

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Eficiência da adubação nitrogenada no sistema solo-soja em
ambiente tropical e subtropical**

Clovis Pierozan Junior

Tese apresentada para obtenção do título de
Doutor em Ciências. Área de concentração:
Fitotecnia

**Piracicaba
2016**

Clovis Pierozan Junior
Engenheiro Agrônomo

Eficiência da adubação nitrogenada no sistema solo-soja em ambiente tropical e subtropical

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **JOSÉ LAÉRCIO FAVARIN**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

Piracicaba
2016

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP**

Pierozan Junior, Clovis

Eficiência da adubação nitrogenada no sistema solo-soja em ambiente tropical e subtropical / Clovis Pierozan Junior. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2016.

100 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. *Glycine max* 2. N marcado 3. Adubação de cobertura 4. NUE 5. Ndff 6. Cerrado
I. Título

CDD 633.34
P619e

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

À minha família,

meus pais Clovis Pierozan e Cleuzy Terezinha Orane Pierozan

meu irmão Carlos Rodolfo Pierozan

meus avós Lídia e Calil Orane (*in memoriam*)

Dedico

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus, criador de tudo e de todos, sem o qual nada seríamos.

À Gloriosa, Inspiradora e Maravilhosa Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” **ESALQ** e à Universidade de São Paulo, **USP**, exemplo de excelência no nosso País, ao Departamento de Produção Vegetal e ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia pela oportunidade de realizar o curso de doutorado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pelo fornecimento de bolsa nos primeiros meses do Doutorado e à Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp) e assessores *ad hoc* pelo apoio financeiro do processo de bolsa de doutorado (2013/06515-2).

À Fundação Agrisus – Agricultura Sustentável, pelo apoio financeiro à pesquisa do processo 1044/12. Também agradeço a todos os seus funcionários os quais sempre esclareceram dúvidas, e também a partir dos relatórios apresentados, levantaram questionamentos que contribuíram para que a investigação fosse realizada para resolver questões importantes sobre o tema.

Ao meu orientador **Prof. Dr. José Laércio Favarin**, pelos ensinamentos não apenas acadêmicos e científicos, mas também sobre a vida, pelo seu empenho em construir um promissor grupo de pesquisa e o mais importante, tratar-nos como uma família.

Ao Prof. Paulo César Ocheuze Trivelin, pelas orientações sobre a pesquisa, e ao Prof. Jackson Kawakami por me indicar o artigo que despertou o meu interesse sobre o tema dessa Tese.

Às Fazendas Cerrado Chão Quente de propriedade do Senhor José Luiz Motta de Almeida, e Cidade Verde propriedade do Senhor Wilson Daltrozo, agradeço veemente por toda estrutura fornecida, fundamental para o trabalho. Posso afirmar que os senhores têm parte na construção da ciência nesse país. Além disso, agradeço por todas as gentilezas e tratamento espetacular que recebi de vocês e de seus familiares.

Bom, dois anos de experimentos em dois locais a 1.500 km de distância um do outro, exige trabalho árduo e a lista de pessoas que contribuíram é grande...

Agora, a lista é grande...

Começando pela equipe, meus amigos Boia, Txarli Braum, Lasko e Kaskata, escreveria folhas de agradecimentos a vocês e um livro de todas as passagens nessas intermináveis viagens, experimentos, conhecimentos compartilhados. Vocês sabem, foram minha família durante esses anos. Menções honrosas nessa lista ao Prego, Rafaela e Bobodá.

Sauípe, Amanda, Ponto e Vírgula, fundamentais.

Palanque, Nissin, Frexi, Marrone, Mamãe, Curtiço, Troca-troca, Portuga, Schwantes, Lixo, Jabulani, Lambe-lambe, Mainha, Mobilete, Orgasmo, Pititoso, Lirika, Muié, Cearazinho, Du-Crime, agradeço a imensa colaboração de vocês estagiários e amigos, quase todos viajaram comigo para os experimentos, e os que não foram, ajudaram com as intermináveis amostras.

Ao Ceará, pela ajuda na formatação e tradução de trechos e capítulos da tese e também pela amizade.

À Ceres Consultoria Agronômica e seus funcionários, em especial ao Guilherme e família, e ao Maurício.

Aos Professores da banca de qualificação, Prof. Trivelin, Prof^{ra}. Tsai e Prof. Durval, pelas correções, opiniões, dicas e ensinamentos.

Luciane Toledo, Silvia Borghesi, seu Tino, seu Wilson, Netão e Edson 50X, prestativos e queridos, na ESALQ.

Funcionários do CENA, em especial à Ana Paula.

Funcionários das Fazendas, esse trabalho não existiria sem você Adão, Marquinho, João (Cerrado Chão-Quente), Márcio (Cidade Verde).

À todas as pessoas que deram contribuições técnicas, conselhos e opiniões sobre o trabalho.

À minha namorada Kélin, seus pais e toda família pelo apoio.

Ao apoio dos amigos, além dos supracitados, que conviveram comigo nesse período de doutorado, em especial os da República Paraná.

Muito obrigado!

“Seja você quem for, seja qual for a posição social que você tenha na vida, a mais alta ou a mais baixa, tenha sempre como meta muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus, que um dia você chega lá. De alguma maneira você chega lá. ”

Ayrton Senna da Silva

SUMÁRIO

RESUMO	13
ABSTRACT	15
1 INTRODUÇÃO.....	21
Referências	26
2 FERTILIZAÇÃO NITROGENADA NA SOJA: EFEITOS NA PRODUTIVIDADE E FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO	31
Resumo	31
Abstract.....	31
2.1 Introdução	32
2.2 Material e métodos	33
Área experimental.....	33
Clima	34
Delineamento e tratamentos	35
Aplicação de N	35
Análises da FBN.....	36
Colheita.....	37
Procedimento estatístico	37
2.3 Resultados.....	37
2.4 Discussão	44
2.5 Conclusão	47
Referências	48
3 EFICIÊNCIA DO USO DE FERTILIZANTE NITROGENADO NA CULTURA DA SOJA.....	53
Resumo	53
Abstract.....	53
3.1 Introdução.....	54
3.2 Material e Métodos	55
Área experimental.....	55
Clima	56
Delineamento experimental e tratamentos	56
Aplicação do fertilizante com ¹⁵ N, amostragem e análise.....	57
Colheita.....	58

Procedimento estatístico	58
3.3 Resultados	59
Produtividade e extração de N	59
Quantidade de N na planta proveniente do fertilizante	61
Recuperação de N nos grãos, P.A., raiz e NUE	63
Ndff e N recuperado no solo e no solo planta (solo + planta)	65
3.4 Discussão	67
3.5 Conclusão	70
Referências	70
4 ABSORÇÃO E ALOCAÇÃO DE NITROGÊNIO APLICADO EM BAIXAS DOSES VIA FOLIAR EM SOJA.....	75
Resumo.....	75
Abstract	75
4.1 Introdução	76
4.2 Material e Métodos	78
Área experimental	78
Delineamento experimental e tratamentos	80
Aplicação do fertilizante com ¹⁵ N, amostragem e análise	80
Colheita	81
Procedimento estatístico	81
4.3 Resultados	82
4.4 Discussão	89
4.5 Conclusão	93
Referências	93
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	99

RESUMO

Eficiência da adubação nitrogenada no sistema solo-soja em ambiente tropical e subtropical

A produtividade de soja no mundo aumenta há décadas, em razão do avanço genético e das técnicas de cultivo e, em especial, pelo avanço da ciência na melhoria da fixação biológica de nitrogênio (FBN), nutriente exigido em grande quantidade pela soja. Existe a hipótese que a quantidade de nitrogênio (N) fornecida pela FBN e pelo solo não sejam suficientes para dar continuidade ao aumento da produtividade média hoje atingida (3 Mg ha^{-1}), ou seja, o N seria o fator limitante para a soja. Essa hipótese é reforçada quando consideramos que o cultivo de soja é realizado em solos com baixo fornecimento de N, e em condições subótimas para a FBN. Neste contexto, seria necessário a adubação nitrogenada para complementar a demanda da cultura pelo nutriente. Dessa forma, caberia o uso da adubação nitrogenada para complementar a demanda da soja pelo N? A demanda de N pela soja, pode até ser complementada via fertilização. Entretanto, a mesma só faz sentido se não houver prejuízo à FBN, processo que sempre deve ser priorizado. Esta pesquisa teve como objetivo verificar a produtividade da soja e, compreender a resposta da planta à fertilização nitrogenada, no que diz respeito ao aproveitamento do N do fertilizante e sua influência na FBN. Para tanto, foram realizados dois anos de experimentos em ambiente tropical (Cerrado, Estado do Mato Grosso) e subtropical (sul do Estado de São Paulo). As fontes de variação experimentais foram doses (0, 20, 40, 80 e 120 kg ha^{-1}) de N, e épocas de aplicação do fertilizante (VE, e R3) utilizando ureia aplicada com incorporação ao solo. Outro experimento foi realizado com a aplicação de ureia em baixas doses ($650, 1300$ e 1950 g ha^{-1} de N) em R1 ou R3 em Ambiente subtropical. Em ambos experimentos, foi utilizado o N marcado com o isótopo ^{15}N . Não houve resposta produtiva da soja às doses de N aplicadas. Entre as épocas de aplicação, foi verificado que em uma das safras no Cerrado, houve maior produtividade (400 kg ha^{-1}) com o fornecimento de N em R3. Porém essa resposta é obtida em determinadas condições ambientais, ou seja, o fornecimento de N não é garantia de aumento de produção, e a resposta é incerta. Houve redução da FBN, em porcentagem (% de N na planta derivado da atmosfera), da ordem de 15% entre a soja sem N e a soja com 120 kg N ha^{-1} . A extração de N total foi 8% maior com a adubação em R3. O aumento do N (20 kg ha^{-1}) da parte aérea com a aplicação em R3 no Cerrado, acompanhou o aumento de produtividade, mas esse aumento não foi provocado pelo N derivado do fertilizante (Ndff). A eficiência de uso do N (NUE) apresentou valores próximos a 50%, e, foi semelhante entre as duas épocas de aplicação de N em ambos os ambientes. No outro experimento, o fornecimento de N foliar não aumentou a produtividade, embora a NUE seja alta, com média de 64%.

Palavras-chave: *Glycine max*; N marcado; Adubação de cobertura; NUE; Ndff; Cerrado

ABSTRACT

Efficiency of nitrogen fertilization in the soil-soybean system in tropical and subtropical environment

The soybean yield in the world has been increasing for decades, due to the cultivation techniques, the cultivars, and the advancement of science in improving the biological nitrogen fixation (BNF), nutrient required in large quantities for soybeans. There is hypothesis that the quantity of nitrogen (N) provided by the BNF and soil are not enough to continue to increase yields today achieved (3 Mg ha^{-1}), or N would be the limiting factor for soybeans. This hypothesis is reinforced when we consider that soybean cultivation is carried out in soils with low N supply, and suboptimal conditions for BFN. In this scenario, it would be the use of nitrogen fertilizer to supplement the soybean demand for N? The demand of N by soybeans may even be supplemented via fertilization. However, it only makes sense if there is (NUE) o damage to the BFN, a process that should always be prioritized. Many experiments with supply of mineral N have been conducted. Some tested negative, others positive. Producers are also conducting nitrogen fertilization in soybean, without proper knowledge of the subject. This study aimed to evaluate the production of soybean response, and understand the reaction of the plant to nitrogen fertilization, with regard to the use of N fertilizer and its influence on BFN. For that, two years of experiments were performed in tropical environment (Cerrado, Mato Grosso) and subtropical (southern state of São Paulo). The experimental variation sources were nitrogen rates, and fertilizer application times, using N marked with the ^{15}N isotope. The application of nutrients has been tried in the soil, and also in soybean leaves. Verified productive soybean response to the supply of N in the Cerrado where the amount of N available to the crop is low. However such response is achieved under certain environmental conditions or N supply is no guarantee production increase, and the response is uncertain. The BFN is reduced, if not in absolute terms (kg ha^{-1} de N fixed by FBN), in percentages (% of N at plant from atmosphere). The total N extraction was always higher with fertilization in R3, and the Cerrado environment the application at this stage caused increased yield, but only in one crop season. Increasing Number of shoot with the application in R3 in Primavera do Leste, accompanied the increase in productivity, but this increase was not caused by N fertilizer (Ndff). The N use efficiency showed values close to 50% and was similar between the two N application timing in both environments. In the tropical environment NUE decreased with increasing N rate. In subtropical environment NUE was constant. The supply of leaf N did not increase productivity, although the NUE is high, averaging 64%.

Keywords: *Glycine max*; N labeled; Cover fertilization; NUE; Ndff; Cerrado

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Esquema do problema relativo ao balanço do nitrogênio na cultura da soja, com base em diferentes estimativas de produtividade.....	22
Figura 1.2 - Hipóteses esquemáticas sobre a ação do N do fertilizante na produção de fotoassimilados, manutenção do aparato fotossintético e da FBN	25
Figura 2.1 - Pluviosidade, temperatura média mensal nas safras a) 2012/2013 e b) 2013/2014 em Primavera do Leste	34
Figura 2.2 - Pluviosidade, temperatura média mensal nas safras a) 2012/2013 e b) 2013/2014 em Taquarituba	35
Figura 2.3 - Efeito da dose de N na produtividade de soja em duas safras, em dois locais e duas épocas de aplicação de N na cultura.....	38
Figura 2.4 - Efeito da dose de N no Nur de soja em duas safras, em dois locais e duas épocas de aplicação de N na cultura.....	40
Figura 2.5 - Nur da soja: a) interação entre locais e épocas de aplicação de N; b) interação entre locais e safras	40
Figura 2.6 - Naa da soja: a) interação entre locais e épocas de aplicação de N; b) interação entre safras e épocas de aplicação de N.....	41
Figura 2.7 - Nnit na soja, interação entre locais e safras	42
Figura 2.8 - Rur da soja: a) interação entre locais e datas; b) interação entre locais e safras; c) interação entre safras e épocas.....	43
Figura 2.9 - %Ndfa na soja: a) interação entre locais e épocas; b) interação entre locais e safras; c) interação entre safras e épocas	43
Figura 2.10 - Efeito da dose de N na soja: a) Rur e b) %Ndfa em duas safras e dois locais....	44
Figura 3.1 - Pluviosidade, temperatura média mensal na safra 2013/2014 em Primavera do Leste.....	56
Figura 3.2 - Pluviosidade, temperatura média mensal na safra 2013/2014 em Taquarituba....	56
Figura 3.3 - Ndff na soja: a) grãos; b) P.A.; c) raiz; d) total da planta.....	63
Figura 3.4 - N recuperado na soja: a) grãos; b) P.A. e c) NUE da soja.....	65
Figura 3.5 - Ndff e N recuperado: a) Ndff no solo; b) N rec. no solo; c) Ndff no solo planta; d) N rec. no solo planta	67
Figura 4.1 - Pluviosidade, temperatura média mensal, nas safras 2012/2013 e 2013/2014.....	79

Figura 4.2 - Balanço hídrico climatológico e datas de semeadura e aplicação dos tratamentos em Taquarituba – SP no período de desenvolvimento da cultura da soja; a) safra 2012/13; b) safra 2013/14	79
Figura 4.3 - N na P.A. da soja em diferentes, doses de adubação foliar de N e estádios de crescimento da cultura da soja em duas safras.	83
Figura 4.4 - Porcentagem de átomos de ^{15}N na soja: a) grãos, b) P.A. e c) total. NDFf na soja: d) grãos, e) P.A. e f) total.	87
Figura 4.5 - a) ^{15}N acúmulo no grão, b) ^{15}N acúmulo na PA e c) NUE.....	89
Figura 4.6 - Balanço da adubação nitrogenada foliar na cultura da soja em diferentes estádios de desenvolvimento em duas safras de cultivo (médias das doses)	93

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Análise conjunta entre anos, locais, épocas de aplicação e doses de N para produtividade de soja, Nur, Naa, Nnit, Rur e %Ndfa	38
Tabela 2.2 - Análise conjunta de produtividade de grãos de soja submetida a doses e épocas de fertilização nitrogenada em Primavera do Leste – MT e Taquarituba – SP	39
Tabela 3.1 - Análise conjunta de produtividade de grãos e extração total de N pelas plantas de soja, submetida à doses e épocas de aplicação de fertilizante nitrogenado	60
Tabela 3.2 - Análise conjunta de extração de N nos grãos, parte aérea e raízes de soja submetida à doses e épocas de aplicação de fertilizante nitrogenado.....	61
Tabela 3.3 - Análise conjunta de Ndff nos grãos, parte aérea e raízes e total da planta de soja submetida à doses e épocas de aplicação de fertilizante nitrogenado.....	62
Tabela 3.4 - Análise conjunta da recuperação de N nos grãos, parte aérea e raízes e NUE de soja submetida à doses e épocas de aplicação de fertilizante nitrogenado	64
Tabela 3.5 - Análise conjunta Ndff e recuperado no solo, e, no solo mais planta em soja submetida à doses e épocas de aplicação de fertilizante nitrogenado.....	66
Tabela 4.1 - Análise de variância conjunta entre os tratamentos e safras para a produtividade, N grãos N PA e N total	83
Tabela 4.2 - Análise de variância conjunta entre os tratamentos e safras para átomos de ¹⁵ N, nos grãos, PA e total (%) e Ndff	85
Tabela 4.3 - Análise de variância entre a dose e estágio para as safras 2012/13 e 2013/14, para acúmulo de ¹⁵ N no grão, PA e NUE	88

1 INTRODUÇÃO

O potencial produtivo da cultura da soja (*Glycine max* [L.] Merrill) é estimado entre 6 a 8 Mg ha⁻¹ no caso de não existirem limitações de natureza climática, edáfica e biótica (SPECHT et al., 1999; COOPER, 2003). No Brasil a produtividade média da cultura é da ordem de 2,7 Mg ha⁻¹ conforme dados da CONAB (2012), no entanto, produtores altamente tecnificados se destacam com altas produtividades, com valores entre 4,5 a 6,0 Mg ha⁻¹ sem a utilização da irrigação (CESB, 2012).

