.418c	5.008a	30,1a	33,3a
M3	3.841bc	4.580a	30,7a	33,3a
M4	3.523c	4.768a	28,9a	34,9a
M5	4.246ab	5.214a	30,1a	32,9a
M6	4.566a	4.698a	32,7a	35,2a
CV (%)	7,3	13,1	16,0	13,8

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. M1 = 40 + 80 + 80 kg ha<sup>-1</sup>, M2 = 20 + 40 + 40 kg ha<sup>-1</sup>, M3 = 20 + 30 kg ha<sup>-1</sup> quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 96%; M4 = 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + 30 kg ha<sup>-1</sup> quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 93%; M5 = 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + 30 kg ha<sup>-1</sup> quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 90% e, M6 = controle, sem aplicação de N.

Para a massa de matéria seca da cobertura vegetal avaliada na safra “das águas”, é possível observar que os teores de N da cobertura vegetal não foram afetados pela aplicação dos manejos de N (Tabela 16). É importante ressaltar que mesmo no tratamento que não recebeu aplicações de N (M6 – controle), a quantidade acumulada de N na cobertura vegetal era alta, que se deve provavelmente à alta produção de matéria seca e ao alto poder de reciclagem da cobertura vegetal.

Os teores de N da cobertura vegetal não foram influenciados pela aplicação dos manejos de N no solo tanto na safra “da seca” quanto na safra “das águas” (Tabela 16). Possivelmente, a falta de resposta à aplicação dos manejos de N deve-se aos altos teores de N total disponível no solo, determinado na mesma época de amostragem da massa de matéria seca da cobertura vegetal (Tabela 15).

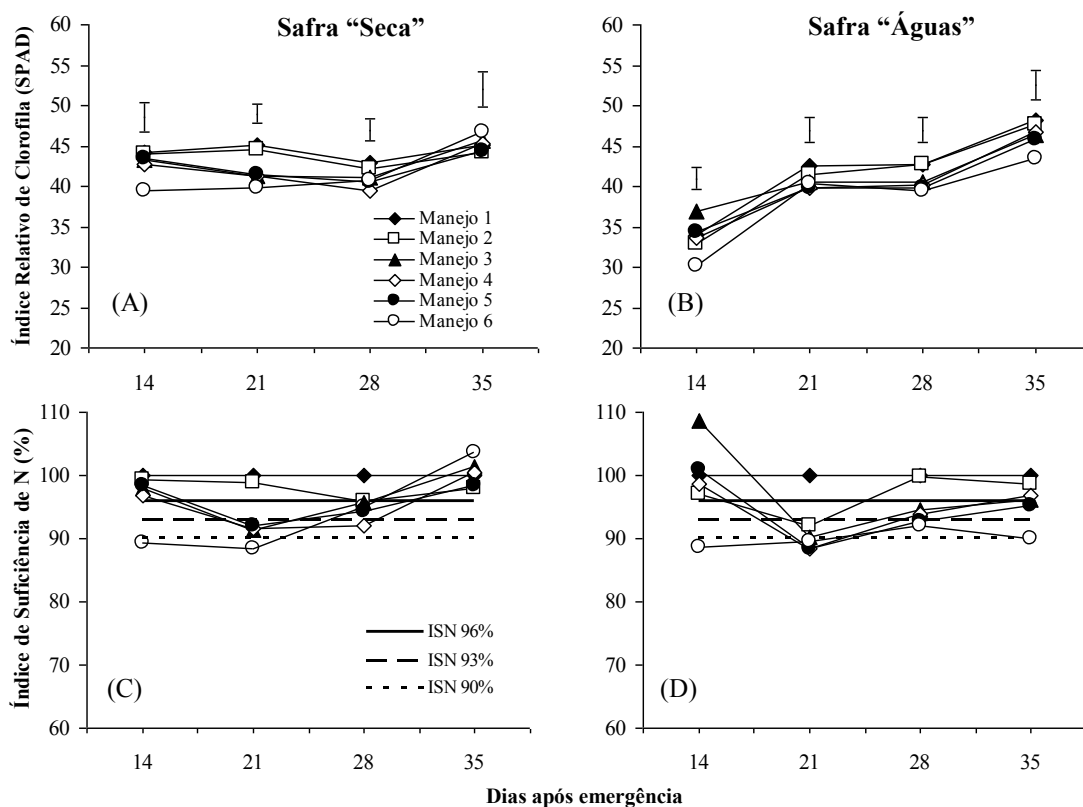
### c) Índice relativo de clorofila e índice de suficiência de N

Os índices relativos de clorofila determinados na terceira folha completamente expandida a partir do ápice do feijoeiro IPR Eldorado se mantiveram constantes desde a primeira leitura (14 DAE) até aos 35 DAE, durante a safra “da seca” (Figura 21A). Pode-se verificar que os IRC determinados na safra “das águas” aumentaram durante o decorrer das avaliações até aos 35 DAE, período correspondente ao estágio vegetativo do feijoeiro cultivar IPR Eldorado (Figura 21B). Barbosa Filho et al. (2008; 2009) e Maia et al. (2012; 2013) observaram que os índices relativos de clorofila, determinados nas folhas de feijão foram crescentes com o decorrer do período vegetativo e estabilizaram a partir do florescimento pleno da cultura. Esses autores citam ainda que, esses resultados indicaram que após o florescimento do feijoeiro o teor de clorofila nas folhas se estabiliza, tornando o uso do clorofilômetro inadequado para indicar a necessidade da aplicação de adubação nitrogenada em cobertura a partir desta fase.

Nas duas safras, os valores dos IRC do tratamento sem aplicação de N (M6 (controle)) apresentaram-se muito próximos das leituras determinadas nas parcelas adubadas com N (Figura 21A e 21B). Isso pode ser explicado pelo processo de mineralização do N dos resíduos vegetais deixados na superfície do solo pelo cultivo anterior (Tabela 16) e pelo alto teor de N total disponível no solo (Tabela 15). Para Piekielek e Fox (1992), o fornecimento de N às plantas, seja por meio de aplicações de fertilizantes ou pela mineralização da matéria orgânica pode, temporariamente, compensar eventual deficiência de N e aumentar o teor de clorofila nas folhas no momento da tomada de leituras no aparelho.