Em razão da grande demanda e exportação de nitrogênio (N) pela soja, devido ao elevado teor de proteína nos grãos, média de 420 gramas por kg de grãos, estima-se que para produzir 1 Mg de grãos a cultura necessite de 80 kg de N (HUNGRIA et al., 2001; SALVAGIOTTI et al., 2008), que para produtividade média é atendida, principalmente, pela fixação biológica (FBN) e pela reserva do nutriente presente no solo. Há dúvidas quando se pretende alcançar altas produtividades, como acima de 4 Mg ha⁻¹.

A quantidade de N fornecido pelo solo varia de acordo com a textura, teor de matéria orgânica (MOS), quantidade e qualidade de resíduos vegetais e o clima da região. Há relatos de que o solo fornece de 15 a 60 kg ha⁻¹ para a cultura da soja (HUNGRIA et al., 2006; FRAZÃO et al., 2010; SOUZA e MELO, 2000), o que reforça a importância do processo da FBN, o qual contribui com 70 até 200 kg ha⁻¹ de N (UNKOVICH e PATE, 2000; ALVES et al., 2003; ALVES et al., 2006; PEOPLES et al., 2008; HERRIDGE et al., 2008).

A FBN é um processo a ser explorado ao máximo, mas que, possivelmente não é suficiente para fornecer N para produtividade superior a 4 Mg ha⁻¹ em determinados agroecossistemas. Resultados de pesquisas indicam que a FBN não foi suficiente para atender a exigência da soja, uma vez que contribuiu com 50 a 60% da necessidade de N, cuja diferença foi complementada pelo N do solo para produtividades semelhantes a média brasileira (2,7 Mg ha⁻¹) (UNKOVICH e PATE, 2000; GAN et al., 2003; KUBOTA et al., 2008; SALVAGIOTTI et al., 2008).

Em alguns estudos com fertilização nitrogenada em soja foram alcançadas produtividades maiores do que 4 Mg ha⁻¹ devido ao fornecimento de N (BREVEDAN et al., 1978; WESLEY et al., 1998; RAY et al., 2006; TAYLOR et al., 2005; MENDES et al., 2008). Entretanto outros trabalhos com fertilização nitrogenada alcançaram os mesmos patamares sem efeito do N mineral (HAM et al., 1978; KOUTROUBAS et al., 1998; SCHMITT et al., 2001; BODRERO et al., 2004). Isso mostra as divergências dos resultados relatados na literatura, o que reforça a necessidade de estudos que contribuam para a temática

em questão. Salvagiotti et al. (2008) em sua revisão sobre o tema, sugerem que sejam realizadas pesquisas que quantifique a eficiência da absorção do N, bem como a eficiência fisiológica do N na produção de grãos.

Para ilustrar a problemática do nitrogênio na soja, foi elaborada a figura 1.1 que simula diferentes produtividades, e as contribuições de cada fonte de N, com base nos dados registrados na literatura. Foi feito, também, um resumo do balanço e da necessidade teórica de N a ser aplicada via fertilizante para as metas de 3 Mg, 4 Mg e 5 Mg ha⁻¹ de soja em grãos.

Para produtividade de 4 Mg ha⁻¹ a demanda por N pela soja equivale a 320 kg ha⁻¹ de N. Se considerarmos uma oferta máxima de N pela FBN (200 kg ha⁻¹), conclui-se que o fornecimento de N pelo solo deve ser 120 kg ha⁻¹ de N. Porém, a quantidade de N presente na soja proveniente do solo não ultrapassa 60 kg ha⁻¹. Do exposto, formulou-se a primeira hipótese: (1^a) a quantidade de N fornecida pela FBN somada àquela vinda do solo é insuficiente para obter-se produtividade superior a 4 Mg ha⁻¹. Portanto, para se obter metas dessa ordem de grandeza, a soja necessita de fertilização nitrogenada complementar. Em áreas com produtividades da ordem de 4,5 a 6,0 Mg ha⁻¹ são realizadas aplicação de N, sem critério em relação a época de aplicação, dose e forma de aplicação como, por exemplo, foliar na semeadura ou em cobertura (CESB, 2012). De acordo com Salvagiotti et al. (2008) resultados positivos de adubação nitrogenada em soja são evidentes quando a produtividade é acima de 4,5 Mg ha⁻¹.

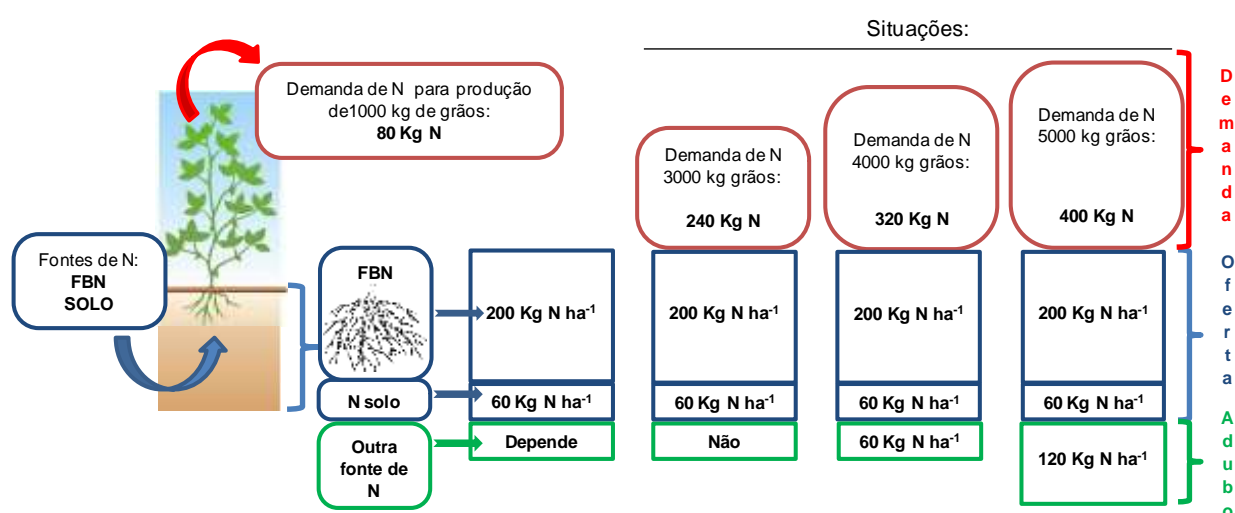


Figura 1.1 - Esquema do problema relativo ao balanço do nitrogênio na cultura da soja, com base em diferentes estimativas de produtividade

Na fase de enchimento de grãos, momento de maior exigência da cultura por N (WATANABE et al., 1986), ocorre também a redução da FBN, principalmente em alta produtividade, devido à competição entre a biomassa aérea e os rizóbios por fotoassimilados

(ZAPATA et al., 1987; SHIBLES, 1998). Nesta fase o N é redistribuído das folhas para os grãos, levando ao decréscimo dos teores de clorofila e da rubisco, enzima responsável pela assimilação de CO₂. Esse processo conhecido como “senescência programada” prejudica a fotossíntese e restringe a produtividade da soja (SINCLAIR e DE WIT, 1975).

Há correlação positiva entre a taxa fotossintética e os teores foliares de N, clorofila e rubisco (MAEKAWA; KOKUBUN, 2005; JIN et al., 2011). De acordo com Jin et al. (2011), a condição de N na folha foi o principal responsável pelo aumento de 32,5% da produtividade da soja nos últimos 56 anos. A fertilização nitrogenada na soja com 100 kg ha⁻¹ de N em R3 ou R5 retardou a queda das folhas em até 3 dias, com aumento de 2,7 a 3,6% no tamanho das plantas (GUTIÉRREZ-BOEM et. al, 2004; MUNIER-JOLAIN et al., 1996).

Entre os obstáculos à fertilização nitrogenada da soja tem-se o antagonismo entre a alta concentração de N no solo, principalmente na forma de nitrato, e a FBN, prejudicando a eficiência do processo simbiótico (STREETER, 1988; BANTILAN; JOHANSEN, 1995), o que é indesejável.

A fertilização complementar de N, sem prejuízos à FBN, pode ser viável caso seja fornecido no estágio reprodutivo, quando há maior demanda pelo nutriente e a eficiência da FBN cai acentuadamente (GAN et al., 2003; SALVAGIOTTI et al., 2008). Estes autores relataram a necessidade de pesquisas para ampliar o conhecimento nesta área da ciência agrônoma. Para Pausch et al. (1996), a eficiência da adubação nitrogenada no período reprodutivo pode ser explicada pela dependência da absorção do N do solo nesta fase fenológica, uma vez que a planta destina menos fotoassimilados para a simbiose nas raízes. Em complemento, Yinbo et al. (1997) relataram que a aplicação de N durante a fase de maior demanda da cultura não afetou a FBN e houve ganho de produtividade. Resultados de Gan et al. (2002), mostram que a aplicação de N entre R1 e R3 aumentou a biomassa vegetal e, também, favoreceu a FBN, pois determinaram maior quantidade de N proveniente do processo biológico. Tewari et al. (2006b, 2007) verificaram a partir de estudos com ¹⁵N de liberação controlada, resposta positiva da soja ao fornecimento de N, principalmente na dose de 100 kg ha⁻¹ de N, em que obtiveram as maiores produtividades (6,4 e 6,2 Mg ha⁻¹), sem prejuízo da FBN em relação aos demais tratamentos, inclusive os sem N. Resultados positivos com 100 kg ha⁻¹ de N na semeadura da soja são possíveis tanto com ureia revestida, quanto com calciocianamida (TEWARI et al., 2005). De acordo com Tewari et al. (2006a), a aplicação de N de liberação controlada apresentou melhor resultado quando o fertilizante foi aplicado a 20 cm de profundidade, em relação aos tratamentos feitos a 10 cm, 15 cm e controle sem N.

Na revisão feita por Salvagiotti et al. (2008), a maioria dos trabalhos de campo que produziram 4,5 Mg ha⁻¹ receberam N mineral próximo do estágio fenológico R3 (Fehr et al., 1971), sem definir claramente a época adequada. Nestes trabalhos também não foram quantificadas a eficiência de absorção (kg de N absorvido por kg de N aplicado) e a eficiência fisiológica (aumento da produção de grãos por kg de N absorvido). Salvagiotti et al. (2008) propuseram pesquisas que relacionassem a produtividade da soja com a contribuição de N pelo solo, da fixação biológica e do fertilizante.

Ressalte-se que é comum a deficiência de N na soja no início do desenvolvimento, devido à imobilização de N (NUNES et al., 2003), principalmente na sucessão de gramíneas (VARGAS et al., 2005) e também pela baixa FBN nessa fase. De acordo com Eaglesham et al. (1983) para que haja uma boa nodulação a disponibilidade inicial de N no solo não pode ser deficiente. Este fato foi comprovado por Gan et al. (2003), em que a aplicação de N no estágio V2 estimulou a nodulação e a FBN em solo com 18 gramas de matéria orgânica por kg de solo (1,8 %). Para Gan et al. (2002) e Ray et al. (2006) o ganho de produtividade pela aplicação de N ocorreu devido ao aumento do número de grãos produzidos por área, razão porque os autores sugerem que a adubação nitrogenada no início do desenvolvimento pode ser mais eficiente do que a aplicação tardia. Existe, portanto, dúvida quanto à necessidade e a eficiência da adubação nitrogenada na semeadura da cultura (HUNGRIA et al., 2001).

Com base no exposto, formulou-se a segunda e a terceira hipóteses: (2^a) o fornecimento de N prolongaria a manutenção do aparato fotossintético, especialmente no período de enchimento de grãos, devido a uma provável redução da redistribuição de N das folhas, o que manteria a produção de fotoassimilados por mais tempo, em benefício da granação; (3^a) a aplicação de N pode ajudar ou prejudicar a FBN, o que, certamente, dependeria da dose e da época de aplicação de N. Para visualização do exposto consultar a figura 1.2.

Devido à ampla distribuição geográfica da soja no Brasil, o seu cultivo é realizado em várias classes de solo, sobre diferentes culturas na entressafra, com taxa de mineralização da matéria orgânica variável. Estes fatores modificam a oferta de N pelo solo (CONCEIÇÃO et al., 2005). No Brasil, o contraste é acentuado entre as duas grandes regiões produtoras de soja, como a região subtropical no sudeste do país e a região tropical no centro-oeste. Deste contraste edafoclimático formulou-se a quarta hipótese: (4^a) a produtividade e a resposta da soja à adubação nitrogenada variam entre o ambiente tropical e subtropical.

Para compreender o comportamento da soja em relação à fertilização nitrogenada para alta produtividade, sem prejuízo da FBN, propõe-se uma pesquisa com o emprego do isótopo estável ^{15}N .

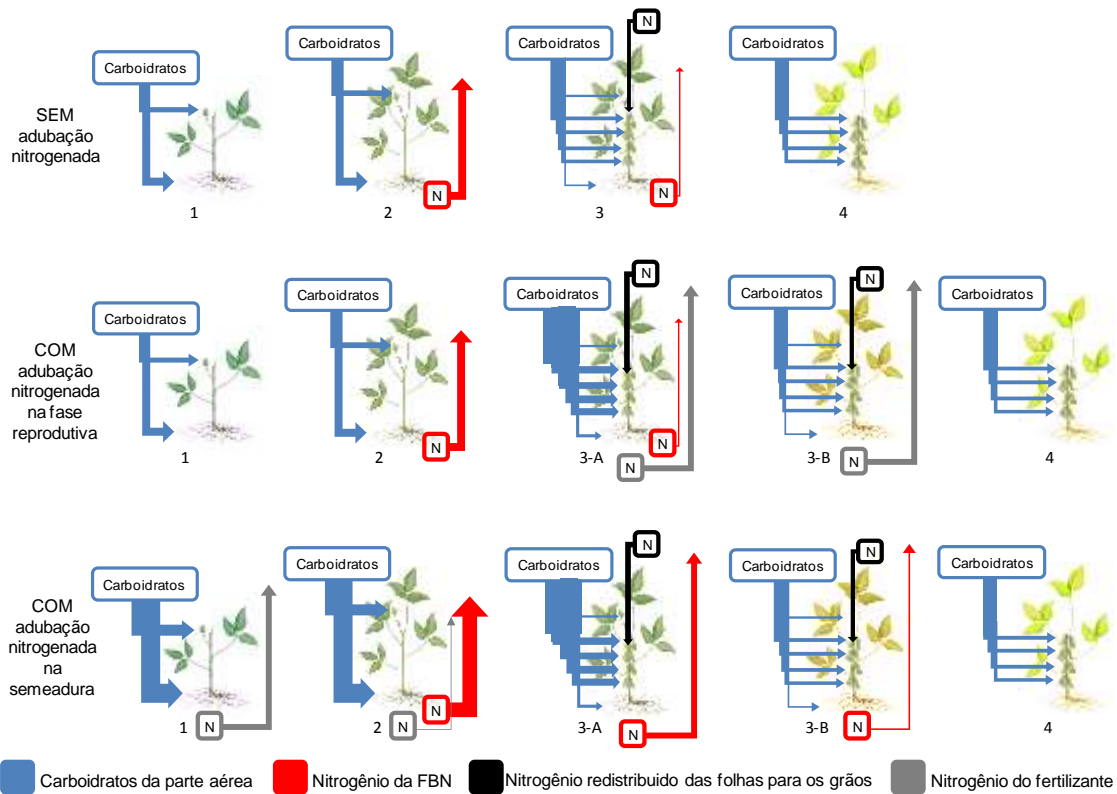


Figura 1.2 - Hipóteses esquemáticas sobre a ação do N do fertilizante na produção de fotoassimilados, manutenção do aparato fotossintético e da FBN. Sem a adubação nitrogenada diminui a disponibilidade de carboidratos para os rizóbios no enchimento de grãos (3) com prejuízo da FBN, seguido da degradação dos compostos nitrogenados e da senescência programada (4). Com a adubação nitrogenada no período reprodutivo (3-A) a planta retardaria a senescência programada, permaneceria verde e ativa fotossinteticamente por mais tempo (3-B), com provável aumento da produtividade. Com adubação nitrogenada na semeadura ter-se-ia mais N na fase em que a FBN ainda não é suficiente (1), com maior crescimento radicular e da parte aérea e, em conseqüência, da produção de carboidratos na fase vegetativa, o que possivelmente resultaria em maior eficiência da FBN (2). Como resultado do favorecimento do processo simbiótico haveria, por mais tempo e em maior quantidade, N para a vegetação da parte aérea (3-A e 3-B), retardando a senescência. A adubação com N, além dos efeitos descritos, contribuiria com a demanda de N para a síntese de proteínas para os grãos de soja

De acordo com o exposto, muitos sojicultores brasileiros estão fazendo o uso da adubação nitrogenada em soja, seja aplicando N mineral no solo, ou em aplicações foliares, sem que haja bases teóricas suficientes que justifiquem tal prática. Tampouco sabe-se a eficiência da adubação nitrogenada na cultura da soja. Dessa forma, é de fundamental importância elucidar a problemática relatada.

Esta tese tem por objetivo, compreender o comportamento da cultura em relação a fertilização nitrogenada, bem como verificar a eficiência do N proveniente do fertilizante para a soja e a sua interferência na fixação biológica no ambiente tropical e subtropical.

Referências

ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M.; URQUIAGA, S. The success of BNF in soybean in Brazil. **Plant Soil**, The Hague, v. 252, n. 1, p. 1-9, 2003.

ALVES, B.J.R.; ZOTARELLI, L.; FERNANDES, F.M.; HECKLER, J.C.; MACEDO, R.A.T.; BODDEY, R.M.; JANTALIA, C.P.; URQUIAGA, S. Fixação biológica de nitrogênio e fertilizantes nitrogenados no balanço de nitrogênio em soja, milho e algodão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 3, p. 449-456, 2006.

BANTILAN, M.C.S.; JOHANSEN, C. Research evaluation and impact analysis of biological nitrogen fixation. In: **Management of Biological Nitrogen Fixation for the Development of More Productive and Sustainable Agricultural Systems**. Springer Netherlands, 1995. p. 279-286.

BODRERO, M.; SALVAGIOTTI, F.; ENRICO, J.M.; MENDEZ, J.M.; TRENTINO, N. Does nitrogen fertilization increase grain yield in high yielding systems in the south area of Santa Fe Province, Argentina? In: WORLD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE, 7.; INTERNATIONAL SOYBEAN PROCESSING AND UTILIZATION CONFERENCE, 4.; CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 3., 2004, Foz do Iguassu, PR, Brazil. **Proceedings...** Foz do Iguassu: World Soybean Research Conference, 2004.

BREVEDAN, R.E.; EGLI, D.B.; LEGGETT, J.E. Influence of N nutrition on flower and pod abortion and yield of soybeans. **Agronomy Journal**, Madison, v. 70, n. 1, p.81-84, 1978.

COMITÊ ESTRATÉGICO SOJA BRASIL – CESB. **Desafio nacional de máxima produtividade safra 2011/2012**. 2012. Disponível em: < <http://www.desafio soja.com.br/top20Brasil.aspx>>. Acesso em: 21 jul. 2015.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: Grãos safra 2011/2012, décimo primeiro levantamento, agosto de 2012**. 2012. Disponível em: < http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos12_08_27_09_50_57_boletim_portugues_agosto_2012.pdf>. Acesso em: 02 set. 2012.

CONCEIÇÃO, P.C.; AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 777-788, 2005.

COOPER, R.L. A delayed flowering barrier to higher soybean yields. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 82, n. 1, p. 27-35, 2003.

EAGLESHAM, A.R.J.; HASSOUNA, S.; SEEGER, R. Fertilizer-N effects on N₂ fixation by cowpea; soybean. **Agronomy Journal**, Madison, v. 75, n. 1, p. 61-66, 1983.

FEHR, W.R.; CAVINESS, C.E.; BURMOOD, D.T.; PENNINGTON, J.S. Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. **Crop Science**, Madison, v. 11, n. 6, p. 929-931, 1971

FRAZÃO, L.A.; PICCOLO, M.C.; FEIGL, B.J.; CERRI, C.C.; CERRI, C.E.P. Inorganic nitrogen, microbial biomass and microbial activity of a sandy Brazilian Cerrado soil under different land uses. **Agriculture Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 135, n. 3, p. 161-167, 2010.

GAN, Y.; STULEN, I.; POSTHUMUS, F.; van KEULEN, H.; KUIPER, P.J.C. Effects of N management on growth, N₂ fixation and yield of soybean. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 62, n. 2, p. 163-174, 2002.

GAN, Y.; STULEN, I.; VAN KEULEN, H.; KUIPER, P.J.C. Effect of N fertilizer top-dressing at various reproductive stages on growth, N₂ fixation and yield of three soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) genotypes. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 80, n. 2, p. 147-155, 2003.

GUTIÉRREZ-BOEM, F.H.; SCHEINER, J.D.; RIMSKI-KORSAKOV, H.; LAVADO, R.S. Late season nitrogen fertilization of soybeans: effects on leaf senescence, yield and environment. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 68, v. 2, p. 109-115, 2004.

HAM, G.E.; CALDWELL, A.C. Fertilizer placement effects on soybean yield, N₂ fixation, and ³²P uptake. **Agronomy Journal**, Madison, v. 70, n. 5, p. 779-783, 1978.

HERRIDGE, D.F.; PEOPLES, M.B.; BODDEY, R.M. Global inputs of biological nitrogen fixation in agricultural systems. **Plant and Soil**, The Hague, v. 311, n. 1, p. 1-18, 2008.

HUNGRIA, M.; CAMPO, J.R.; MENDES, I.C. **Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja**. Londrina : EMBRAPA-CNPSO, 2001. 48 p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 35; Embrapa)

HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J.C.; CAMPO, R.J.; CRISPINO, C.C.; MORAES, J.Z.; SIBALDELLI, R.N.R.; MENDES, I.C.; ARIHARA, J. Nitrogen nutrition of soybean in Brazil: contributions of biological N₂ fixation and of N fertilizer to grain yield. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 86, n. 4, p. 927-939, 2006.

JIN, J.; LIU, X.; WANG, G.; LIU, J.; MI, L.; CHEN, X.; HERBERT, S.J. Leaf nitrogen status as a main contributor to yield improvement of soybean cultivars. **Agronomy Journal**, Madison, v. 103, n. 2, p. 441-448, 2011.

KOUTROUBAS, S.D.; PAPAKOSTA, D.K.; GAGIANAS, A.A. The importance of early dry matter and nitrogen accumulation in soybean yield. **European Journal of Agronomy**, Montpellier, v. 9, n. 1, p. 1-10, 1998.

KUBOTA, A.; HOSHIBA, K.; BORDON, J. Effect of fertilizer-N application and seed coating with rhizobial inoculants on soybean yield in eastern Paraguay. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 1627-1633, 2008.

MAEKAWA, T.; KOKUBUN, M. Correlation of Leaf Nitrogen, Chlorophyll and Rubisco Contents with Photosynthesis in a Supernodulating Soybean Genotype Sakukei 4. **Plant Production Science**, Tokyo, v. 8, n. 4, p. 419-426, 2005.

MENDES, I.C.; REIS JUNIOR, F.B.; HUNGRIA, M.; SOUSA, D.M.G.; CAMPO, R.J. Adubação nitrogenada suplementar tardia em soja cultivada em Latossolos do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 8, p. 1053-1060, 2008.

MUNIER-JOLAIN, N.G.; NEY, B.; DUTHION, C. Termination of seed growth in relation to nitrogen content of vegetative parts in soybean plants. **European Journal of Agronomy**, Montpellier, v. 5, n. 3/4, p. 219-225, 1996.

NUNES, J.C.S.; ARAÚJO, E.F.; SOUZA, C.M.; BERTIN, L.A.; FERREIRA, F.A. Efeito da palhada de sorgo localizada na superfície do solo em características de plantas de soja e de milho. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 50, n. 287, p. 115-126, 2003.

PAUSCH, R.C.; MULCHI, C.L.; LEE, E.H.; MEISINGER, J.J. Use of ¹³C and ¹⁵N isotopes to investigate O₃ effects on C and N metabolism in soybeans. Part II. Nitrogen uptake, fixation, and partitioning. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 60, n. 1, p. 61-69, 1996.

PEOPLES, M.B.; BROCKWELL, J.; HERRIDGE, D.F.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. DAKORA, F.D.; BHATTARAI, S.; MASKEY, S.L.; SAMPET, C.; RERKASEM, B.; HAUGGAARD-NIELSEN, H.; JENSEN, E.S. Biological nitrogen fixation by food legumes. In: KHARKWAL M.C. (Ed.). Food legumes for nutritional security and sustainable agriculture, 2008. CONFERENCE (IFLRC-IV4.). 2008. New Delhi, India. **Proceedings...** New Delhi: Indian Society of Genetics and Plant Breeding, 2008.

RAY, J.D.; HEATHERLY, L.G.; FRITSCHI, F.B. Influence of large amounts of nitrogen applied at planting on non-irrigated and irrigated soybean. **Crop Science**, Madison, v. 46, n. 2, p. 52-60, 2006.

SALVAGIOTTI, F.; CASSMAN, K.G.; SPECHT, J.E.; WALTERS, D.T.; WEISS, A.; DOBERMANN, A. Nitrogen uptake, fixation and response to fertilizer N in soybeans: a review. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 108, n. 1, p. 1-3, 2008.

SCHMITT, M.A.; LAMB, J.A.; RANDALL, G.W.; ORF, J.H.; REHM, G.W. In-season fertilizer nitrogen applications for soybean in Minnesota. **Agronomy Journal**, Madison, v. 93, n. 5, p. 983-988, 2001.

SHIBLES, R. M. Soybean nitrogen acquisition and utilization. In: of the NORTH CENTRAL EXTENSION-INDUSTRY SOIL FERTILITY CONFERENCE, 28. 1998. St. Louis, 1998. Proceedings... Brookings: Potash & Phosphate Inst., 1998.p.5-11.

SINCLAIR, T.R.; de WIT, C.T. Photosynthate and nitrogen requirements for seed production by various crops. **Science**, New York, v. 189, n. 4202, p. 565-567, 1975.

SOUZA, W.J.O.; MELO, W.J. Teores de nitrogênio no solo e nas frações da matéria orgânica sobre diferentes sistemas de produção de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 3, p. 885-896, 2000.

SPECHT, J.E.; HUME, D.J.; KUMUDINI, S.V. Soybean yield potential – a genetic and physiological perspective. **Crop Science**, Madison, v. 39, n. 6, p. 1560-1570, 1999.

STREETER, J. Inhibition of legume nodule formation and N₂ fixation by nitrate. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Tennessee, v. 7, n. 1, p. 1-23, 1988.

TAYLOR, R.S.; WEAVER, D.B.; WOOD, C.W.; VAN SANTEN, E. Nitrogen application increases yield and early dry matter accumulation in late-planted soybean. **Crop Science**, Madison, v. 45, n. 3, p. 854-858, 2005.

TEWARI, K.; ONDA, M.; ITO, S.; YAMAZAKI, A.; FUJIKAKE, H.; OHTAKE, N.; SUEYOSHI, K.; TAKAHASHI, Y.; NAGUMO, Y.; TSUCHIDA, T.; OHYAMA, T. Comparison of the depth of placement of lime nitrogen on growth, N₂ fixation activity, seed yield and quality of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) plants. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 52, n. 4, p. 453-463, 2006b.

TEWARI, K.; ONDA, M.; ITO, S.; YAMAZAKI, A.; FUJIKAKE, H.; OHTAKE, N.; SUEYOSHI, K.; TAKAHASHI, Y.; OHYAMA, T. ¹⁵N analysis of promotive effect of deep placement of slow release N fertilizers on growth and seed yield of soybean. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 51, n. 6, p. 501-512, 2005.

TEWARI, K.; SATO, T.; ABIKO, M.; OHTAKE N, SUEYOSHI K, TAKAHASHI Y, NAGUMO Y, TSUCHIDA T, AND OHYAMA T. Analysis of the nitrogen nutrition of soybean plants with deep placement of coated urea and lime nitrogen. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 53, n. 6, p. 772-781, 2007.

TEWARI, K.; T., ONDA, M.; ITO, S.; YAMAZAKI, A.; FUJIKAKE, H.; OHTAKE, N.; SUEYOSHI, K.; TAKAHASHI, Y.; OHYAMA, T. Effect of deep placement of slow-release fertilizer (lime nitrogen) applied at different rates on growth, N₂ fixation and yield of soya bean (*Glycine max* [L.] Merr.). **Journal of Agronomy and Crop Science**, Malden, v. 192, n. 6, p. 417-426, 2006a.

UNKOVICH, M.J.; PATE, J.S. An appraisal of recent field measurements of symbiotic N₂ fixation by annual legumes. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 65, n. 2/3, p. 211-228, 2000.

VARGAS, L.K.; SELBACH, P.A.; SÁ, E.L.S. Imobilização de nitrogênio em solo cultivado com milho em sucessão à aveia preta nos sistemas plantio direto e convencional. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 1, p. 76-83, 2005.

WATANABE, I.; TABUCHI, K.; NAKANO, H. Response of soybean to supplemented nitrogen after flowering. In: SHANMUGASUNDARAM, S.; SULZBERGER, E.W.; MCLEAN, B.T. (Ed.). **Soybean in Tropical and Subtropical Cropping System**. Taiwan: AVRDC, 1986. p. 301-308.

WESLEY, T.L.; LAMOND, R.E.; MARTIN, V.L.; DUNCAN, S.R. Effects of late-season nitrogen fertilizer on irrigated soybean yield and composition. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 11, n. 3, p. 331-336, 1998.

YINBO, G.; PEOPLES, M.B.; RERKASEM, B. The effect of N fertilizer strategy on N₂ fixation, growth and yield of vegetable soybean. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 51, n. 3, p. 221-230, 1997.

ZAPATA, F.; DANSO, S.K.A.; HARDARSON, G.; FRIED, M. Nitrogen fixation and translocation in field-grown fababean. **Agronomy Journal**, Madison, v. 79, n. 3, p. 505-509, 1987.

2 FERTILIZAÇÃO NITROGENADA NA SOJA: EFEITOS NA PRODUTIVIDADE E FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO

Resumo

A demanda de nitrogênio (N) pela soja é atendida, principalmente, pela fixação biológica (FBN) e pela reserva do nutriente presente no solo. Entretanto, alguns estudos com fertilização nitrogenada sugerem que, em algumas situações, há necessidade de adubação com N complementar para a cultura. O objetivo desse trabalho foi verificar como e quanto a produtividade de soja e a FBN, são influenciadas pelo fornecimento de N em diferentes doses e estádios de desenvolvimento da soja, em dois ecossistemas brasileiros distintos. Os experimentos foram realizados em Primavera do Leste – MT (Cerrado, tropical) e Taquarituba –SP (subtropical), nas safras 2012/13 e 2013/14. O delineamento experimental foi o de blocos inteiramente casualizados com quatro repetições, em um esquema fatorial 2x5 com duas épocas de aplicação de N (estádio VE e R3 de desenvolvimento da soja) e 5 doses de N (0, 20, 40 80 e 120 kg ha⁻¹ de N). No Cerrado houve aumento de produtividade de 350 kg ha⁻¹ com fornecimento de N em R3 comparado com VE. Porém essa resposta ocorreu em apenas uma safra, e parece ser obtida apenas em determinadas condições ambientais, ou seja, o fornecimento de N não é garantia de aumento de produção. Além disso, não houve aumento da produtividade para as doses de N. A redução da FBN sempre ocorre, se não em termos absolutos (kg ha⁻¹ de N fixado da atmosfera), em porcentagem de N na planta derivado da atmosfera. A redução da FBN foi mais acentuada pelo fornecimento de N no Cerrado.

Palavras-chave: *Glycine max*; Adubação de cobertura; Fixação atmosférica; Ureídeos; Nitrato; Cerrado; Ndff

Abstract

The demand for nitrogen (N) for soybean is met mainly by biological fixation (BNF) and the provisions of this nutrient in the soil. However, in some studies suggest that nitrogen fertilization in some situations there is a need for supplementary fertilization N culture. The aim of this study was to verify how and how much soybean yield and BFN, are changed by supplying N in different doses and soybean growth stages, in two distinct Brazilian ecosystems. Experiments were performed in Primavera do Leste - MT (Cerrado) and Taquarituba - SP (subtropical) during 2012/13 and 2013/14 season. The experimental design was a complete randomized block design with four replications, in a 2x5 factorial arrangement with two N application timing (VE and R3 soybean development) and 5 nitrogen rates (0, 20, 40, 80 and 120 kg ha⁻¹ of N). In Cerrado yield was positive response to the supply of N. However this response occurred only in one season, and appears to be obtained only under certain environmental conditions or N supply is not increased production of security. The BFN reduction always occur, if not in absolute terms (kg ha⁻¹ of N set from the atmosphere) in percentage determined per percent of N plant from atmosphere. The reduction of BFN was more pronounced for supplying N in the Cerrado environment.

Keywords: *Glycine max*; Cover fertilization; Atmospheric fixation; Ureides; Nitrate; Cerrado

2.1 Introdução

O potencial produtivo da soja (*Glycine max* [L.] Merrill) é estimado entre 6 e 8 Mg ha⁻¹ na ausência de limitações climática, edáfica e biótica (SPECHT et al., 1999; COOPER, 2003). No Brasil a produtividade média é da ordem de 2,7 Mg ha⁻¹ (CONAB, 2012), embora muitos produtores produzam entre 4,5 e 6,0 Mg ha⁻¹, quando utilizam os conhecimentos disponíveis sobre a cultura, mesmo sem irrigar (CESB, 2012).

A demanda da soja por nitrogênio (N) é atendida principalmente pela fixação biológica (FBN), embora parte venha do solo. O solo fornece de 15 a 60 kg ha⁻¹ de N à soja (HUNGRIA et al., 2006; FRAZÃO et al., 2010; SOUZA e MELO, 2000), evidenciando a importância da FBN, cuja contribuição varia entre 70 e 200 kg ha⁻¹ de N (UNKOVICH e PATE, 2000; ALVES et al., 2003; ALVES et al., 2006; PEOPLES et al., 2008; HERRIDGE et al., 2008). A capacidade de o solo fornecer N varia com a textura, teor de matéria orgânica (MOS), quantidade e qualidade de resíduos vegetais e o clima, em particular, a temperatura e a umidade.

Entretanto, em alguns estudos com fertilização nitrogenada em soja foram alcançadas produtividades maiores do que 4 Mg ha⁻¹ devido ao fornecimento de N (BREVEDAN et al., 1978; WESLEY et al., 1998; RAY et al., 2006; TAYLOR et al., 2005; MENDES et al., 2008). No entanto, esse patamar já foi alcançado sem contribuição da fertilização mineral (HAM et al., 1978; KOUTROUBAS et al., 1998; SCHMITT et al., 2001; BODRERO et al., 2004). Isso mostra as divergências dos resultados relatados na literatura, o que reforça a necessidade de estudos que contribuam para a temática em questão. Salvagiotti et al. (2008) em sua revisão sobre o tema, sugerem que sejam realizadas pesquisas que quantifique a eficiência da absorção do N, bem como a eficiência fisiológica do N na produção de grãos de soja.

A FBN é um processo a ser explorado ao máximo, mas que hipoteticamente em alguns ecossistemas, junto com o N do solo, não fornecem todo o N necessário para os patamares produtivos possíveis de se atingir. Em outras palavras, em alguns sistemas, a produtividade de soja seria restringida pela deficiência de N no sistema.

Sabe-se que o fornecimento de N mineral, pode reduzir a FBN da soja. Salvagiotti et al. (2008) enfatizam que, a fixação biológica é o melhor método de fornecimento de N para a soja. Portanto, mesmo em sistemas em que em tese há necessidade de adubação nitrogenada complementar, uma boa nodulação sempre deve ser garantida, caso contrário, mesmo com o

fornecimento de N mineral, a produtividade poderá não aumentar (HAM et al., 1978; ISRAEL e BURTON, 1997; SALVAGIOTTI et al., 2008).