Na safra “da seca”, os ISN determinados aos 14 DAE apresentaram valores de 97,9% para o M3, 96,8% para o M4 e 98,3% para o manejo M5, indicando que não havia a necessidade de aplicar N em cobertura para esses tratamentos (Figura 21C). Aos 21 DAE, os ISN dos manejos M3 e M4 foram de 91,5% e 91,70%, respectivamente, mostrando a necessidade de aplicação do N em cobertura. No manejo M5 não foram estabelecidos ISN abaixo do limite mínimo definido, e não houve a aplicação do N em cobertura. Aos 28 os manejos M3 e M4 apresentaram valores de ISN de 95,7% e 92%, respectivamente, indicando a necessidade da segunda aplicação do N em cobertura. O manejo M5 não apresentou índice abaixo do limite mínimo definido nessa data, não necessitando da aplicação do N em cobertura. Na avaliação realizada aos 35 DAE os valores de IRC verificados no tratamento referência (M1) foram semelhantes aos observados nos demais manejos com aplicação de N (M2, M3, M4 e M5), assim, os

valores de ISN dos tratamentos M3, M4 e M5 foram maiores que os índices pré-estabelecidos para cada um desses tratamentos (M3=96%, M4=93% e M5=90%), dispensando a adubação em cobertura nestas datas.



**Figura 21.** Índice relativo de clorofila (A e B) e índice de suficiência de N (C e D) das folhas do feijoeiro cultivar IPR Eldorado, nas safras da “seca” e das “águas”, em diferentes épocas de avaliação, em função do manejo da adubação nitrogenada de cobertura. M1 = 40 + 80 + 80 kg ha<sup>-1</sup>, M2 = 20 + 40 + 40 kg ha<sup>-1</sup>, M3 = 20 + 30 kg ha<sup>-1</sup> quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 96%; M4 = 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + 30 kg ha<sup>-1</sup> quando as leituras do clorofilômetro indicaram ISN < 93%; M5 = 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + 30 kg ha<sup>-1</sup> quando as leituras do clorofilômetro indicaram ISN < 90% e, M6 = controle, sem aplicação de N. Barras verticais são indicativas do valor de DMS pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na safra “das águas” aos 14 e 35 DAE, os valores dos IRC verificados nos tratamentos monitorados pelo clorofilômetro não determinaram ISN abaixo do limite mínimo estabelecido (M3 < 96%, M4 < 93% e M5 < 90%), dispensando a adubação em cobertura nesta data (Figura 21D). Aos 21 DAE, os manejos M3, M4 e M5 apresentaram valores de ISN de 90,1%, 88,5% e 88,3%, respectivamente, que indicaram a

necessidade da primeira aplicação do N em cobertura, a qual foi realizada no dia seguinte, no período da manhã, aplicando-se 30 kg de N ha<sup>-1</sup>. Na avaliação realizada aos 28 DAE, apenas o manejo M3 apresentou índice abaixo do limite mínimo definido, necessitando de mais uma aplicação do N em cobertura. Nessa data os manejos M4 e M5 não apresentaram índices abaixo do limite mínimo definido, não necessitando da aplicação do N em cobertura.

Vale ressaltar que na safra “da seca” o manejo M5 (ISN < 90%) não apresentou ISN abaixo do definido como mínimo em nenhuma das datas de avaliação, não necessitando de aplicação do N em cobertura, sendo assim, na cultivar IPR Eldorado, o tratamento M5 recebeu apenas 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura. Já na safra “das águas” os IRC dos manejos M4 e M5 receberam apenas 30 kg ha<sup>-1</sup> de N aplicados em cobertura aos 21 DAE, ou seja, o total de 50 kg ha<sup>-1</sup> de N (Figura 21C e 21D).

#### **d) Massa de matéria seca da parte aérea, teor de N e quantidade de N acumulado na massa de matéria seca da parte aérea**

Houve diferença significativa para a massa de matéria seca da parte aérea das plantas da cultivar IPR Eldorado em função dos manejos de N aplicados durante a safra “da seca” (Tabela 17), sendo que os tratamentos M1, M2, M4 e M5 diferiram estatisticamente do tratamento M3 e M6 (sem aplicação de N). Porém observa-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos para o teor de N na massa de matéria seca da parte aérea dessa cultivar, o que é decorrência de efeito diluição, já que os tratamentos com maior disponibilidade de N proporcionaram também maior acúmulo de matéria seca na parte aérea. Alvarez et al. (2005) também verificaram que os teores de N na parte aérea do feijão cultivar Pérola, não foram influenciados com a aplicação da adubação nitrogenada em cobertura em sistema plantio direto. O N tem extrema importância para a produção de matéria seca, por ser parte constituinte da molécula de clorofila e, portanto, ter influência na fotossíntese e promovendo o crescimento vegetativo do feijoeiro (SILVEIRA; DAMASCENO, 1993).

A quantidade de N acumulada na parte aérea do feijoeiro durante a safra “da seca” foi influenciada pelos manejos de N (Tabela 17). Os menores valores foram observados nos manejos M4 e controle (manejo M6), que diferiram apenas do tratamento com a aplicação da maior dose de N, o manejo M1. A maior disponibilidade de N,

especialmente nos estádios iniciais da cultura, proporcionou maior crescimento e absorção do nutriente pelas plantas.

**Tabela 17.** Massa de matéria seca, teor de N e quantidade de N acumulado na parte aérea do feijoeiro cultivar IPR Eldorado em função dos manejos de N, nas safras “da seca” e “das águas”.

Manejo do N	Massa matéria seca da parte aérea		Teor de N na matéria seca da parte aérea		Quantidade de N acumulado na parte aérea	
	Seca	Águas	Seca	Águas	Seca	Águas
	— (g planta <sup>-1</sup> ) —		— (g kg <sup>-1</sup> ) —		— (kg ha <sup>-1</sup> ) —	
M1	13,8a	11,5a	33,3a	29,9a	78,9a	79,4a
M2	13,6a	13,3a	34,1a	29,9a	77,9ab	93,0a
M3	10,5b	11,8a	37,9a	30,4a	62,1ab	84,4a
M4	12,7b	13,1a	30,4a	29,3a	57,2b	87,4a
M5	12,5b	13,0a	33,1a	28,3a	69,8ab	78,7a
M6	10,4b	13,4a	29,7a	28,7a	53,3b	89,8a
CV (%)	6,4	12,6	13,1	6,0	13,4	17,5

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. M1 = 40 + 80 + 80 kg ha<sup>-1</sup>, M2 = 20 + 40 + 40 kg ha<sup>-1</sup>, M3 = 20 + 30 kg ha<sup>-1</sup> quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 96%; M4 = 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + 30 kg ha<sup>-1</sup> quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 93%; M5 = 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + 30 kg ha<sup>-1</sup> quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 90% e, M6 = controle, sem aplicação de N.