Esta pesquisa foi realizada com objetivo de avaliar a produtividade da soja e a FBN, quando se fornece doses de N com base em dois estádios fenológicos, em ambiente tropical e subtropical.

2.2 Material e métodos

Área experimental

Dois ambientes distintos foram utilizados como áreas experimentais. A primeira área experimental estava localizada no município de Primavera do Leste – MT, 15°25'46.5" latitude sul 54°22'21.1" longitude oeste e 650 m de altitude, ambiente tropical, localizado no bioma do cerrado. O experimento foi implantado em uma área cultivada com algodão nas safras 2009-2010, 2010-2011, 2011-2012. O solo é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo, com 50% de argila. A análise química do solo realizada na implantação do experimento, na camada 0,0-0,2 m, apresentou seguintes resultados: pH em 5,0 (CaCl₂); matéria orgânica do solo em 23,7 g dm⁻³; teores de P (resina como extrator) de 16,5 mg dm⁻³; K, Ca, Mg e acidez total em pH 7,0 (H+Al) de 2,9, 27,3, 8,7 e 39,3 mmol_c dm⁻³, respectivamente, com saturação de bases em 49,7%.

Em Primavera do Leste, a semeadura da soja no primeiro ano de experimento ocorreu no dia 18/10/12 com a cultivar Nidera 7901 RR, com 14,9 plantas por metro ou 330.000 plantas ha⁻¹ em linhas espaçadas por 0,45 cm. A adubação foi realizada dia 27/11/12 com a aplicação de 0-72-65 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente. Após a colheita, foi semeado milho no dia 20/03/2013, com objetivo de cobertura do solo, e no dia 19/04/2013 foram aplicados 15, 75 e 75 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente.

No segundo ano de experimento, a soja foi semeada dia 29/10/13 com a cultivar Nidera 7901 RR, com 13,97 plantas por metro ou 310.000 plantas ha⁻¹ em linhas espaçadas por 0,45 cm. Em ambas as safras a soja foi previamente inoculada com inoculante turfoso.

A segunda área experimental estava localizada no município de Taquarituba – SP, 23°34'54" de latitude sul, 49°15'11" de longitude oeste e 646 m de altitude, ambiente subtropical. O experimento foi implantado em área cultivada com milho em sistema plantio direto nas últimas duas safras de verão (2010-2011 e 2011-2012), e pousio na entre safra. Anteriormente ao milho a área era destinada à pastagem de braquiária. O solo é classificado como Nitossolo Vermelho, com 53% de argila.

A análise química do solo realizada na camada 0,0-0,2 m apresentou os seguintes resultados: pH 5,5 (CaCl₂); matéria orgânica do solo em 40 g dm⁻³; teores de P (resina como extrator) de 19 mg dm⁻³; K, Ca, Mg e acidez total em pH 7,0 (H+Al) de 7.6, 42, 31 e 34 mmol_c dm⁻³, respectivamente, com saturação de bases em 70%.

A semeadura da soja em Taquarituba ocorreu no dia 22/10/12, com a cultivar Nidera 5909 RR, com 12,4 plantas por metro ou 276.000 plantas ha⁻¹ em linhas espaçadas por 0,45 cm. A adubação foi realizada com 9-86-65 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente, no sulco de semeadura.

No segundo ano de experimento em Taquarituba, a soja foi semeada dia 20/10/13 com a cultivar Nidera 5909 RR, com 14,26 plantas por metro ou 317.000 plantas ha⁻¹, em área onde havia sido semeado triticales no inverno para produção de grãos. A adubação foi a mesma utilizada no experimento do ano anterior. Em ambas as safras a soja foi previamente inoculada com inoculante turfoso.

Clima

A precipitação e as temperaturas médias em Primavera do Leste, nas safras 12/13 e 13/14 estão indicadas nas Figuras 2.1 a) e b), respectivamente. O acúmulo de chuva foi de 1.288 mm na safra 2012/2013 e 1.167 mm na safra 2013/2014.

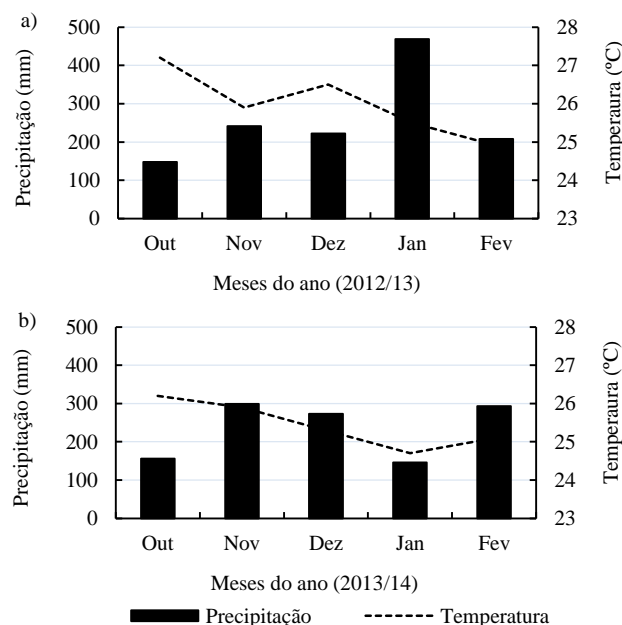


Figura 2.1 - Pluviosidade, temperatura média mensal nas safras a) 2012/2013 e b) 2013/2014 em Primavera do Leste

Em Taquarituba, a precipitação e as temperaturas médias nas safras 12/13 e 13/14 estão indicadas nas Figuras 2.2 a) e b), respectivamente. Foi registrado um acúmulo de chuva

de 1.129 mm na safra 2012/2013 e 864 mm na safra 2013/2014, de modo que, na segunda safra houve menor pluviosidade, principalmente nos meses de novembro, dezembro e fevereiro.

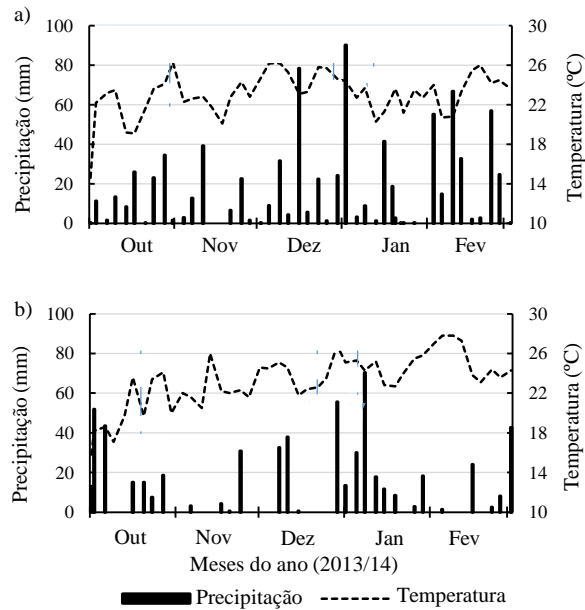


Figura 2.2 - Pluviosidade, temperatura média mensal nas safras a) 2012/2013 e b) 2013/2014 em Taquarituba

Delineamento e tratamentos

O experimento foi instalado em blocos inteiramente casualizados com quatro repetições, em esquema fatorial 5x2, em que foram comparadas 5 doses de N em 2 épocas de aplicação. As 5 doses de N utilizadas foram 0, 20, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ aplicadas quando a soja encontrava-se em VE (emergência de plantas) ou quando em R3 (vagens com até 0,5 cm em um dos quatro nós superiores da haste) (FEHR et al., 1971). Cada parcela era constituída de 5 linhas de soja de 15 metros de comprimento.

Aplicação de N

No experimento do cerrado, a aplicação de N foi realizada no dia 25/10/12 e 09/12/12, 02 e 47 dias após a emergência (DAE). Utilizou-se como fonte de N a ureia diluída em água, simulando uma chuva de 6 mm na entrelinha da soja. No segundo ano, o N foi aplicado nos dias 08/11/13 e 20/12/13, 04 e 46 DAE. Nesta segunda safra o método de aplicação do N foi pela abertura de sulcos na entre linha de semeadura e a aplicação da ureia sólida.

No ambiente subtropical, a aplicação de N foi realizada no dia 04/11/12 e 27/12/12, 06 e 59 dias após a emergência (DAE). Utilizou-se como fonte de N a ureia diluída em água, simulando uma chuva de 6 mm na entrelinha da soja. No segundo ano, o N foi aplicado nos

dias 30/10/13 e 23/12/13, 03 e 57 DAE. Nesta segunda safra o método de aplicação do N foi pela abertura de sulcos na entre linha de semeadura e a aplicação da ureia sólida.

Análises da FBN

Em ambas as safras, foram coletadas plantas para a análise da FBN da soja. Em cada uma das coletas foram amostradas as hastes e pecíolos de duas plantas retirando-se imediatamente as folhas da planta, conforme a metodologia de Herridge (1982). As coletas para a determinação dos ureídeos (*Nur*), nitrato (*Nnit*) e aminoácido (*Naa*), a fim de estimar abundância relativa de ureídeos (*Rur*) e o N derivado da atmosfera (*Ndfa*) na soja, foram realizadas com a soja em R5.3-R5.4 nos dias 29/12/12 (67 DAE) 10/01/14 (67 DAE) em Primavera do Leste. Em Taquarituba as coletas foram nos dias 18/01/13 (81 DAE) e 14/01/2014 (79 DAE).

O material coletado foi submetido à secagem em estufa com circulação de ar a 65 °C, e, posteriormente determinada a porcentagem de N na planta proveniente da fixação de N atmosférico (%*Ndfa*), pelo método dos ureídeos a partir da seguinte equação calibrada por Herridge e Peoples (1990):

$$Rur = 0,0034\%Ndfa^2 + 0,50\%Ndfa + 10,7 \quad (1)$$

Isolando a %*Ndfa* da equação 1, obtemos a equação 2:

$$\%Ndfa = \frac{-0,5 + \sqrt{0,10448 + 0,0136Rur}}{0,0068} \quad (2)$$

O N dos ureídeos (*Rur*) é calculado pela equação 3:

$$Rur\% = \left(\frac{4Nur}{4Nur + Nnit + Naa} \right) \times 100 \quad (3)$$

em que: *Rur* corresponde à porcentagem N na seiva do xilema na forma de ureídeos; *Nur* à concentração molar de ureídeos determinada pelo método descrito por Young e Conway (1942); *Nnit* à concentração molar de nitrato determinada pelo método do ácido salicílico descrito por Cataldo et al. (1975); *Naa* à concentração de amônio na forma de aminoácidos foi determinado colorimetricamente conforme metodologia de Yemm e Cocking (1955) com as adaptações descritas por Herridge (1984).

Colheita

No cerrado os experimentos foram colhidos dias 26/01/2013 (95 DAE) com a soja no estádio R7-R8 e dia 14/02/2014 (108 DAE) com a soja no estádio R8.

No ambiente subtropical, as colheitas foram dia 21/02/13 (115 DAE), e 28/02/14 (123 DAE) com a soja no estádio R8 nos dois anos.

Nas colheitas, retiraram-se as plantas presentes em 3 metros das 3 linhas centrais de cada parcela, totalizando 9 metros lineares e 126 plantas. A produtividade foi corrigida para 13% de água nos grãos.

Procedimento estatístico

Os resultados foram submetidos ao teste de normalidade e homogeneidade de variância, e posteriormente à análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade, por meio do programa “Statistical Analysis System versão Windows 9.2 (SAS Inst., 2008). Foi realizada a análise conjunta dos dois locais e anos experimentais para as variáveis resposta em que a divisão dos quadrados médios dos erros da análise de variância de cada ano agrícola apresentasse o quociente menor ou igual a 7, conforme o pressuposto de Banzato e Kronka (2006). Se rejeitada a hipótese de nulidade, foram realizados testes de comparação de médias Fisher (LSD) $p \leq 0,05$ para as épocas e locais, e análises de regressão para doses.

2.3 Resultados

A análise conjunta determinou que para a produtividade houve interação tripla entre locais, anos e datas de aplicação do fertilizante (Tabela 2.1). Isso significa que a data de aplicação do fertilizante interferiu na produtividade, mas varia com o local e com o ano de estudo. Devido à interação tripla, outra análise de variância foi realizada, levando em conta apenas o fator ano em cada local, ou seja, não analisando os locais conjuntamente. Na Tabela 2.1, notamos ainda que, a dose, ou qualquer interação relacionada a esse fator, não interferiu na produtividade (Figura 2.3), portanto, para ambas as épocas e locais de aplicação, a soja sem N apresentou produtividade estatisticamente igual a soja adubada com qualquer uma das doses de N testadas.

Tabela 2.1 - Análise conjunta entre anos, locais, épocas de aplicação e doses de N para produtividade de soja, Nur, Naa, Nnit, Rur e %Ndfa

Fonte de variação	Produtividade	Nur	Naa	Nnit	Rur	%Ndfa
Local (L)	<0,0001 ***	<0,0001 ***	<0,0001 ***	0,0815 ns	0,0771 ns	0,0760 ns
Ano (A)	<0,0001 ***	<0,0001 ***	<0,0001 ***	<0,0001 ***	<0,0001 ***	<0,0001 ***
L * A	<0,0001 ***	0,0017 **	0,1204 ns	<0,0001 ***	<0,0001 ***	<0,0001 ***
Época (E)	0,0150 *	<0,0001 ***	0,6983 ns	0,5967 ns	0,0161 *	0,0213 *
L * E	0,3588 ns	<0,0001 ***	0,0044 **	0,4464 ns	0,0011 **	0,0008 ***
A * E	0,4011 ns	0,0607 ns	0,0213 *	0,7385 ns	0,0116 *	0,0155 *
L * A * E	0,0176 *	0,9550 ns	0,9402 ns	0,8825 ns	0,9999 ns	0,9324 ns
Dose (D)	0,4902 ns	<0,0001 ***	0,9269 ns	0,4309 ns	0,0002 ***	0,0002 ***
L * D	0,8965 ns	0,9346 ns	0,3583 ns	0,3374 ns	0,1067 ns	0,1232 ns
A * D	0,5375 ns	0,6943 ns	0,1099 ns	0,0611 ns	0,0590 ns	0,0640 ns
L * A * D	0,8640 ns	0,4402 ns	0,1141 ns	0,7122 ns	0,4649 ns	0,4351 ns
E * D	0,8923 ns	0,2195 ns	0,3799 ns	0,7494 ns	0,9510 ns	0,9352 ns
L * E * D	0,3039 ns	0,3738 ns	0,8664 ns	0,2108 ns	0,8668 ns	0,8796 ns
A * E * D	0,9650 ns	0,9698 ns	0,6816 ns	0,2649 ns	0,7876 ns	0,7924 ns
L * A * E * D	0,4161 ns	0,7700 ns	0,0675 ns	0,3482 ns	0,3859 ns	0,4473 ns
CV %	8,24	25,68	16,01	7,73	28,84	32,85

ns não significativo; * significativo a 5%; ** significativo a 1%; *** significativo a menos do que 0,1% probabilidade de erro pelo teste F.

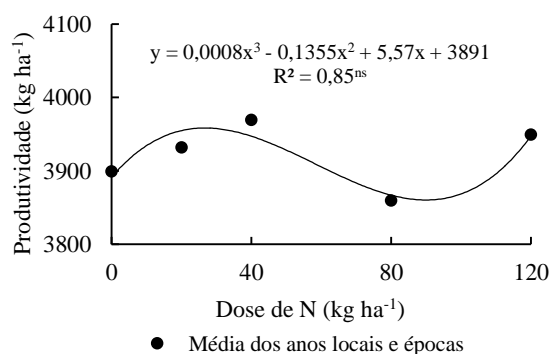


Figura 2.3 - Efeito da dose de N na produtividade de soja em duas safras, em dois locais e duas épocas de aplicação de N na cultura. ns não significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste F

A causa da interação tripla, entre locais x anos x época de aplicação (Tabela 2.1), fica clara no desdobramento, pois nota-se que a produtividade em Taquarituba, foi igual estatisticamente, independente da época de aplicação de N, diferindo apenas entre os anos, com a maior média na safra 13/14 (Tabela 2.2). Entretanto em Primavera do Leste, a produtividade foi maior com a aplicação de N em R3 em comparação com a aplicação em VE, e, isso ocorreu na safra 13/14. Na safra anterior, não houve diferenças entre as épocas de aplicação de N. Quando comparado os dois anos de estudo no cerrado, notou-se que a produtividade na aplicação feita em R3, foi maior na safra de 13/14 do que em 12/13. Com

isso a aplicação em R3 no segundo ano de estudo em Primavera do Leste, foi a que resultou em maior produtividade.

Tabela 2.2 - Análise conjunta de produtividade de grãos de soja submetida a doses e épocas de fertilização nitrogenada em Primavera do Leste – MT e Taquarituba – SP

Época	Dose kg ha ⁻¹	PVA		TAQ	
		12/13	13/14	12/13	13/14
VE	0	3.630	3.503	3.561	4.561
	20	3.648	3.611	3.640	4.593
	40	4.059	3.520	3.535	4.707
	80	3.511	3.605	3.579	4.661
	120	3.747	3.571	3.677	4.788
	Média de VE		3.719 Aa	3.552 Ab	3.598
R3	0	3.693	3.825	3.827	4.820
	20	3.675	3.842	3.880	4.562
	40	3.656	3.836	3.981	4.623
	80	3.728	3.908	3.481	4.603
	120	3.878	4.128	3.635	4.737
	Média de R3		3.734 Ba	3.908 Aa	3.744
Média dos anos		3.738	3.753	3.676 B	4.659 A
Ano (a)		0,8417 ^{ns}		<0,0001 ^{***}	
Época (E)		0,0076 ^{**}		0,3360 ^{ns}	
A*E		0,0103 [*]		0,3305 ^{ns}	
Pr>F	Dose (D)	0,4462 ^{ns}		0,8616 ^{ns}	
	A*D	0,6054 ^{ns}		0,7535 ^{ns}	
	E*D	0,3857 ^{ns}		0,6972 ^{ns}	
	A*E*D	0,5715 ^{ns}		0,7665 ^{ns}	
	CV %	7,64		8,71	

^{ns} não significativo; ^{*} significativo a 5%; ^{**} significativo a 1%; ^{***} significativo a menos do que 0,1% probabilidade de erro pelo teste F. Letras maiúsculas comparam médias na mesma linha, (para cada variável resposta independente). Letras minúsculas comparam as médias na mesma coluna.

O Nur, de acordo com a análise conjunta, variou conforme a dose de N aplicada, além de apresentar duas interações simples, que são entre local e época de aplicação de N, e local e ano de experimento (Tabela 2.1).

Verificou-se que, a dose de N reduziu linearmente a quantidade de Nur na soja (Figura 2.4). Também foi observado em relação a época de aplicação que, quando o N foi aplicado em R3 reduziu o Nur em Primavera do Leste, porém não em Taquarituba (Figura 2.5 a). Na interação entre local e ano, verificamos que o Nur em Primavera do Leste é maior que em Taquarituba nas duas safras. Além disso, em Taquarituba houve aumento no Nur na segunda

safrã comparado com a primeira, jã em Primavera do Leste, o Nur foi igual independente da safrã (Figura 2.5 b).

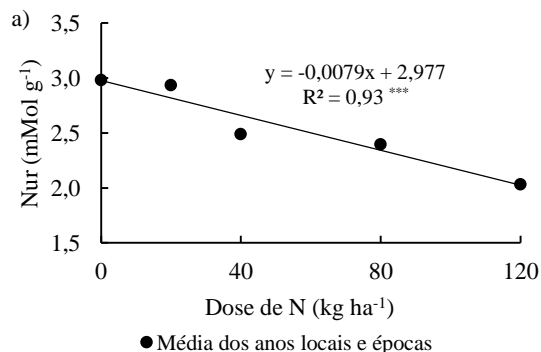


Figura 2.4 - Efeito da dose de N no Nur de soja em duas safrãs, em dois locais e duas épocas de aplicação de N na cultura. ^{ns} não significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste F

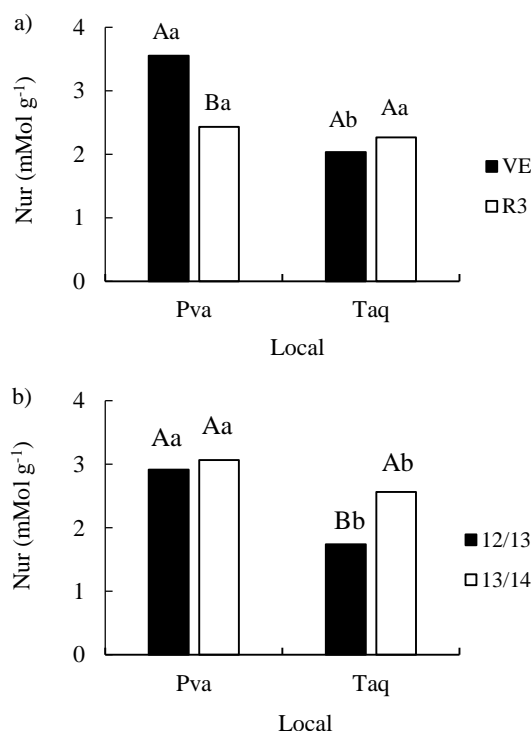


Figura 2.5 - Nur da soja: a) interação entre locais e épocas de aplicação de N; b) interação entre locais e safrãs. Letras maiúsculas comparam médias entre as colunas de cor diferente (branca x preta). Letras minúsculas comparam as médias das colunas de mesma cor

Para o Naa, houveram duas interações simples, entre local x épocas, e, ano x época de aplicação de N (Tabela 2.1). A primeira interação ocorreu pela quantidade de Naa aumentar com a aplicação em R3 em relação a aplicação em VE em Taquarituba. O mesmo não ocorreu em Primavera do Leste que apresentou a mesma média independente da época de aplicação. Houve também sempre maior Naa em Primavera do Leste do que em Taquarituba (Figura 2.6

a). A segunda interação foi causada pela maior média de Naa com a aplicação em VE na safra 13/14, fato não ocorrido na safra 12/13. Houve também maior quantidade de Naa na segunda safra, independente da época de aplicação (Figura 2.6 b).

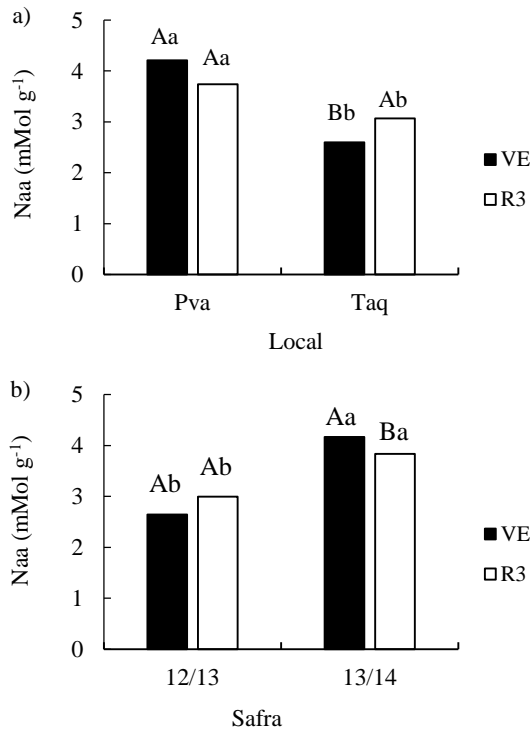


Figura 2.6 - Naa da soja: a) interação entre locais e épocas de aplicação de N; b) interação entre safras e épocas de aplicação de N. Letras maiúsculas comparam médias entre as colunas de cor diferente (branca x preta). Letras minúsculas comparam as médias das colunas de mesma cor

O Nnit não variou conforme os tratamentos aplicados, mostrando apenas interação entre ano e local (Tabela 2.1). A safra 13/14 apresentou a maior média de Nnit para os dois locais, entretanto em 12/13, Taquarituba apresentou média maior que Primavera do Leste, e, no ano seguinte, o resultado foi o inverso (Figura 2.7).

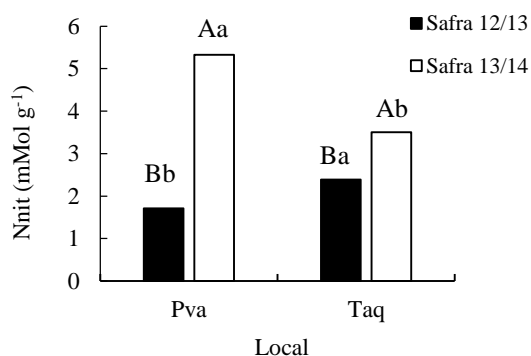


Figura 2.7 - Nnit na soja, interação entre locais e safras. Letras maiúsculas comparam médias entre as colunas de cor diferente (branca x preta). Letras minúsculas comparam as médias das colunas de mesma cor

O Ndfa e a Rur, por serem fatores estreitamente relacionados, apresentaram resultados semelhantes, os quais apresentaram interação entre local e data de aplicação, ano e a data de aplicação, e também de forma isolada para a dose (Tabela 2.1). Na primeira interação (local x data de aplicação) em Taquarituba, tanto o Rur quanto o Ndfa, foram semelhantes independente da aplicação ser realizada em VE ou R3. Entretanto em Primavera do Leste, a aplicação em R3 resultou em menor Rur e Ndfa do que a aplicação em VE (Figuras 2.8 a e 2.9 a).

Na interação local e safra, em Taquarituba não houve diferença no Rur e no Ndfa (Figuras 2.8 b e 2.9 b, respectivamente) entre os dois anos de experimento, entretanto em Primavera do Leste, as maiores médias foram na primeira safra.

Analisando a interação safra x época de aplicação de N, verificou-se que a aplicação em VE resultou em médias de Rur e Ndfa maiores do que a aplicação em R3 na safra 12/13. Não houve diferenças entre as épocas de aplicação na safra 13/14. Na safra seguinte as duas variáveis resposta foram semelhantes independente da época de aplicação (Figura 2.8 c e 2.9 c).

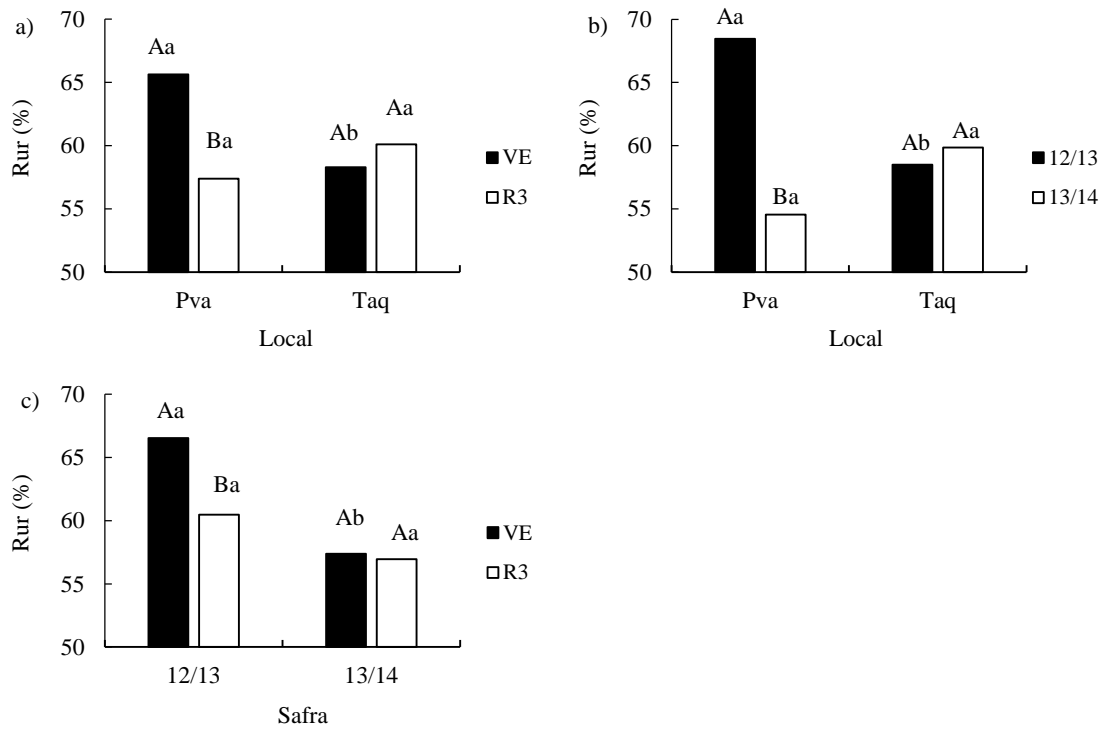


Figura 2.8 - Rur da soja: a) interação entre locais e datas; b) interação entre locais e safras; c) interação entre safras e épocas. Letras maiúsculas comparam médias entre as colunas de cor diferente (branca x preta). Letras minúsculas comparam as médias das colunas de mesma cor

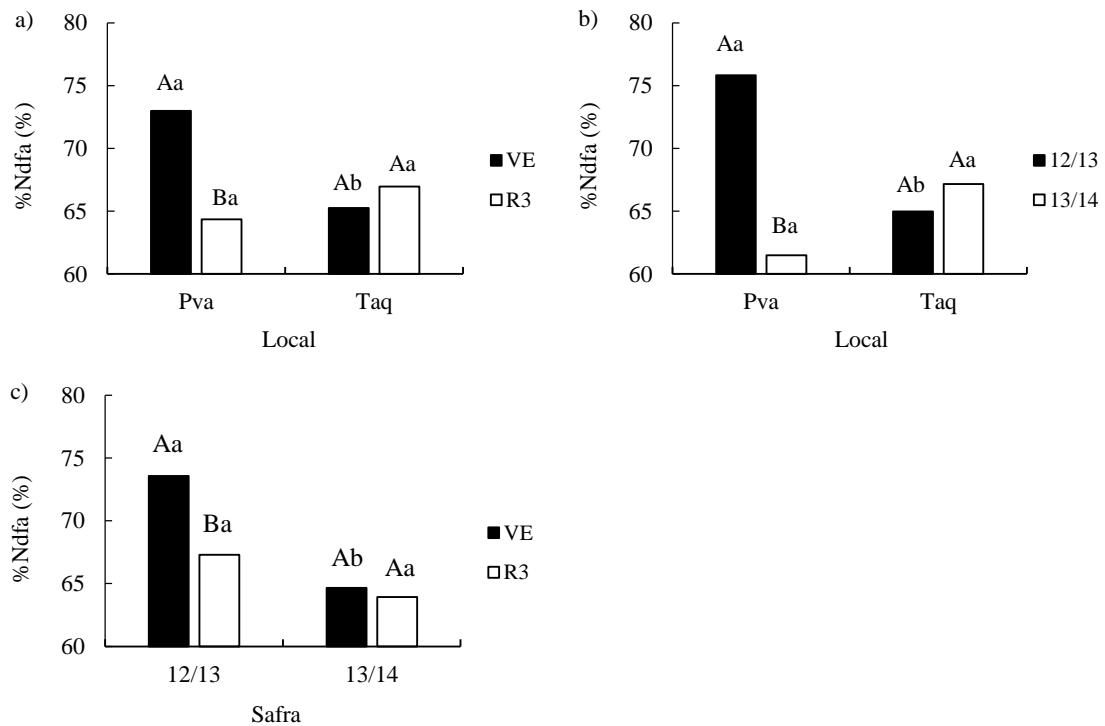


Figura 2.9 - %Ndfa na soja: a) interação entre locais e épocas; b) interação entre locais e safras; c) interação entre safras e épocas. Letras maiúsculas comparam médias entre as colunas de cor diferente (branca x preta). Letras minúsculas comparam as médias das colunas de mesma cor

As doses de N, reduziram o Rur e a %Ndfa (Figura 2.10 a e b), em 10% independentemente da safra, local, ou época da aplicação de N.

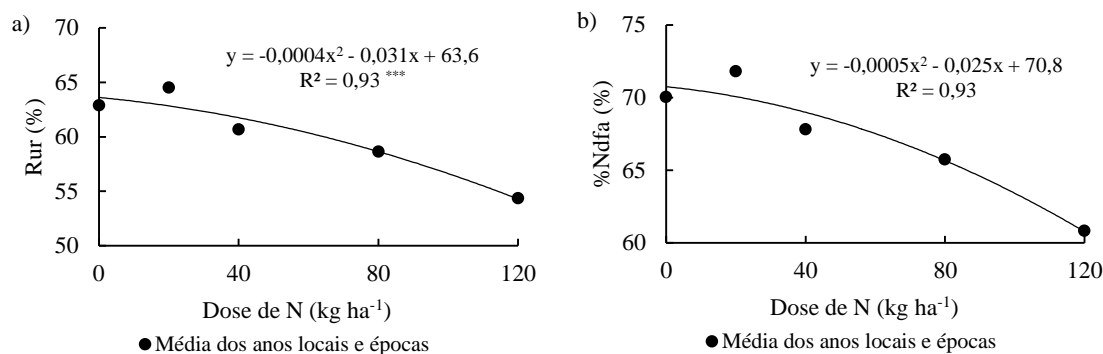


Figura 2.10 - Efeito da dose de N na soja: a) Rur e b) %Ndfa em duas safras e dois locais. *** significativo a menos do que 0,1% de probabilidade de erro pelo teste F

2.4 Discussão

Com os resultados de produtividade, observa-se que para as variáveis controle (dose e/ou época) houve resposta apenas em Primavera do Leste e somente no segundo ano de estudo. Nessa localidade a aplicação de N com a soja em R3 provocou aumento de produtividade da cultura (Tabela 2.2).

Percebemos claramente que nessa localidade, o Rur e %Ndfa foram 15% maiores na safra 12/13 comparado com a 13/14, ou seja, houve redução do Rur e %Ndfa na segunda safra (Figuras 2.8 b e 2.9 b). No cerrado, a Rur e %Ndfa também foram maiores na aplicação em VE, o que significa, que a aplicação em R3 causou a maior redução nessas variáveis resposta (Figura 2.8 a e 2.9 a).

A redução destas variáveis na safra 13/14 pode ser devido à grande quantidade de palha que havia na segunda safra em Primavera do Leste. Ao invés do solo praticamente descoberto, cultivado após lavoura de algodão no primeiro ano, na segunda safra havia sido realizada a cobertura com milheto, que já estava morto e em contato com o solo 105 dias antes da semeadura da soja. Esse fato, pode ter elevado a quantidade de N orgânico no solo. Nota-se que a %Ndfa e Rur diminuíram em Primavera do Leste na safra 13/14, mas a quantidade de ureídeos Nur não (Figura 2.5 b). Isso significa, que a contribuição da FBN na composição da planta diminuiu do primeiro para o segundo ano, não por prejuízos a FBN, (pois o Nur é o mesmo), mas sim pelo aumento das outras fontes de N, principalmente o Nnit (Figura 2.7).

A decomposição da palhada de milho no cerrado, em 108 dias após a dessecação, foi de 64% e libera 69 kg ha⁻¹ de N (Torres et al., 2005), podendo chegar a 102 kg ha⁻¹ de N liberado, que contribui para a elevar os teores de NH₄⁺ no solo (Teixeira et al., 2009). Franzluebbbers et al. (1994), em experimento em solo de savana, citam que há um aumento significativo do N mineral do solo quando há palhada de milho, comparado a solo em pousio. A maior quantidade de N mineral na segunda safra em Primavera do Leste contribuiu para o aumento do N_{nit} translocado pelo xilema. A soja, que é dependente da fixação do N₂, apresenta elevados teores de ureídeos, mas quando foram supridas com nitrato apresentam elevados teores de amidas e baixos teores de ureídeos (McClure e Israel, 1979; Pate et al., 1980).

Em trabalho realizado por Saravitz et al. (1998) é possível visualizar que o aumento de da concentração de 0,1 para 0,5 mMol NO₃⁻ da solução, contribuiu para o aumento de 25% de transporte de nitrato das raízes para a parte aérea da planta.