Na safra “das águas”, os manejos de N não influenciaram na quantidade de N acumulada na parte aérea do feijoeiro IPR Eldorado (Tabela 17), principalmente pelo fato de os manejos de N não terem proporcionado efeito significativo sobre a massa de matéria seca da parte aérea e nos teores de N na massa de matéria seca.

#### e) Componentes da produção e produtividade de grãos

A população final de plantas não foi influenciada pela aplicação dos manejos de N nas safras de cultivo (Tabela 18). Em todos os tratamentos foram constatadas populações de plantas superiores aos valores mínimos recomendados para o feijoeiro comum por Del Peloso et al. (1996) e Fancelli e Dourado Neto (2007). Segundo Kaneko et al. (2010), o estabelecimento da população de plantas depende preponderantemente das reservas da semente, da umidade adequada do solo, do baixo impedimento da camada de solo que às cobrem e da ausência de ataque de patógenos e pragas de solo na fase inicial da cultura. Binotti (2009) também não observou variação

significativa na população final de plantas de feijoeiro comum cultivado sobre restos de cultura de milho em função da aplicação de N.

**Tabela 18.** População final de plantas, número de vagens por planta, número de grãos por vagem e massa de 100 grãos do feijoeiro cultivar IPR Eldorado em função dos manejos de N, nas safras “da seca” e “das águas”.

Manejo do N	Pop. final de plantas		Nº de vagens por planta		Nº de grãos por vagem		Massa de 100 grãos	
	Seca	Águas	Seca	Águas	Seca	Águas	Seca	Águas
	(mil plantas ha <sup>-1</sup> )		– (nº planta <sup>-1</sup> ) –		– (nº vagem <sup>-1</sup> ) –		— (g) —	
M1	161a	230a	19,0a	12,4a	4,8a	5,0a	27,7a	23,0a
M2	160a	236a	16,7a	13,2a	5,0a	4,7a	27,5a	23,9a
M3	150a	234a	18,7a	13,8a	5,3a	4,8a	27,5a	22,5a
M4	146a	230a	19,3a	13,0a	5,2a	5,0a	27,3a	23,6a
M5	162a	217a	16,4a	13,8a	5,1a	5,0a	27,0a	23,7a
M6	168a	228a	15,5a	10,0a	4,6a	4,9a	26,0a	23,1a
CV (%)	9,0	8,4	9,7	13,2	6,8	6,4	5,9	4,5

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. M1 = 40 + 80 + 80 kg ha<sup>-1</sup>, M2 = 20 + 40 + 40 kg ha<sup>-1</sup>, M3 = 20 + 30 kg ha<sup>-1</sup> quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 96%; M4 = 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + 30 kg ha<sup>-1</sup> quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 93%; M5 = 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + 30 kg ha<sup>-1</sup> quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 90% e, M6 = controle, sem aplicação de N.

Em nenhuma das duas safras de cultivo houve efeito significativo da aplicação dos manejos de N no número de vagens por plantas e no número de grãos por vagem do feijoeiro cultivar IPR Eldorado (Tabela 18). Provavelmente, a falta de efeito dos manejos de N no número de vagens por planta se deve ao aproveitamento pela cultura do N disponível no solo na forma de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (Tabela 15). Quando a planta é mal nutrida com N, ela produz menos flores e, conseqüentemente, menos vagens (PORTES, 1996). Vale ressaltar da importância da disponibilização de N para a cultura na época que promova crescimento da planta, pois, plantas robustas, com maior número de ramificações e que produzam maior número de estruturas reprodutivas, acarretam maior produtividade de grãos (CARVALHO et al., 2001; SORATTO et al., 2005).

Já o número de grãos por vagem apresenta-se como uma característica intrínseca a cultivar (genótipo) utilizado, podendo sofrer pouca influência das práticas culturais, sendo que estes valores normalmente estão por volta de 4 a 5 grãos por vagem (Tabela 18). Além disso, esta característica geralmente não apresenta correlação com a produtividade (SORATTO et al., 2004).

A massa de 100 grãos também não teve influência dos manejos de N aplicadas tanto na safra “da seca” quanto “das águas” (Tabela 18). Silva et al. (2009) também observaram que o N em cobertura não proporcionou efeito significativo na massa de 100 grãos. Segundo Silva e Silveira (2000) e Soratto et al. (2004), doses de N não causam grande variação na massa de 100 grãos já que essa é uma das características que pode apresentar pequena variação quando se faz alterações no meio de cultivo. Assim, em condições adversas, principalmente com restrição de N, a planta de feijão preferencialmente formará poucos grãos nas vagens ao invés de vários e mal formados (SORATTO et al., 2005).

As produtividades de grãos do feijoeiro IPR Eldorado determinadas na safra “da seca” e “das águas” foram influenciadas significativamente pelos manejos de N (Tabela 19). Na safra “da seca”, as maiores produtividades de grãos foram obtidas nos tratamentos M1, M2, M3, diferindo estatisticamente do tratamento M6 (controle) e M4. Os manejos M1 e M2 proporcionaram produtividades 50% e 51% superior ao controle (M6), respectivamente. Os demais manejos com aplicação de N proporcionaram incrementos em relação ao manejo M6 variando de 26% (M4) a 48% (M3). Quanto à eficiência de utilização do N aplicado (EUN), o manejo M5 (baseado no ISN de 90%) apresentou maior valor. Nesse tratamento a aplicação de N em cobertura proporcionou economia de 180 kg ha<sup>-1</sup> do nutriente, em comparação com o manejo M1 (referência) e 80 kg ha<sup>-1</sup> em relação ao manejo M2 (Tabela 2), que utilizou a dose calculada de acordo com recomendação de Ambrosano et al. (1997), sem redução de produtividade de grãos.