O aumento do nitrato na solução do solo, reduz a abundância relativa de ureídeos (Rur) (HERRIDGE; BROCKWELL, 1988), e a %Ndfa (VAN JAARSVELD et al., 2002), como também ocorreu neste estudo. Entretanto a diferença que ocorreu no nitrato do xilema (Figura 2.7) em PVA, devido à mudança no sistema produtivo entre as duas safras, com maior aporte de NO₃⁻ na segunda safra, não reduziu os níveis de Nur neste local (Figura 2.5 b). Acreditamos que a liberação paulatina do N da palha (ANDERSON; DOMSCH, 1980; SOUZA; MELO, 2000), aliado à grande atividade microbológica de um solo coberto, onde a densidade de microorganismos aumenta com disponibilidade de N mineral no solo, servindo como um tampão na quantidade de N do solo, contribuiu para que houvesse N no sistema para a cultura. Resultados de Kaushal et al. (2004), utilizando adubos de liberação controlada de N, aplicados em profundidade de 20 cm, também apontam que o Nur, e até mesmo a Rur e a %Ndfa, não diminuem com input de N no solo longe da zona onde existe a maior concentração de nódulos (próximo à superfície do solo, junto das raízes mais grossas).

Entretanto com relação às épocas de aplicação do N, no estudo desenvolvido no cerrado, houve maior redução no Nur (Figura 2.5 a,) Rur (Figura 2.8 a) e %Ndfa (Figura 2.9 a) com a aplicação de N em R3 comparado com VE. McClure e Israel (1979), demonstraram que a partir do momento em que há suplementação com N mineral, há redução da FBN. Porém Kaushal et al. (2006), citam que se o N for colocado em profundidade de 20 cm, ou seja, fora da zona de maior nodulação, não há prejuízos a FBN. Na presente pesquisa, a aplicação de N foi realizada sempre na entre linha da cultura ou seja 22,5 cm das plantas, mas deve-se considerar que com a planta em VE, praticamente não há raízes na entre linha da

cultura, diferentemente de R3 quando o sistema radicular está mais expandido, principalmente em um solo mais leve, característica observada no solo da área experimental do Cerrado. Parte do N aplicado em VE pode ter sido imobilizado até entrar em contato com as raízes, já quando aplicado em R3, demorou menos tempo para encontrar as raízes nodulantes.

Takahashi et al. (1991), também verificaram redução no Nur, e aumento do Nnit na seiva do xilema em soja com aplicação de N em cobertura, entretanto, não houve redução no Nur ou aumento do Nnit quando o N foi colocado em profundidade. Gan et al. (2003) obtiveram redução na FBN e aumento da produtividade quando aplicaram 50 kg ha^{-1} de N em R3. No seu experimento a aplicação de N em V2 a FBN não foi afetada, além de proporcionar aumento de produtividade. Ele explica que não houve perdas na FBN, baseado em Marschner (2012), que cita que nas primeiras semanas de desenvolvimento, a combinação de N do solo e do fertilizante é essencial para o bom desenvolvimento da planta, e a planta bem desenvolvida pode estimular a nodulação.

A aplicação em R3 em Primavera do Leste, nos dois anos reduziu o Nur, pois não houve interação entre época x safra (Figura 2.5 a). Já, o aumento de produtividade com a aplicação de N em R3, ocorreu apenas na segunda safra. Nessa segunda safra, como a planta produziu mais, extraiu mais N. Foram 331 kg ha^{-1} extraídos na média de R3, e, 296 kg ha^{-1} na média da aplicação em VE. A %Ndfa foi de 58,3 e 64,7 para essas épocas, respectivamente. Se considerarmos a extração de N em kg ha^{-1} proveniente da FBN, chegamos a aproximadamente 190 kg ha^{-1} nas duas épocas. A diferença na quantidade de N seria proveniente do solo ou do fertilizante. Na segunda safra de Primavera do Leste houve mais Naa e Nnit na aplicação em R3, do que na aplicação em VE, porém sem diferença estatística. Isso mostra que, apesar da redução da Nur, a quantidade total de N fixado em kg ha^{-1} , não foi afetada, e o N complementar para o aumento da produtividade veio do solo ou do fertilizante.

Utilizando essa linha de raciocínio, explica-se também, a ausência de diferenças na produtividade de Taquarituba entre as épocas de aplicação, pois nesse ambiente, a maior quantidade de N presente no solo (maior teor de matéria orgânica), fornece o N necessário para a planta, sem a aplicação de N mineral. Em outras palavras, em um ambiente em que era possível haver aumento produtivo, como o que houve na segunda safra, e a quantidade de N no sistema era menor devido ao menor teor de MO (2,3%), como no cerrado, a adubação nitrogenada provocou diferença na produtividade conforme a época de aplicação do N. Já em Taquarituba, local com 4,0% de MO, o fornecimento de N não foi o fator limitante na produção.

Em solo com baixo teor de matéria orgânica, 1,8%, Gan et al. (2003) afirmam que a aplicação de N na soja no início do estágio reprodutivo, contribui para o aumento de produtividade, devido ao maior fornecimento de N para a planta, nos estádios finais de ciclo, quando a demanda pelo nutriente é elevada. Realmente observamos a mesma resposta no Cerrado, onde o teor de matéria orgânica é inferior ao do ambiente subtropical, porém o fato de ter ocorrido apenas na segunda safra, mostra que para haver tal resposta ao N, outros fatores devem estar contribuindo para que haja tal expressão produtiva.

Em Taquarituba, não houve redução no Nur, Rur ou %Ndfa, ou alteração na produtividade conforme a época de aplicação do fertilizante nitrogenado. Além da falta de resposta na produtividade, a não redução do Nur entre as épocas, como ocorreu em Primavera do Leste, pode ser pela maior quantidade de N que existe no solo subtropical, ou seja, os níveis de Nur já são naturalmente menores e não houve diferença entre VE e R3. Em Taquarituba, a única diferença de produtividade foi entre os anos, que foi maior em 13/14 do que em 12/13. No segundo ano de estudo, tanto o Nnit sofreu aumento, quanto o Nur.

Notamos que as respostas para as doses de N, só ocorreram para as variáveis Nur, Rur e %Ndfa. Não houve qualquer interação para dose, ou seja, o comportamento dessas variáveis foi semelhante entre os anos, locais e épocas de aplicação de N (Tabela 2.1). O Nur (Figura 2.4) decresceu linearmente com o aumento da dose de N. A Rur e a %Ndfa decresceram, de forma exponencial negativa (Figura 2.10 a e b), de modo que, quando a perda se acentua conforme aumenta-se a dose de N, a redução é próxima a 10% em cada um desses parâmetros com a dose 120 kg ha^{-1} de N.

A resposta produtiva só ocorreu em Primavera do Leste e no segundo ano de estudo, ano este em que houve o aumento do Nnit. De qualquer forma, fica claro que a resposta produtiva é incerta, mas a redução do Nur foi constante nesse ambiente, principalmente nas doses superiores a 20 kg ha^{-1} de N.

2.5 Conclusão

Existe diferença entre a produtividade de soja com o fornecimento de N em VE ou R3, no ambiente do Cerrado onde a quantidade de N disponível para a cultura é baixa. A maior produtividade foi verificada com a adubação feita em R3. O aumento de produtividade ocorreu apenas em uma das safras, o que evidencia a interferência das condições ambientais. Não houve aumento de produtividade conforme a dose de N aplicada em nenhum dos ambientes. A redução da FBN sempre ocorre, com a aplicação de N se não em termos

absolutos, em porcentagem de N fixado da atmosfera. A aplicação de N no estágio R3 reduz a %Ndfa de forma mais acentuada no ambiente do Cerrado do que no ambiente subtropical.

Referências

ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M.; URQUIAGA, S. The success of BNF in soybean in Brazil. **Plant Soil**, The Hague, v. 252, n. 1, p. 1-9, 2003.

ALVES, B.J.R.; ZOTARELLI, L.; FERNANDES, F.M.; HECKLER, J.C.; MACEDO, R.A.T.; BODDEY, R.M.; JANTALIA, C.P.; URQUIAGA, S. Fixação biológica de nitrogênio e fertilizantes nitrogenados no balanço de nitrogênio em soja, milho e algodão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 3, p. 449-456, 2006.

ANDERSON, J.P.E.; DOMSCH, K.H. Quantities of plant nutrients in the microbial biomass of selected soils. **Soil Science**, Oxford, v. 130, n. 4, p.211-216, 1980.

BANZATO, D.A.; KRONKA, S.N. **Experimentação agrícola**, 4. ed.,Jaboticabal: FUNEP, 2006. 237p.

BODRERO, M.; SALVAGIOTTI, F.; ENRICO, J.M.; MENDEZ, J.M.; TRENTINO, N. Does nitrogen fertilization increase grain yield in high yielding systems in the south area of Santa Fe Province, Argentina? In: WORLD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE, 7.; INTERNATIONAL SOYBEAN PROCESSING AND UTILIZATION CONFERENCE, 4.; CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 3., 2004, Foz do Iguassu, PR, Brazil. **Proceedings...** Foz do Iguassu: World Soybean Research Conference, 2004.

BREVEDAN, R.E.; EGLI, D.B.; LEGGETT, J.E. Influence of N nutrition on flower and pod abortion and yield of soybeans. **Agronomy Journal**, Madison, v. 70, n. 1, p.81-84, 1978.

CATALDO, D.A.; HAROON, M.; SCHRADER, L.E.; YOUNGS, V.L. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 6, n. 1, p. 71-80, 1975.

COMITÊ ESTRATÉGICO SOJA BRASIL – CESB. **Desafio nacional de máxima produtividade safra 2011/2012**. 2012. Disponível em: < <http://www.desafio soja.com.br/top20Brasil.aspx>>. Acesso em: 21 jul. 2015.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: Grãos safra 2011/2012, décimo primeiro levantamento, agosto de 2012**. 2012. Disponível em: < http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos_12_08_27_09_50_57_boletim_portugues_agosto_2012.pdf>. Acesso em: 02 de set. 2012.

COOPER, R.L. A delayed flowering barrier to higher soybean yields. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 82, n. 1, p. 27-35, 2003.

FEHR, W.R.; CAVINESS, C.E.; BURMOOD, D.T.; PENNINGTON, J.S. Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. **Crop Science**, Madison, v. 11, n. 6, p. 929-931, 1971.

- FRANZLUEBBERS, K.; JUO, A.S.; MANU, A. Decomposition of cowpea and millet amendments to a sandy Alfisol in Niger. **Plant and Soil**, The Hague, v. 167, n. 2, p. 255-265, 1994.
- FRAZÃO, L.A.; PICCOLO, M.C.; FEIGL, B.J.; CERRI, C.C.; CERRI, C.E.P. Inorganic nitrogen, microbial biomass and microbial activity of a sandy Brazilian Cerrado soil under different land uses. **Agriculture Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 135, n. 3, p. 161-167, 2010.
- GAN, Y.; STULEN, I.; VAN KEULEN, H.; KUIPER, P.J.C. Effect of N fertilizer top-dressing at various reproductive stages on growth, N₂ fixation and yield of three soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) genotypes. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 80, v. 2, p. 147-155, 2003.
- HAM, G.E.; CALDWELL, A.C. Fertilizer placement effects on soybean yield, N₂ fixation, and ³²P uptake. **Agronomy Journal**, Madison, v. 70, n. 5, p. 779-783, 1978.
- HERRIDGE, D.F. Relative abundance of ureides and nitrate in plant tissues of soybean as a quantitative assay of nitrogen fixation. **Plant Physiology**, Lancaster, v. 70, n. 1, p. 1-6, 1982.
- _____. Effects of nitrate and plant development on the abundance of nitrogenous solutes in root-bleeding and vacuum extracted exudates of soybean. **Crop Science**, Madison, n. 1, v. 25, p. 173-179, 1984.
- HERRIDGE, D.F.; BROCKWELL, J. Contributions of fixed nitrogen and soil nitrate to the nitrogen economy of irrigated soybean. **Soil Biology and Biochemistry**, Brisbane, v. 20, n. 5, p. 711-717, 1988.
- HERRIDGE, D.F.; PEOPLES, M.B. The ureide assay for measuring nitrogen fixation by nodulated soybean calibrated by ¹⁵N methods. **Plant Physiology**, Lancaster, v. 93, n. 2, p. 495-503, 1990.
- HERRIDGE, D.F.; PEOPLES, M.B.; BODDEY, R.M. Global inputs of biological nitrogen fixation in agricultural systems. **Plant Soil**, The Hague, v. 311, n. 1, p. 1-18, 2008.
- HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J.C.; CAMPO, R.J.; CRISPINO, C.C.; MORAES, J.Z.; SIBALDELLI, R.N.R.; MENDES, I.C.; ARIHARA, J. Nitrogen nutrition of soybean in Brazil: contributions of biological N₂ fixation and of N fertilizer to grain yield. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 86, n. 4, p. 927-939, 2006.
- ISRAEL, D.W.; BURTON, J.W. **Nitrogen nutrition of soybean grown in Coastal Plain Soils of North Carolina**. Raleigh: North Carolina State University, North Carolina Agricultural Research Service, 1997. (Technical Bulletin, 310).
- KAUSHAL, T.; SUGANUMA, T.; FUJIKAKE, H.; OHTAKE, N.; SUEYOSHI, K.; TAKAHASHI, Y.; OHYAMA, T. Effect of deep placement of n fertilizers and different inoculation methods of bradyrhizobia on growth, N₂ fixation activity and n absorption rate of field grown soybean plants. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Malden, v. 190, n. 1, p. 46-58, 2004.

- KAUSHAL, T.; ONDA, M.; ITO, S.; YAMAZAKI, A.; FUJIKAKE, H.; OHTAKE, N.; SUEYOSHI, K.; TAKAHASHI, Y.; OHYAMA, T. Effect of deep placement of slow-release fertilizer (lime nitrogen) applied at different rates on growth, N₂ fixation and yield of soya bean (*Glycine max* [L.] Merr.). **Journal of Agronomy and Crop Science**, Malden, v. 192, n. 6, p. 417-426, 2006.
- KOUTROUBAS, S.D.; PAPAKOSTA, D.K.; GAGIANAS, A.A. The importance of early dry matter and nitrogen accumulation in soybean yield. **European Journal of Agronomy**, Montpellier, v. 9, n. 1, p. 1-10, 1998.
- MARSCHNER, P. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3rd ed. Academic Press, Elsevier, USA, 2012. 651p.
- McCLURE, P.R.; ISRAEL, D.W. Transport of nitrogen in the xylem of soybean plants. **Plant Physiology**, Lancaster, v. 64, n. 3, p. 411- 416, 1979.
- MENDES, I.C.; REIS JUNIOR, F.B.; HUNGRIA, M.; SOUSA, D.M.G. & CAMPO, R.J. Adubação nitrogenada suplementar tardia em soja cultivada em Latossolos do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 8, p. 1053-1060, 2008.
- PATE, J.S.; ATKINS, C.A.; WHITE, B.T.; RAINBIRD, R.M.; WOORD, K.C. Nitrogen nutrition and xylem transport of nitrogen in ureide producing grain legumes. **Plant Physiology**, Lancaster, v. 65, n. 5, p. 961-965, 1980.
- PEOPLES, M.B.; BROCKWELL, J.; HERRIDGE, D.F.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. DAKORA, F.D.; BHATTARAI, S.; MASKEY, S.L.; SAMPET, C.; RERKASEM, B.; HAUGGAARD-NIELSEN, H.; JENSEN, E.S. Biological nitrogen fixation by food legumes. In: KHARKWAL, M.C. (Ed). **INTERNATIONAL FOOD LEGUMES RESEARCH CONFERENCE (IFLRC-IV)**, 4., 2008. New Delhi, India. . **Proceedings...** New Delhi: Indian Society of Genetics and Plant Breeding, 2008.
- RAY, J.D.; HEATHERLY, L.G.; FRITSCHI, F.B. Influence of large amounts of nitrogen applied at planting on non-irrigated and irrigated soybean. **Crop Science**, Madison, v. 46, n. 2, p. 52-60, 2006.
- SALVAGIOTTI, F.; CASSMAN, K.G.; SPECHT, J.E.; WALTERS, D.T.; WEISS, A.; DOBERMANN, A. Nitrogen uptake, fixation and response to fertilizer N in soybeans: a review. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 108, n. 1, p. 1-3, 2008.
- SARAVITZ, C.H.; DEVIENNE-BARRET, F.; RAPER JR, C.D.; CHAILLOU, S.; LAMAZE, T. Nitrate uptake rate by soybean and wheat plants determined by external nitrate concentration and shoot-mediated demand. **International Journal of Plant Sciences**, Chicago, v. 159, n. 2, p. 305-312, 1998.
- SAS INSTITUTE. **The SAS system for windows**: v. 9.2. Cary, 2009.
- SCHMITT, M.A.; LAMB, J.A.; RANDALL, G.W.; ORF, J.H.; REHM, G.W. In-season fertilizer nitrogen applications for soybean in Minnesota. **Agronomy Journal**, Madison, v. 93, n. 5, p. 983-988, 2001.

SOUZA, W.J.O.; MELO, W.J. Teores de nitrogênio no solo e nas frações da matéria orgânica sobre diferentes sistemas de produção de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 3, p. 885-896, 2000.

SPECHT, J.E.; HUME, D.J.; KUMUDINI, S.V. Soybean yield potential – a genetic and physiological perspective. **Crop Science**, Madison, v. 39, n. 6, p. 1560-1570, 1999.

TAKAHASHI, Y.; CHINUSHI, T.; NAGUMO, Y.; NAKANO, T.; OHYAMA, T. Effect of deep placement of controlled release nitrogen fertilizer (coated urea) on growth, yield, and nitrogen fixation of soybean plants. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 37, n. 2, p. 223-231, 1991.

TAYLOR, R.S.; WEAVER, D.B.; WOOD, C.W.; VAN SANTEN, E. Nitrogen application increases yield and early dry matter accumulation in late-planted soybean. **Crop Science**, Madison, v. 45, n. 3, p. 854-858, 2005.