De maneira geral, a aplicação de N proporcionou maior produtividade de grãos do feijoeiro durante a safra “das águas” (Tabela 19). Os manejos M1 e M2 proporcionaram produtividades 48% e 52% superior ao controle (M6), respectivamente. Os manejos M4 (ISN < 93%) e M5 (ISN < 90%) apresentaram produtividade de grãos 41% acima do controle e economia de 150 kg ha<sup>-1</sup> de N, em relação ao manejo M1, e conseqüentemente, maiores valores de EUN (17,9). Destaca-se que os manejos M4 e M5 proporcionaram produtividades de grãos similares ao manejo M2 (dose recomendada), com aplicação de 50 kg ha<sup>-1</sup> de N a menos (Tabela 3). O fato de a EUN ser maior nos manejos M4 e M5 com menos N aplicado, somente passa a ser importante se, comparado com o manejo M1 e não houver redução significativa de produtividade de grãos, o que foi observado neste trabalho.

**Tabela 19.** Produtividade de grãos, produtividade relativa e eficiência de utilização do N aplicado no feijoeiro cultivar IPR Eldorado em função dos manejos de N, nas safras “da seca” e “das águas”.

Manejo do N	Produtividade de grãos		Produtividade relativa		Eficiência de utilização	
	Seca	Águas	Seca	Águas	Seca	Águas
	(kg ha <sup>-1</sup> )		—— (%) ——		(kg grãos kg de N <sup>-1</sup> )	
M1	3.242a	3.217a	150	148	5,4	5,2
M2	3.270a	3.311a	151	152	11,0	11,4
M3	3.205a	2.923ab	148	134	13,0	9,4
M4	2.722b	3.068a	126	141	7,0	17,9
M5	3.157ab	3.065a	144	141	49,0	17,9
M6	2.166c	2.171b	100	100	-	-
CV (%)	7,1	12,5	-	-	-	-

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. M1 = 40 + 80 + 80 kg ha<sup>-1</sup>, M2 = 20 + 40 + 40 kg ha<sup>-1</sup>, M3 = 20 + 30 kg ha<sup>-1</sup> quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 96%; M4 = 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + 30 kg ha<sup>-1</sup> quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 93%; M5 = 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura + 30 kg ha<sup>-1</sup> quando as leituras do clorofilômetro indicarem ISN < 90% e, M6 = controle, sem aplicação de N.

Os resultados de EUN, obtidos no manejo M5 (ISN < 90%) (Tabelas 13 e 19), são indicativo de que o monitoramento com o clorofilômetro portátil, na terceira folha completamente expandida a partir do ápice, pode ser importante ferramenta para evitar a aplicação desnecessária de N em cobertura na cultura do feijoeiro irrigado, cultivado durante a “safra da seca” e “das águas”, corroborando os resultados obtidos por Barbosa Filho et al. (2008; 2009) e Maia et al. (2012; 2013).

## 7. CONCLUSÕES

Leituras indiretas do teor de clorofila em folhas mais velhas, ou seja, a segunda folha completamente expandida a partir do ápice, na fase inicial do ciclo da cultura, e a terceira, em estádios mais adiantados, apresentam melhores correlações com o teor de N, sendo, portanto, mais precisas para definir a necessidade de N da cultura do feijão comum, mediante o uso do clorofilômetro portátil.

A folha diagnose mais adequada para realização das leituras indiretas de clorofila não varia com a cultivar utilizada.

O uso do ISN de 90% é mais eficiente para definir quando se deve aplicar o N em cobertura no feijoeiro, por proporcionar economia de N aplicado sem reduzir a produtividade de grãos das cultivares em estudo, em comparação com o tratamento referência (sem deficiência de N) e com a dose de N recomendada.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, F.; MARTIN, J. B. Liming effects on nitrogen use and efficiency. In: HAUCK, R. D. (Ed.). **Nitrogen in crop production**. Madison: American Society of Agronomy, 1984. p. 417-426.

AIDAR, H. Características da cultura. In: EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO. **Cultivo do feijoeiro comum (Sistema de Produção)**. 2007. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br>>. Acesso em: 23 set. 2012.

ALCÂNTARA, F. A. et al. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo Vermelho-Escuro degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, p. 277-288, 2000.

ALVAREZ, A. C. C. et al. Resposta do feijoeiro a aplicação de doses e fontes de nitrogênio em cobertura no sistema de plantio direto. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 27, p. 69-75, 2005.

AMBROSANO, E. J. et al. Leguminosas e oleaginosas. In: RAIJ, B. van et al. (Ed.). **Boletim Técnico do Instituto Agronômico de Campinas**, Campinas, n. 100, p. 187-203, 1997. 2. ed.

ANDRADE, M. J. B. et al. Resposta da cultura do feijoeiro à aplicação foliar de molibdênio e às adubações nitrogenadas de plantio e cobertura. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 22, p. 499-508, 1998.

ARAÚJO, G. A. A.; VIEIRA, C.; MIRANDA, G. V. Efeito da época de aplicação do adubo nitrogenado em cobertura sobre o rendimento do feijão, no período de outono-inverno. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 41, p. 442-450, 1994.

ARF, O. et al. Manejo do solo, água e nitrogênio no cultivo de feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, p. 131-138, 2004.

ARF, O. et al. Mecanismos de abertura do sulco e adubação nitrogenada no cultivo do feijoeiro em sistema plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 67, p. 499-506, 2008.

ARF, O.; FERREIRA, E.C. et al. Efeitos de doses e parcelamento da adubação nitrogenada em cobertura na cultura do feijão. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 6., 1999, Salvador. **Resumos...** Salvador: Embrapa, 1999, p. 790-793.

ARGENTA, G. Adubação nitrogenada em milho pelo monitoramento do nível de nitrogênio na planta por meio do clorofilômetro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 109-119, 2003.

BARBOSA FILHO, M. P. et al. Determinação da necessidade de adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro irrigado com auxílio do clorofilômetro portátil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, p. 1843-1848, 2008.

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

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

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

BINOTTI, F. F. S. et al. Fontes, doses e modo de aplicação de N em feijoeiro no sistema plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 68, p. 473-481, 2009.

BIZARI, D. R. et al. Consumo de água e produção de grãos do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto e convencional. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, p. 2073-2079, 2009.

BLACKMER, T. M., VOSS, R. D. **Nitrogen Fertilizer Recommendations for Corn in Iowa**. Iowa, Iowa State University, Cooperative Extension Services, 1997, 4p. Disponível: <<http://www.ipm.iastate.edu/ipm/icm/1998/4-27-1998>>. Acesso em 08 setembro 2012.

BLACKMER, T. M.; SCHEPERS, J. S. Light reflectance compared with other nitrogen stress measurements in corn leaves. **Agronomy Journal**, Madison, v. 86, p. 934-938, 1994.