TEIXEIRA, C.M.; DE CARVALHO, G.J.; DE ANDRADE, M.J.B.; SILVA, C.A.; PEREIRA, J.M. Decomposição e liberação de nutrientes das palhadas de milho e milho + crotalária no plantio direto do feijoeiro milho + crotalária no plantio direto do feijoeiro. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 4, p. 647-653, 2009

TORRES, J.L.R.; PEREIRA, M.G.; ANDRIOLI, I.; POLIDORO, J.C.; FABIAN, A.J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 2, p. 609-618, 2005.

UNKOVICH, M.J.; PATE, J.S. An appraisal of recent field measurements of symbiotic N₂ fixation by annual legumes. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 65, n. 2-3, p. 211-228, 2000.

VAN JAARSVELD, C. M.; SMIT, M.A.; KRÜGER, G.H.J. Interaction amongst soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] genotype, soil type and inoculants strain with regard to N₂ fixation. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Malden, v. 188, n. 3, p. 206-211, 2002.

WESLEY, T.L.; LAMOND, R.E.; MARTIN, V.L.; DUNCAN, S.R. Effects of late-season nitrogen fertilizer on irrigated soybean yield and composition. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 11, n. 3, p. 331-336, 1998.

YEMM, E.W.; COCKING, E.C. The determination of amino acids with ninhydrin. **Analyst**, London, v. 80, n. 948, p. 209-213, 1955.

YOUNG, E.G.; CONWAY, C.F. On the estimation of allantoin by the Rimini-Schryver reaction. **Journal of Biological Chemistry**, Rockville, v. 142, n. 2, p. 839-853, 1942.

3 EFICIÊNCIA DO USO DE FERTILIZANTE NITROGENADO NA CULTURA DA SOJA

Resumo

Experimentos com fornecimento de N mineral em soja tem sido realizados em busca de aumento da produtividade da cultura. Entretanto, não se sabe a eficiência do uso do N na soja, e tampouco detalhes da partição do N do fertilizante na planta. O objetivo do trabalho é verificar o particionamento e a eficiência do uso do N (NUE) aplicado na soja, em diferentes ambientes, bem como entender porque ocorrem ou não diferenças na produtividade de soja com o fornecimento de N ao longo do desenvolvimento da cultura. Os experimentos foram realizados em Primavera do Leste – MT (Cerrado) e Taquarituba –SP (sub-tropical) nas safras 2013/14. O delineamento experimental foi o de blocos inteiramente casualizados com quatro repetições, em um esquema fatorial 2x5 com duas épocas de aplicação de N (estádio VE e R3 de desenvolvimento da soja) e 5 doses de N (0, 20, 40 80 e 120 kg ha⁻¹ de N). A extração de N total foi maior com a adubação em R3. No ambiente do Cerrado a aplicação nesse estágio provocou aumento de produtividade. O aumento do N da parte aérea com a aplicação em R3 em Primavera do Leste parece estar relacionado com o aumento de produtividade. A NUE foi próxima a 50%, e, foi semelhante entre as duas épocas de aplicação de N em ambos os ambientes. No ambiente tropical a NUE reduziu conforme o aumento da dose de N. No ambiente subtropical a NUE foi constante.

Palavras-chave: *Glycine max*; adubação de cobertura; NUE; Ndff; extração de N; Cerrado

Abstract

Experiments with supply of mineral N in soybeans has been conducted in search of increased crop yield. However, no one knows the efficiency of use of N in soybeans, much less the details as the fertilizer N partitioning in the plant. This study aims is to check the partitioning and efficiency of N (NUE) applied on soybean, applied in different environments and understand why they occur or not differences in soybean yield by providing N throughout the development of culture. The experiments were performed in Primavera do Leste - MT (Cerrado) and Taquarituba- SP (subtropical) in the 2013/14 season. The experimental design was a complete randomized block design with four replications, in a 2x5 factorial arrangement with two N application timing (VE and R3 soybean development) and 5 nitrogen rates (0, 20, 40, 80 and 120 kg ha⁻¹ N). The total N extraction is greater with fertilization in R3. In the Cerrado environment the application at this stage caused increased yield. The increase in N shoot with the application R3 in Primavera do Leste appears to be related to the increased yield. The NUE showed values close to 50% and was similar between the two N application timing in both environments. In the tropical ambience NUE decreased with increasing dose of N. subtropical ambience in the NUE has been constant.

Keywords: *Glycine max*; Cover fertilization; NUE; Ndff; Extracting N; Cerrado

3.1 Introdução

Experimentos com fornecimento de N mineral em soja têm sido realizados em busca de aumento da produtividade da cultura. Devido à grande demanda e exportação de nitrogênio (N) pela soja, estima-se que para produzir 1 Mg de grãos a cultura necessite de 80 kg de N (HUNGRIA et al., 2001; SALVAGIOTTI et al., 2008), fornecido principalmente, pela fixação biológica (FBN) e pela reserva do nutriente presente no solo.

A quantidade de N proveniente do solo varia de acordo com diversos fatores, como a textura, teor de matéria orgânica (MOS), quantidade e qualidade de resíduos vegetais e o clima da região. Estima-se que o solo forneça de 15 a 60 kg ha⁻¹ para a cultura da soja (HUNGRIA et al., 2006; FRAZÃO et al., 2010; SOUZA; MELO, 2000). Por sua vez, a FBN contribui com 70 até 200 kg ha⁻¹ de N (UNKOVICH; PATE, 2000; ALVES et al., 2003, 2006; PEOPLES et al., 2008 HERRIDGE et al., 2008). Essa quantidade de N, por volta de 280 kg ha⁻¹ proveniente do solo e da FBN, seria suficiente para fornecer o nutriente para produtividades de 3.5 Mg ha⁻¹.

Entretanto, produtividades maiores, 4 Mg ha⁻¹ ou mais, foram atingidas devido ao fornecimento de N (BREVEDAN et al., 1978; WESLEY et al., 1998; RAY et al., 2006; TAYLOR et al., 2005; MENDES et al., 2008). A necessidade de N fornecido por fertilizantes minerais com o objetivo de complementar a demanda da planta é um tema controverso na literatura, pois outros trabalhos com fertilização nitrogenada alcançaram os mesmos patamares sem efeito do N mineral (HAM et al., 1978; KOUTROUBAS et al., 1998; SCHMITT et al., 2001; BODRERO et al., 2004).

Essa grande divergência de resultados, positivos e negativos, ocorrem naturalmente devido a diferenças entre cultivares e condições ambientais. Como o tema é fundamentado, os resultados variáveis, e busca pelo aumento de produtividade é incessante, cada vez mais produtores estão realizando essa prática.

Portanto, além das divergências dos resultados relatados na literatura, práticas agrícolas com a adubação nitrogenada em soja estão sendo adotadas, mesmo sem o entendimento correto sobre o tema. Esses dois fatos, reforçam a necessidade de estudos que contribuam para auxiliar no entendimento da temática em questão.

Além dos resultados que são variáveis, não se sabe a eficiência do uso do N na soja, e muito menos os detalhes como o particionamento do N do fertilizante na planta. Salvagiotti et al. (2008) em sua revisão sobre o tema, sugerem que sejam realizadas pesquisas que

quantifiquem a eficiência da absorção do N, bem como a eficiência do N mineral na produção de grãos.

O objetivo do trabalho é verificar o particionamento e a eficiência do N aplicado na soja, aplicado em diferentes ambientes, bem como entender por que ocorrem ou não diferenças na produtividade de soja com o fornecimento de N ao longo do desenvolvimento da cultura.

3.2 Material e Métodos

Área experimental

O experimento foi realizado nos municípios de Primavera do Leste – MT, 15°25'46.5"S 54°22'21.1"W e 650 m de altitude, ambiente tropical localizado no bioma do cerrado, e Taquarituba – SP, 23°34'54" de latitude sul, 49°15'11" de longitude oeste e 646 m de altitude, ambiente subtropical.

Em Primavera do Leste o solo é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo, com 50% de argila. A análise química do solo realizada na implantação do experimento, na camada 00-0,2 m, apresentou seguintes resultados: pH em 5,0 (CaCl₂); matéria orgânica do solo em 23,7 g dm⁻³; teores de P (resina como extrator) de 16,5 mg dm⁻³; K, Ca, Mg e acidez total em pH 7,0 (H+Al) de 2,9, 27,3, 8,7 e 39,3 mmol_c dm⁻³, respectivamente, com saturação de bases em 49,7%. Em Primavera do Leste a adubação foi realizada na entre safra, dia 19/04/2013 foi aplicado 15, 75 e 75 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente. Portanto, na referida safra, a cultura da soja não recebeu adubação de semeadura ou cobertura.

O solo de Taquarituba é classificado como Nitossolo Vermelho eutrófico, com 53% de argila, 27% de silte e 20% de areia. A análise química do solo realizada na camada 00-0,2 m apresentou seguintes resultados: pH em 5,5 (CaCl₂); matéria orgânica do solo em 40 g dm⁻³; teores de P (resina como extrator) de 19 mg dm⁻³; K, Ca, Mg e acidez total em pH 7,0 (H+Al) de 7,6, 42, 31 e 34 mmol_c dm⁻³, respectivamente, com saturação de bases em 70%. Nesse local, a adubação de semeadura da soja foi de 9 kg ha⁻¹ de N; 86 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 65 kg ha⁻¹ de K₂O no sulco de semeadura.

A semeadura da soja foi realizada no dia 29/10/13 em Primavera do Leste e 20/10/13 em Taquarituba com as cultivares Nidera 7901 RR, Nidera 5909RR e stand de 310.000 e 317.000 plantas ha⁻¹, respectivamente.

Clima

A precipitação e a temperatura média em Primavera do Leste, na safra 13/14 estão indicadas na Figura 3.1. O acúmulo de chuva foi de 1.167 mm na safra 2013/2014.

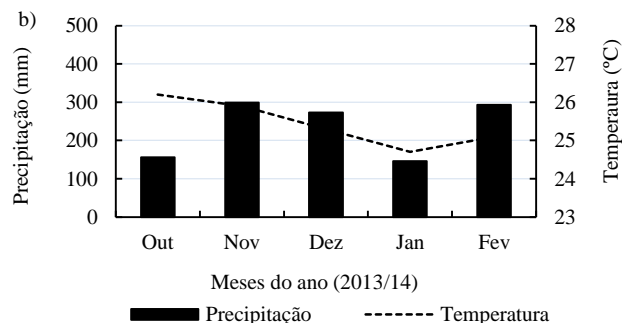


Figura 3.1 - Pluviosidade, temperatura média mensal na safra 2013/2014 em Primavera do Leste

Em Taquarituba, a precipitação e a temperatura média na safra 13/14 estão indicadas na Figura 2.2. Foi registrado um acúmulo de chuva de 864 mm na safra 2013/2014, de modo que, houve menor pluviosidade, principalmente nos meses de novembro, dezembro e fevereiro.

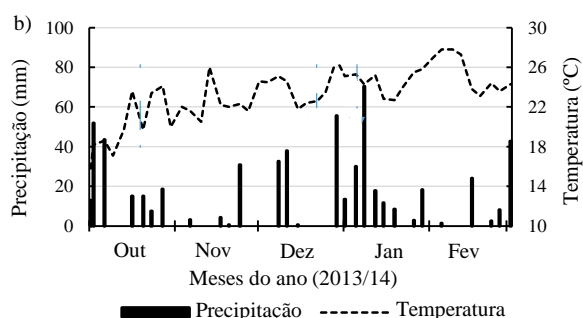


Figura 3.2 - Pluviosidade, temperatura média mensal na safra 2013/2014 em Taquarituba

Delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi instalado em blocos inteiramente casualizados com quatro repetições, em esquema fatorial 5x2, em que foram comparadas 5 doses de N em 2 épocas de aplicação. As 5 doses de N utilizadas foram 0, 20, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ aplicadas quando a soja encontrava-se em VE (emergência de plantas) ou quando em R3 (vagens com até 0,5 cm em um dos quatro nós superiores da haste) (FEHR et al., 1971). Cada parcela era constituída de 5 linhas de soja de 10 metros de comprimento cada espaçadas a 0,45 m.

Aplicação do fertilizante com ^{15}N , amostragem e análise

O fertilizante marcado foi aplicado com ureia enriquecida à abundância isotópica de 2,08% de átomos ^{15}N em cada tratamento. A aplicação da ureia- ^{15}N foi realizada em microparcels localizadas no centro de cada parcela e constituída de 1 linha de 1 metro de comprimento dentro do tratamento correspondente. A aplicação de N foi realizada no dia 08/11/13 com a soja no estágio VE e no dia 20/12/13 com a soja em estágio R3-R4 em Primavera do Leste. Em Taquarituba a aplicação foi no dia 30/10/13 com a soja no estágio VE e no dia 23/12/13 com a soja em estágio R3-R4. O método de aplicação da N foi pela abertura de sulcos na entre linha de semeadura e a aplicação da ureia sólida. No restante da parcela foi aplicado ureia nas mesmas doses e do mesmo modo do que foi realizado na microparcela.

A colheita da soja marcada foi realizada em R7 (maturação fisiológica) 28/01/2014 (95 DAE) e 06/02/2014 (102 DAE) em Primavera do Leste e Taquarituba, respectivamente, para evitar a perda de folhas devido à senescência, o que prejudicaria a recuperação do ^{15}N nas plantas de soja. No centro da microparcela coletaram-se duas plantas de cada uma das duas linhas centrais. Para avaliação da concentração de ^{15}N particionou-se a planta em grãos e parte aérea (PA) que foi constituída de folhas, hastes e cascas de vagens. Também foram coletadas raízes até a profundidade de 20 cm.

O solo das microparcels também foi coletado através de sonda, nas profundidades 0-20 cm, 20-40, 40-60 e 60-80 cm profundidade na linha de semeadura e na entrelinha da soja.

O material vegetal coletado nas microparcels foi seco em estufa com circulação de ar a 60 °C por 72 horas, para determinar a matéria seca. Posteriormente, as amostras foram moídas em moinho tipo Wiley, com peneira de malha 2 mm. No material cominuído determinou-se o teor de N-total e da abundância de ^{15}N (% em átomos) em espectrômetro de massa automatizado que foi acoplado a um analisador de N modelo ANCA-GSL, Sercon Co., UK. As concentrações de N total e a razão dos isótopos $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ foram determinados de acordo com Barrie e Prosser (1996). As análises isotópicas foram realizadas no laboratório de Isótopos Estáveis do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (LIE-CENA). Foi determinado a extração de N dos grãos, da parte aérea (PA), das raízes, total da planta (kg ha^{-1}), o nitrogênio proveniente do fertilizante (Ndff) nos grãos, Ndff na PA, Ndff nas raízes Ndff total, recuperação de N (Nrec) nos grãos, Nrec PA, Nrec raízes, e eficiência no uso do fertilizante nitrogenado (NUE).

No cálculo de Ndff foi utilizada a equação 1:

$$\text{Ndff} = \frac{({}^{15}\text{Np} - {}^{15}\text{Nn})}{({}^{15}\text{Nf} - {}^{15}\text{Nn})} \times \text{Np} \quad (1)$$

Em que: Ndff é a quantidade de N na PA, grãos, total da planta, ou do solo proveniente do fertilizante (kg ha^{-1}), ${}^{15}\text{Np}$ é a quantidade de ${}^{15}\text{N}$ na PA, grãos, raízes, total da planta, ou do solo (% de átomos), ${}^{15}\text{Nn}$ é a abundância natural de ${}^{15}\text{N}$ (% de átomos), ${}^{15}\text{Nf}$ é a quantidade de ${}^{15}\text{N}$ no fertilizante (2,53% de átomos) e Np é a quantidade de N na PA, grãos, raízes, total da planta, ou do solo.

As Nrec foram calculadas a partir da equação 2:

$$\text{Nrec} = \frac{\text{Ndff}}{\text{Rate N}} \times 100 \quad (2)$$

Em que Nrec é a porcentagem de N aplicado recuperado na PA, grãos, raízes ou no solo (%) e Rate N é a dose de N aplicada (kg ha^{-1}).

A NUE foi calculada a partir da equação 3:

$$\text{NUE} = \frac{\text{Ndff}}{\text{Rate N}} \times 100 \quad (3)$$

Em que NUE é a porcentagem de N aplicado recuperado no total da planta (%) e Rate N é a dose de N aplicada (kg ha^{-1}).

Colheita

A colheita do experimento foi realizada nos dias 14/02/2014 (108 DAE) e 28/02/2014 (123 DAE) em Primavera do Leste e Taquarituba, respectivamente, com a soja no estádio R8, onde foram coletadas as plantas presentes em 3 metros das 3 linhas centrais de cada parcela, totalizando 9 metros lineares. Posteriormente determinou-se a massa de grãos em kg ha^{-1} com umidade corrigida para 130 gramas de água por quilo de semente.

Procedimento estatístico

Os resultados foram submetidos ao teste de normalidade e homogeneidade de variância, e posteriormente à análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade por meio do programa “Statistical Analysis System 9.2” (SAS Inst., 2008). Foi realizada a análise

conjunta dos dois locais experimentais para as variáveis resposta em que a divisão dos quadrados médios dos erros da análise de variância de cada ano agrícola apresentasse o quociente menor ou igual a 7, conforme o pressuposto de Banzato e Kronka (2006). Se rejeitada a hipótese de nulidade, foram realizados testes de comparação de médias Fisher (LSD) $p \leq 0,05$ para as épocas e locais, e análises de regressão para doses.

3.3 Resultados

Produtividade e extração de N

A análise de variância conjunta mostrou que não houve interação entre os locais de experimento e a variável dose na produtividade de grãos, e no N extraído pela soja (Tabela 3.1), portanto a resposta dessas variáveis para a dose do fertilizante nitrogenado, foi igual nos dois locais de experimento. Entretanto, entre os locais, houve diferença para o N extraído. Em Taquarituba a produtividade e a extração de N foi maior do que em Primavera do Leste (Tabela 3.1).