BOARDMAN, N. K. Comparative photosynthesis of sun and shade plants. **Annual Review of Plant Physiology**, California, v. 28, p. 355-77, 1977.

BONFIM-DA-SILVA, E. M. **Nitrogênio e enxofre na recuperação de capim-braquiária em degradação em Neossolo Quartzarênico com expressiva matéria orgânica**. 2005. 123p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2005.

BOOIJ, R.; VALENZUELA, J. L.; AGUILERA, C. Determination of crop nitrogen status using non-invasive methods. In: HAVERKORT, A. J.; MACKERRON, D. K. L. (Eds.). **Management of nitrogen and water in potato production**. The Netherlands, Wageningen Pers, 2000. p. 72-82.

BORÉM, A.; CARNEIRO, J. E. S., **A Cultura**. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T. J. ; BORÉM, A. Feijão. 2. ed. Viçosa : Ed. UFV, 2008. 600 p.

BORTOLUZZI, E. C.; ELTZ, F. L. Efeito do manejo mecânico da palhada de aveia-preta sobre a cobertura, temperatura, teor de água no solo e emergência da soja em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 449-457, 2000.

BREMNER, J. M.; MULVANEY, C. S. **Nitrogen total**. In: PAGE, A. L. (Ed.). *Methods of soil analysis*. Part 2. Madison: American Society of Agronomy, 1982. p. 595-624.

BRITO, M. M. P. **Marcha de absorção de nitrogênio do solo, do fertilizante e da fixação biológica em caupi (*Vigna unculata* (L.) Walp.) e feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) determinada usando <sup>15</sup>N**. 1992. 197 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1992.

BUSATO, C. et al. Seasonal variation and threshold values for chlorophyll meter readings on leaves of potato cultivars. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 33, p. 2148-2156, 2010.

CALVACHE, M. et al. O. Adubação nitrogenada no feijão sob estresse de água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25, Viçosa, 1995. **Anais...** Viçosa, SBCS, 1995. v. 2, p. 649-651.

CAMARGO, F. A. C. et al. **Nitrogênio orgânico do solo**. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O., (Eds.). *Fundamentos da matéria orgânica do solo*. Porto Alegre, Genesis, 1999. p. 117-137.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F. et al. (Eds.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 375-470.

CARDOSO NETO, F.; GUERRA, H. O. C.; CHAVES, L. H. G. Natureza e parcelamento de nitrogênio na produção e qualidade dos frutos do meloeiro. **Caatinga**, Mossoró, v. 19, p. 153-160, 2006.

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

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

CARVALHO, W. A.; ESPINDOLA, C. R.; PACCOLA, A. A. Levantamento de solos da Fazenda Lageado – Estação Experimental “Presidente Médice”. **Boletim Científico da Faculdade de Ciências Agrônômicas**, Botucatu, 1983. 95 p.

CERETTA, C. A. et al. Produção e decomposição de fitomassa de plantas invernais de cobertura de solo e milho, sob diferentes manejos da adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, p. 49-54, 2002.

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.

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

COELHO, A. M. et al. Balanço de nitrogênio ( $^{15}\text{N}$ ) em um Latossolo vermelho-escuro, sob vegetação de cerrado, cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 15, p. 187-193, 1991.

COLOZZA, M. T. et al. Repostas de *Panicum maximum* cv. Aruana a doses de nitrogênio. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 57, p. 21-32, 2000.

CONSELHO NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Brasília, DF). **Comparativo da área, produção e produtividade**: série histórica. 2014. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/safras.asp>>. Acesso em: 10 de abril de 2014.

COSTA, K. A. P. et al. Doses e fontes de nitrogênio em pastagem de capim-marandu. I - Alterações nas características químicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 1591-1599, 2008.

COSTA, R. C. L. et al. Efeito da água e do nitrogênio sobre a fotossíntese, respiração e resistência estomática em *Phaseolus vulgaris*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 23, p. 1371-1379, 1988.

COSTA, S. N. da. et al. Mobilidade do nitrato em colunas de solo sob condições de escoamento não permanente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, p. 190-194, 1999.

- CRUSCIOL, C. A. C. et al. Fontes e doses de nitrogênio para o feijoeiro em sucessão a gramíneas no Sistema Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 1545-1552, 2007.
- CRUSCIOL, C. A. C. et al. Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo forrageiro no plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 2, p. 161-168, 2005.
- CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; CASTRO, G. S. A. Capacidade recicladora das braquiárias e a influência de resíduos orgânicos no balanço de nutrientes do solo. In: FANCELLI, A. L. (Org.). **Milho: produção e produtividade**. Piracicaba: USP/ESALQ/LPV, 2011. p. 121-145.
- DEL PELOSO, M. J. et al. Cultivo irrigado em terras altas. In: ARAÚJO, R. S. et al (Eds.) **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: POTAFÓS, 1996, p. 571-588.
- DINIZ, A. R. et al. Resposta da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) à aplicação de nitrogênio (cobertura e semeadura) e de molibidênio foliar. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, n. 5., Goiânia, 1996. **Anais...** Goiânia: EMBRAPA, CNPAF, 1996. p. 73-75.
- DINIZ, A. R. **Resposta da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) à aplicação de nitrogênio (semeadura e cobertura) e de doses de molibidênio foliar**. 1995. 60 p. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1995.
- DWYER, L. M. Quantifying the nonlinearity in chlorophyll meter response to corn leaf nitrogen concentration. **Journal of Plant Science**, Nova York, v. 75, p. 179-182, 1995.
- EILERS, K. G et al. Digging deeper to find unique microbial communities: The strong effect of depth on the structure of bacterial and archaeal communities in soil. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 50, p. 58-65, 2012.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Cultivares de feijão**. Disponível em: < <http://www.cnpaf.embrapa.br/feijao/index.htm>>. Acesso em: 5 de dezembro de 2009.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema brasileiro de pesquisa do solo. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.
- ERNANI, P. R., L. et al. Lixiviação e imobilização de nitrogênio num nitossolo como variáveis da forma de aplicação da uréia e da palha de aveia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 993-1000, 2002.

FAGERIA, N. K. **Produção de sementes sadias de feijão comum em várzeas tropicais.** Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA Arroz e Feijão, n. 4, Dez. 2004. Disponível em: <<http://www.sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br>>. Acesso em: 10 agosto de 2014.

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

FAGERIA, et al. **Massa da matéria seca da parte aérea e absorção de nitrogênio pelo feijoeiro em solo de várzea.** Documentos, IAC, Campinas, 85, 2008.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de feijão.** Piracicaba: Livroceres, 2007. 386 p.

FERNÁNDEZ, F.; GEPTS, P.; LÓPES, M. Etapas **de desarrollo de la planta de frijol (Phaseolus vulgaris L.)**. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1986. 34p.

FERREIRA, A. N. et al. Estirpes de *Rhizobium tropici* na inoculação do feijoeiro. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, p. 507-512, 2000.

FERRI, M. G. **Fisiologia vegetal.** v. 1, 2 ed. Revista e atualizada. Editora E.P.U, 1998.

FONTES, P. C. R. **Diagnóstico do estado nutricional das plantas.** Viçosa: UFV, 2001. 122 p.

FURLANI JUNIOR, E. et al. Correlação entre leituras de clorofila e níveis de nitrogênio aplicados em feijoeiro. **Bragantia**, Campinas, v. 55, p. 171-175, 1996.

FURTINI, I. V. et al. Resposta diferencial de linhagens de feijoeiro ao nitrogênio. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, p. 1696-1700, 2006.

GARCIA, A.; SÁ, M. E. de; RODRIGUES, R. S.; CASTAN, D. O. C.; MARQUES, L. M.; SILVA, M. P. da. Teor de clorofila em feijoeiro cv. Pérola em função de doses de N, cultivado sobre quatro coberturas de solo em plantio direto. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 10., 2011, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Embrapa Arroz e Feijão, 2011. 1 CD-ROM.

GIL, P. T. et al. Índice SPAD para o diagnóstico do estado de nitrogênio e para o prognóstico da produtividade da batata. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, p. 611-615, 2002.

GODOY, L. J. G. de. et al. Índice relativo de clorofila e o estado nutricional em nitrogênio durante o ciclo do cafeeiro fertirrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 217-226, 2008.

- GODOY, L. J. G. de; VILLAS BÔAS, R. L.; BÜLL, L. T. Utilização da medida do clorofilômetro no manejo da adubação nitrogenada em plantas de pimentão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 1049-1056, 2003.
- GOMES A. A., ARAÚJO, A. P., ROSSIELLO, R. O. P. Acumulação de biomassa, características fisiológicas e rendimento de grãos em cultivares de feijoeiro irrigado e sob sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, p. 1927-1937, 2000.
- GOMES JÚNIOR, F. G. et al. Rendimento do feijoeiro de inverno em resposta à época de semeadura e adubação nitrogenada em cobertura em diferentes estádios fenológicos. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 27, p. 77-81, 2005.
- GOMES JÚNIOR, F. G.; SÁ, M. E.; VALÉRIO FILHO, W. V. Nitrogênio no feijoeiro em sistema de plantio direto sobre gramíneas. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 30, p. 387-395, 2008.
- GONÇALVES, C. N.; CERETTA, C. A. Plantas de cobertura de solo antecedendo o milho e seu efeito sobre o carbono orgânico do solo, sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 307-313, 1999.
- GONÇALVES, C. N.; CERETTA, C. A.; BASSO, C. J. Sucessões de culturas com plantas de cobertura e milho em plantio direto e sua influência sobre o nitrogênio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 153-159, 2000.
- GONÇALVES, J. L. M.; MENDES, K. C. F. S.; SASAKI, C. M. Mineralização de nitrogênio em ecossistemas florestais naturais e implantados do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 601-616, 2001.
- HAYNES, R. J. **Mineral nitrogen in the plant-soil system**. Londres: Academic Press, 1986. 483 p.
- HELMISAARI, H. Nutrient retranslocation within the foliage of *Pinus sylvestris*. **Tree Physiology**, Oxford, v. 10, p. 4548, 1992.
- HUSSAIN, F. et al. Use of chlorophyll meter sufficiency indices for nitrogen management of irrigated rice in Asia. **Agronomy Journal**, Madison, v. 92, p. 875-9. 2000.
- INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ (Londrina, PR). **Cultivares produzidas pelo IAPAR**. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=71>>. Acesso em: 5 de abril de 2011.
- JEMISON, J. M.; LYTLE, D. E. Field evaluation of two nitrogen testing methods in maize. **Journal Production Agriculture**, Madison, v. 9, p. 108-113, 1996.

KANEKO, F. H. et al. Mecanismos de abertura de sulcos, inoculação e adubação nitrogenada em feijoeiro em sistema plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 69, p. 125-133, 2010.

KEENEY, D. R.; NELSON, D. W. **Nitrogen inorganic forms**. In: Page, A. L. (Ed.). *Methods of soil analysis. Part 2*. Madison: American Society of Agronomy, 1982. p. 643-698.

KIKUTI, H et al. Nitrogênio e fósforo em feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) variedade cultivada BRS MG Talismã. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 27, p. 415-422, 2005.

KLUTHCOUSKI, J. et al. **Manejo antecipado do nitrogênio nas principais culturas anuais**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005. 63 p. (Documentos Embrapa Arroz e Feijão, 188).

KRAMER, P. J.; KOSLOWSKI, T. **Physiology of woods plants**. New York: Academic, 1979. 811 p.

KREUTZER, K. Effects of forest liming on soil processes. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 168/169, p. 447- 470, 1995.

LAGO, F. J. do. et al. Frações nitrogenadas e eficiência nutricional em linhagens de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, p. 440-447, 2009.

LAMOTHE, A. G. **Manejo del nitrógeno para aumentar productividad em trigo**. Montevideo, INIA, 1994. 26 p. (Série Técnica, 54).

LANE, D. R.; BASSIRIRAD, H. Differential responses of tallgrass prairie species to nitrogen loading and varying ratios of  $\text{NO}_3^-$  to  $\text{NH}_4^+$ . **Functional Plant Biology**, Victoria, v. 29, p. 227-235, 2002.

LARA CABEZAS, W. A. R. et al. Balanço da adubação nitrogenada sólida e fluída de cobertura na cultura de milho, em sistema de plantio direto no Triângulo Mineiro (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 363-376, 2000.

LARA CABEZAS, W. A. R. et al. Influência da cultura antecessora e da adubação nitrogenada na produtividade de milho em sistema plantio direto e solo preparado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, p. 1005-1013, 2004.

LI, L. et al. Leaf Positions Suitable for N Diagnosis of Potato with a SPAD Meter. **Plant Production Science**, v. 15, p. 317-322, 2012.

LOMBARDI NETO, F.; DRUGOWICH, M. **Manual técnico de manejo e conservação de solo e água**. Campinas: CATI, 1994. v. 2. 168 p.

MACEDO, E. et al. Manejo da adubação nitrogenada no feijoeiro irrigado sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 32, p. 1-5, 2002.

MAIA, C. E. **Reserva e disponibilidade de nitrogênio pela adição continuada de adubação orgânica e da mineral na cultura do milho em um Podzólico Vermelho-Amarelo Câmbico**. 1999. 55f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.

MAIA, S. C. M. et al. The nitrogen sufficiency index underlying estimates of nitrogen fertilization requirements of common bean. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p. 183-191, 2012.

MAIA, S. C. M. et al. Estimativa da necessidade de nitrogênio em cobertura no feijoeiro IAC Alvorada com clorofilômetro portátil. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, p. 2229-2238, 2013.

MALAVOLTA, E., VITTI, G. C., OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1997. 308 p.

MARSCNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. London: Academic Press, 1995, 889 p.

MEIRA, F. A. et al. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio no feijoeiro irrigado cultivado em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, p. 383-388, 2005.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. 4.ed. Worblaufen Bern: International Potash Institute, 1987, 687 p.

MINOTTI, P. L, HALSETH, D. E., SIECZKA, J. B. Field chlorophyll measurements to assess the nitrogen status of potato varieties. **HortScience**, Alexandria, v. 29, p. 1497-1500, 1994.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2.ed. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2006. 729 p.

MUCHOVEJ, R. M. C.; RECHEIGL, J. E. Impacts of nitrogen fertilization of pastures and turfgrasses on water quality. In: LAL, R.; STEWART, B. A. (Eds.) **Soil processes and water quality**. Lewis Publication, 1994, p. 91-135.

NELSON, D. L.; COX, M. M. **Lehninger principles of biochemistry**. 3. ed. New York: Worth Publishers, 2000. 1152 p.

NUNES, J. C. S. Efeito da palhada de sorgo localizada na superfície do solo em característica de plantas de soja e milho. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 50, p. 115-126, 2003.

OLIVEIRA, F. C. et al. Lixiviação de nitrato em um Latossolo Amarelo distrófico tratado com lodo de esgoto e cultivado com cana-de-açúcar. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, p. 171-180, 2001.

OLIVEIRA, I. P.; ARAÚJO, R. S.; DUTRA, L. G. Nutrição mineral e fixação biológica de nitrogênio. In: ARAÚJO, R. S. et al. (Eds.). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafos, 1996. p. 169-221.

OLIVEIRA, T. K.; CARVALHO, G. J.; MORAES, R. N. S. Plantas de cobertura e seus efeitos sobre o feijoeiro em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, p. 1079-1087, 2002.

PAN, Y. et al. Importance of foliar nitrogen concentration to predict forest productivity in the mid-Atlantic region. **Forest Science**, Bethesda, v. 3, p. 279-289, 2004.

PAULETTI, M. W. A importância da palhada e da atividade biológica na fertilidade do solo. In: CURSO SOBRE ASPECTOS BÁSICOS DE FERTILIDADE E MICROBIOLOGIA DO SOLO EM PLANTIO DIRETO, 3., 1999, Cruz Alta. **Palestras...** Passo Fundo: Aldeia Norte. 1999. p. 56-66.

PELEGRIN, R. et al. Resposta da cultura do feijoeiro à adubação nitrogenada e à inoculação com rizóbio. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 33, p. 219-226, 2009.

PEREZ, A. A. G. et al. Extração e exportação de nutrientes pelo feijoeiro adubado com nitrogênio, em diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira Ciência Solo**, Viçosa, v. 37, p. 1276-1287, 2013.

PERIN, A. et al. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, p. 35-40, 2004.

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.

PILLON, C. N. et al. Carbono e nitrogênio de um Argissolo Vermelho sob floresta, pastagem e mata nativa. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.41, 2011.

PORTES, T. A. Ecofisiologia. In: ARAÚJO, R. S. et al. (Coords.). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Potafos, 1996. p.101- 137.

PRADO, R. M. **Nutrição de Plantas: apostila**. Jaboticabal: FCAV, 2007. 34p.

PRIMAVESI, O.; PRIMAVESI, A. C.; ARMELIN, M. J. A. Qualidade mineral e degradabilidade potencial de adubos verdes conduzidos sobre Latossolos, na região

tropical de São Carlos, SP, Brasil. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 77, p. 89-102, 2002

RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas Instituto Agrônômico, 2001. 285p.

RAMBO, L. et al. Testes de nitrato no solo como indicadores complementares no manejo da adubação nitrogenada em milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, p. 1279-1287, 2004.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira Ciência Solo**, Viçosa, v. 31, p. 1609-1623, 2007.

RANGEL, et al. Carbono orgânico e nitrogênio total do solo e suas relações com os espaçamentos de plantio de cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2051-2059, 2008.

REIS, A. R. et al. Diagnóstico da exigência do cafeeiro em nitrogênio pela utilização do medidor portátil de clorofila. **Bragantia**, Campinas, v. 65, p. 163-171, 2006.

RODRIGUES, M. B.; KIEHL, J. C. Distribuição e nitrificação da amônia proveniente da ureia aplicada ao solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 16, p. 403-408, 1992.

ROMANINI JUNIOR, A. et al. Avaliação da inoculação de rizóbio e adubação nitrogenada no desenvolvimento do feijoeiro, sob sistema plantio direto. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, p. 74-82, 2007.

ROSOLEM, C. A. Calagem e adubação mineral. In: ARAÚJO, R. S. et al. (Coords.). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafôs, 1996. p. 353-390.

ROSOLEM, C. A.; VAN MELLIS, V. Monitoring nitrogen nutrition in cotton. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 1601-1607, 2010.

ROZANE, D. E. et al. Influência do cultivar, do tipo de folha e do tempo de cultivo na medida indireta da clorofila (SPAD) em mudas de goiabeira. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, p. 1538-1543, 2009.

RYLE, G. J. A.; HESKETH, J. D. Carbon dioxide uptake in nitrogen deficient plants. **Crop Science**, Madison, v. 9, p. 451-454, 1969.

SÁ, J. C. M. **Manejo do nitrogênio na cultura do milho no sistema de plantio direto**. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1996. 24 p.

SÁ, M. E. et al. Efeito da adubação nitrogenada na cultura do feijoeiro cultivar Carioca, cultivada em um solo sob vegetação de cerrado. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 1., Goiânia, 1982. **Anais...** Goiânia: EMBRAPA, CNPAF, 1982. p. 161.

SAMPAIO JUNIOR, J. D. et al. Produção de mini-tubérculo semente de batata, em função de doses de nitrogênio aplicadas ao substrato. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 24, p. 1-9, 2008.

SANTOS, A. B. dos; FAGERIA, N. K. Características fisiológicas do feijoeiro em várzeas tropicais afetadas por doses e manejo de nitrogênio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, p. 23-31, 2008.

SANTOS, A. B. dos; FAGERIA, N. K. Manejo do nitrogênio para eficiência de uso por cultivares de feijoeiro em várzea tropical. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, p. 1237-1248, 2007.

SANTOS, A. B. et al. Resposta do feijoeiro ao manejo de nitrogênio em várzeas tropicais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, p. 1265-1271, 2003

SARKAR, R. K.; SAHA, A.; YAMAGISHI, Y., SAHA, A. **Leaf positional changes in the rates of photosynthesis and specific leaf weight, chlorophyll, nitrogen content and their relationship in rice.** Indian Journal of Plant Physiology, v. 3, p. 135-139, 1998.

SCHIMIDT, E. Nitrification in soil. In: STEVENSON, F. J. et al. (Eds.). **Nitrogen in agricultural soils.** Madison, American Society of Agronomy, 1982. 940 p.

SILVA, A. J. N.; CABEDA, V. S. M.; LIMA, F. W. F. J. Efeito de sistemas de uso e manejo nas propriedades físico-hídricas de um Argissolo Amarelo de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 833-842, 2005.

SILVA, C. A.; VALE, F. R. Disponibilidade de nitrato em solos brasileiros sob efeito da calagem e de fontes e doses de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, p. 2461-2471, 2000.

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

SILVA, M. S.; COSTA, L. A. de M.; BENINCASA, M.; LUCAS JUNIOR., J. de. Avaliação das perdas de nitrato em solo irrigado e submetido à diferentes intensidades de radiação solar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.3, p.82-88, 1999.

SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S. **Matéria orgânica do solo**. In VARGAS, M. A. T., HUNGRIA, M. *Biologia dos solos do cerrado*. Embrapa-CPAC, Planaltina. 1997, p. 465-516.

SILVA, M. G. et al. Manejo do solo e adubação nitrogenada em feijoeiro de inverno. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 61, p. 307-312, 2004.

SILVA, T. R. B. da; ARF, O.; SORATTO, R. P. Adubação nitrogenada e resíduos vegetais no desenvolvimento do feijoeiro em sistema de plantio direto. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 25, p. 81-87, 2003.

SILVA, P. S. L.; MONTENEGRO, E. E.; OLIVEIRA, F. Efeito da remoção de flores e vagens sobre as características do caupi (*Vigna uguiculata* (L) Walp). **Revista Ceres**, Viçosa, v. 40, p. 502-512, 1993.

SILVA, T.R.B. da. et al. Nitrogênio em cobertura no feijoeiro cultivado em plantio direto sobre diferentes coberturas vegetais. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 31, p. 107-111, 2009.

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

SILVEIRA, P. M. et al. Adubação nitrogenada no feijoeiro cultivado sob plantio direto em sucessão de culturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, p. 377-381, 2005.

SORATTO, R. P. et al. Aplicação tardia de nitrogênio no feijoeiro em sistema de plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 64, p. 211-218, 2005.

SORATTO, R. P. et al. Épocas de aplicação de nitrogênio em feijoeiro cultivado após milho solteiro ou consorciado com braquiária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, p. 1351-1359, 2013b.

SORATTO, R. P. et al. Níveis e épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura no feijoeiro irrigado em plantio direto. **Cultura Agrônômica**, Ilha Solteira, v. 10, p. 89-99, 2001.

SORATTO, R. P. et al. Nutrient extraction and exportation by common bean cultivars under different fertilization levels: I - macronutrients. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, p. 1027-1042, 2013a.

SORATTO, R. P.; CARVALHO, M. A. C.; ARF, O. Nitrogênio em cobertura no feijoeiro cultivado em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 259-265, 2006.

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

SORATTO, R. P.; PEREZ, A. A. G.; FERNANDES, A. M. Age of no-till system and nitrogen management on common bean nutrition and yield. **Agronomy Journal**, Madison, v. 106, p. 809, 2014.

SOUZA, C. M. A. et al. Efeito da colheita mecanizada sobre a qualidade de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v. 27, p. 21-29, 2002.

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

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.

TEIXEIRA, C. M. et al. Palhadas e doses de nitrogênio no plantio direto do feijoeiro. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 27, p. 499-505, 2005.

TEIXEIRA, I. R. et al. Resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Pérola) a diferentes densidades de semeadura e doses de nitrogênio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, p. 399-408, 2000.

TOSO, V.; ANDRIOLO, J. L.; RIECK, V. T.; LERNER, M.; SCHMITT, O. J.; SOUZA, J. M. de. Leituras de clorofila em feijoeiro cultivado com diferentes disponibilidades de nitrogênio. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 10., 2011, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Embrapa Arroz e Feijão, 2011. 1 CD-ROM.

VALDERRAMA, M. et al. Fontes e doses de nitrogênio e fósforo em feijoeiro no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, p. 191-196, 2009.

VARVEL, 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**, Madison, v. 61, p. 1233-1239, 1997.

VERDADE, F. C. Dosagem dos nitratos do solo pelo método do ácido fenoldissulfônico. **Bragantia**, Campinas, v. 11, p. 1-12, 1951.

VILLAS BÔAS, R. L. **Doses de nitrogênio para o pimentão aplicadas de forma convencional e através da fertirrigação.** 2001. 123p. Tese (Livre Docência)-Botucatu, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

WANG, S. et al. Positional differences in nitrogen and sugar concentrations of upper leaves relate to plant N status in rice under different N rates. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 96, p. 224-234, 2006.

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

YOKOYAMA, L. P. **Aspectos conjunturais da produção de feijão.** In: AIDAR, H.; KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F. Produção de feijoeiro comum em várzeas tropicais. Santo Antônio de Goiás, Embrapa Arroz e Feijão, 2002. p.249-292.

ZHOU, Q.; WANG, J. Comparison of upper leaf and lower leaf of rice plants in response to supplemental nitrogen levels. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 26, p. 607-617, 2000.