Em relação a produtividade, houve interação entre o local e a época de aplicação de N, de modo que, em Taquarituba, a produtividade foi a mesma independente da época de aplicação de N. De maneira análoga, em Primavera do Leste, a produtividade foi maior com a aplicação de N em R3 quando comparada com a aplicação em VE. Para a extração de N, não ocorreu interação entre época e local, havendo apenas diferença entre as épocas de aplicação. Na aplicação em R3, a extração de N foi maior.

Tabela 3.1 - Análise conjunta de produtividade de grãos e extração total de N pelas plantas de soja, submetida à doses e épocas de aplicação de fertilizante nitrogenado

Épocas de aplicação	Dose kg ha ⁻¹	Produtividade		Extração de N pela soja	
		PVA	TAQ	PVA	TAQ
		kg ha ⁻¹			
VE	0	3.503	4.561	298	325
	20	3.611	4.593	330	328
	40	3.520	4.707	279	371
	80	3.605	4.661	309	301
	120	3.571	4.788	264	326
Médias de VE		3.562 Bb	4.662 Aa	311 b	
R3	0	3.825	4.820	325	344
	20	3.842	4.562	339	360
	40	3.836	4.623	315	324
	80	3.908	4.603	308	346
	120	4.128	4.737	367	331
Médias de R3		3.908 Ba	4.669 Aa	336 a	
Média dos locais		3.735 B	4.665 A	313 B	336 A
Local (L)		<0,0001 ***		0,0407 *	
Época (E)		0,0037 **		0,0455 *	
L*E		0,0035 **		0,2663 ns	
Pr>F	Dose (D)	0,4063 ns		0,6934 ns	
	L*D	0,8781 ns		0,7535 ns	
	E*D	0,7518 ns		0,5315 ns	
	L*E*D	0,6649 ns		0,1376 ns	
CV %		5,90		14,81	

ns não significativo; * significativo a 5%; ** significativo a 1%; *** significativo a menos do que 0,1% probabilidade de erro pelo teste F. Letras maiúsculas comparam médias na mesma linha, (para cada variável resposta independente). Letras minúsculas comparam as médias na mesma coluna.

Analisando a extração de N nos grãos, parte aérea e raiz, verificou-se que, houve diferença entre os locais para o N extraído nos grãos e na parte aérea (Tabela 3.2). Nos grãos, a extração maior foi em Taquarituba, e na parte aérea a extração maior foi em Primavera do Leste. O N extraído pela parte aérea foi diferente conforme a época de aplicação de N, de modo que, a maior quantidade foi com a aplicação em R3. Nas raízes os locais, as doses ou épocas de aplicação de N, não interferiram na extração de N por esse órgão da planta.

Tabela 3.2 - Análise conjunta de extração de N nos grãos, parte aérea e raízes de soja submetida à doses e épocas de aplicação de fertilizante nitrogenado

Época	Dose kg ha ⁻¹	N grão		N P.A.		N raiz	
		PVA	TAQ	PVA	TAQ	PVA	TAQ
VE	0	182	247	111	73	4,2	4,6
	20	221	249	105	74	3,6	5,7
	40	169	276	106	92	4,6	3,6
	80	197	231	107	65	4,6	4,9
	120	159	253	100	69	4,4	4,7
	Médias de VE		186	251		91 b	4,3
R3	0	199	261	121	78	4,6	4,9
	20	215	273	119	83	4,6	5,1
	40	191	251	119	68	4,8	4,4
	80	164	255	140	87	4,6	3,9
	120	230	256	132	69	4,5	5,1
	Médias de R3		200	259		102 a	4,6
Média dos locais		193 B	255 A	116 A	76 B	4,4	4,7
	Local (L)	<0,0001 ***		<0,0001 ***		0,1705 ^{ns}	
	Época (E)	0,2332 ^{ns}		0,0052 **		0,3566 ^{ns}	
	L*E	0,7164 ^{ns}		0,0507 ^{ns}		0,4765 ^{ns}	
Pr>F	Dose (D)	0,3571 ^{ns}		0,7716 ^{ns}		0,8359 ^{ns}	
	L*D	0,7064 ^{ns}		0,5533 ^{ns}		0,1151 ^{ns}	
	E*D	0,5520 ^{ns}		0,0720 ^{ns}		0,8566 ^{ns}	
	L*E*D	0,1248 ^{ns}		0,3664 ^{ns}		0,7340 ^{ns}	
	CV %	17,42		4,06		33,00	

^{ns} não significativo; * significativo a 5%; ** significativo a 1%; *** significativo a menos do que 0,1% probabilidade de erro pelo teste F. Letras maiúsculas comparam médias na mesma linha, (para cada variável resposta independente). Letras minúsculas comparam as médias na mesma coluna.

Quantidade de N na planta proveniente do fertilizante

O Ndff nos grãos, apresentou interação significativa entre os locais e as doses de N aplicadas (Tabela 3.3). Nos dois locais, aumentou linearmente com o aumento da dose de N aplicada, entretanto em Taquarituba, esse aumento foi maior do que em Primavera do Leste (Figura 3.3 a). Na dose 20 kg ha⁻¹ o Ndff foi de 8,3 e 7,1 kg ha⁻¹ em Primavera do Leste e Taquarituba, respectivamente, o que significa 14% de diferença. Entretanto na dose de 120 kg ha⁻¹ de N, a diferença foi de 42 % entre as localidades com média de 31,4 e 54,1 kg ha⁻¹ de Ndff (Tabela 3).

Tanto o Ndff na parte aérea quanto o das raízes, diferiram entre os locais com a maior média em Primavera do Leste. Entre as épocas de aplicação do fertilizante, a aplicação em VE proporcionou mais N do fertilizante na parte aérea e nas raízes (Tabela 3.3).

O Ndff da parte aérea, raiz e total apresentaram diferença significativa em relação as doses de N aplicadas, sem que ocorresse interação entre essa variável e o local, portanto a resposta do Ndff da parte aérea, raiz e total, à dose de N foi a mesma nos dois locais (Tabela 3.3). Para essas variáveis resposta, houve aumento linear com o aumento da dose de N aplicada (Figura 3.3).

Tabela 3.3 - Análise conjunta de Ndff nos grãos, parte aérea e raízes e total da planta de soja submetida à doses e épocas de aplicação de fertilizante nitrogenado

Época	Dose kg ha ⁻¹	Ndff grão		Ndff P.A.		Ndff raiz		Ndff total da planta	
		PVA	TAQ	PVA	TAQ	PVA	TAQ	PVA	TAQ
VE	20	7,9	5,5	4,2	1,8	0,20	0,14	12,3	7,4
	40	12,9	21,1	9,7	7,6	0,56	0,29	23,1	29,0
	80	22,6	31,5	14,3	8,8	0,76	0,51	37,7	40,8
	120	23,2	44,9	17,9	13,6	0,73	0,47	41,8	59,0
	Média de VE	16,7	25,8	9,7 a	0,46 a	28,8	34,1		
R3	20	8,7	8,6	4,3	2,7	0,10	0,08	13,2	11,3
	40	17,7	16,6	7,0	2,6	0,21	0,10	24,9	19,4
	80	20,0	44,1	12,0	7,7	0,25	0,16	32,3	52,0
	120	39,6	63,2	14,7	10,5	0,35	0,31	54,6	74,0
	Média de R3	21,5	33,1	7,7 b	0,33 b	31,2	39,2		
Média do local	19,1 B	29,4 A	10,5 A	6,7 B	0,40 A	0,26 B	30,0	36,6	
	Local (L)	0,0032 **		<0,0001 ***		0,0045 **		0,2879 ^{ns}	
	Época (E)	0,0826 ^{ns}		0,0072 **		<0,0001 ***		0,4939 ^{ns}	
	L*E	0,9955 ^{ns}		0,0785 ^{ns}		0,6391 ^{ns}		0,8301 ^{ns}	
Pr>F	Dose (D)	<0,0001 ***		<0,0001 ***		<0,0001 ***		<0,0001 ***	
	L*D	0,0246 *		0,9185 ^{ns}		0,9276 ^{ns}		0,0684 ^{ns}	
	E*D	0,2499 ^{ns}		0,0541 ^{ns}		0,4888 ^{ns}		0,2098 ^{ns}	
	L*E*D	0,1733 ^{ns}		0,4328 ^{ns}		0,9898 ^{ns}		0,2365 ^{ns}	
	CV %	5,68		16,31		16,84		8,78	

^{ns} não significativo; * significativo a 5%; ** significativo a 1%; *** significativo a menos do que 0,1% probabilidade de erro pelo teste F. Letras maiúsculas comparam médias na mesma linha, (para cada variável resposta independente). Letras minúsculas comparam as médias na mesma coluna.

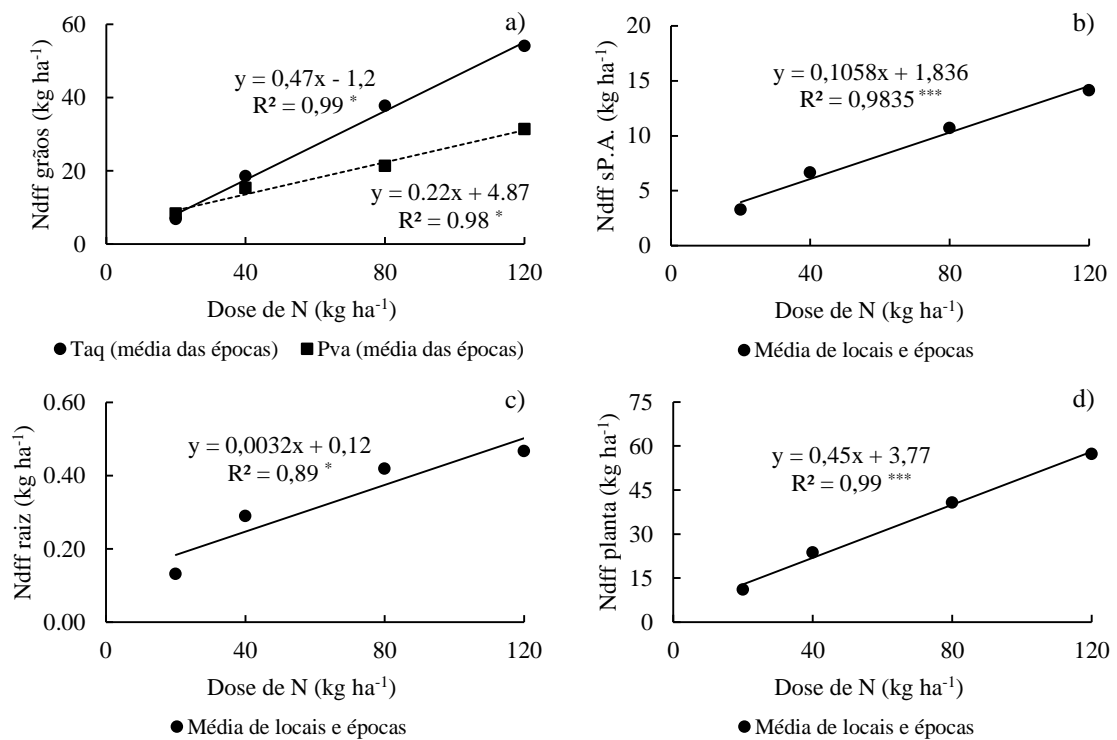


Figura 3.3 - Ndff na soja: a) grãos; b) P.A.; c) raiz; d) total da planta. * significativo a 5% e *** significativo a menos de 0,1% de probabilidade de erro pelo teste F

Recuperação de N nos grãos, P.A., raiz e NUE

Houve diferença entre os locais para a recuperação de N nos grãos, parte aérea e raízes, mas não para NUE da soja (Tabela 3.4). Em Taquarituba a recuperação de N dos grãos foi maior, e da parte aérea e das raízes menor do que em Primavera do Leste, a exemplo do que ocorreu com o Ndff.

O N rec. nas raízes também diferiu conforme a época de aplicação de N, com as maiores médias em VE (Tabela 3.4). No N rec na P.A. houve interação entre a época de aplicação e a dose de N (Figura 3.4 b), de modo que, na aplicação em VE a porcentagem recuperada se mantém constante até a dose 40 kg ha⁻¹ de N, e a partir daí decresce. Na aplicação em R3 a porcentagem decresce a partir da dose 20 kg ha⁻¹ de N, e a partir da dose 40 kg ha⁻¹ estabiliza-se.

Para o N rec. nos grãos e NUE total da soja, houve interação entre a dose e o local (Figura 3.4 a, c). A porcentagem recuperada nos grãos e a NUE foram constantes independente da dose em Taquarituba com médias de 43,7 e 55,2%, respectivamente. Entretanto em Primavera do Leste, houve decréscimo nas médias dessas duas variáveis resposta conforme o aumento da dose. Essas variáveis apresentaram redução de aproximadamente 37% entre a dose 20 e 120 kg ha⁻¹ de N.

Tabela 3.4 - Análise conjunta da recuperação de N nos grãos, parte aérea e raízes e NUE de soja submetida à doses e épocas de aplicação de fertilizante nitrogenado

Época	Dose kg ha ⁻¹	Rec. de N grãos		Rec. de N P.A.		Rec. de N raiz		NUE soja	
		PVA	TAQ	PVA	TAQ	PVA	TAQ	PVA	TAQ
		%							
VE	20	39,5	27,5	21,2	9,0	1,01	0,68	61,7	37,1
	40	32,2	52,8	24,3	19,0	1,41	0,72	57,9	72,5
	80	28,3	39,4	17,9	11,0	0,94	0,64	47,2	51,1
	120	19,3	37,4	14,9	11,3	0,61	0,39	34,9	49,1
	Média de VE	29,8	39,3	16,1 A		0,80 A		50,4	52,5
R3	20	43,5	43,0	21,7	13,3	0,49	0,40	65,8	56,7
	40	44,3	41,6	17,4	6,6	0,53	0,24	62,2	48,5
	80	25,0	55,1	15,0	9,7	0,31	0,20	40,3	65,0
	120	33,0	52,7	12,2	8,7	0,29	0,26	45,5	61,7
	Média de R3	36,5	48,1	13,1 B		0,35 B		53,4	58,0
Média do local		33,1 B	43,7 A	18,1 A	11,1 B	0,70 A	0,44 B	51,9	55,2
Local (L)		0,0058 **		<0,0001 ***		0,0037 **		0,4817 ns	
Época (E)		0,0730 ns		0,0134 *		<0,0001 ***		0,4355 ns	
L*E		0,9484 ns		0,7930 ns		0,6174 ns		0,7924 ns	
Pr>F	Dose (D)	0,3284 ns		0,0570 ns		0,0842 ns		0,1949 ns	
	L*D	0,0327 **		0,3774 ns		0,8980 ns		0,0490 *	
	E*D	0,2814 ns		0,0074 **		0,5857 ns		0,1759 ns	
	L*E*D	0,1303 ns		0,1029 ns		0,9540 ns		0,1572 ns	
CV %		9,27		8,40		16,45		16,84	

ns não significativo; * significativo a 5%; ** significativo a 1%; *** significativo a menos do que 0,1% probabilidade de erro pelo teste F. Letras maiúsculas comparam médias na mesma linha, (para cada variável resposta independente). Letras minúsculas comparam as médias na mesma coluna.

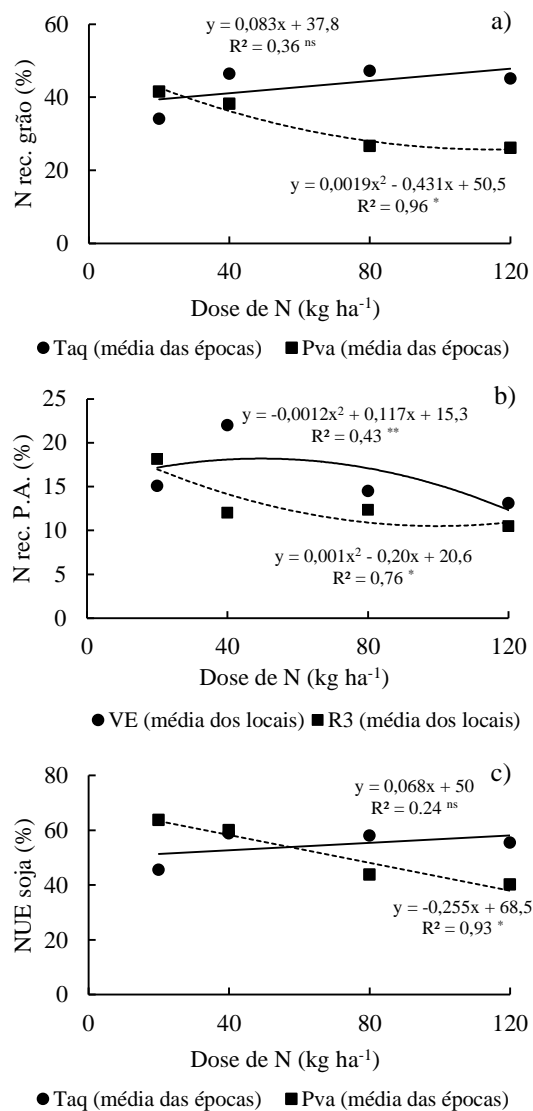


Figura 3.4 - N recuperado na soja: a) grãos; b) P.A. e c) NUE da soja. ^{ns} não significativo, * significativo a 5%; ** significativo a 1%; e *** significativo a menos de 0,1% de probabilidade de erro pelo teste F

Ndff e N recuperado no solo e no solo planta (solo + planta)

Houve interação entre local e dose para o Ndff e N rec. no solo (Tabela 3.5). Em ambos os locais houve incremento no Ndff no solo com o aumento da dose de N, entretanto esse aumento foi mais acentuado em Primavera do Leste (Figura 3.5 a). Da mesma maneira, a porcentagem de N recuperado no solo aumentou conforme a dose de N em Primavera do Leste, porém, em Taquarituba, essa porcentagem diminuiu de aproximadamente 45 para 35% da dose 20 para a dose 40 kg ha⁻¹, respectivamente, e a partir de então, estabilizou em torno de 33% mantendo-se constante até a dose 120 kg ha⁻¹ (Figura 3.5 b).

Considerando a soma do Ndff no solo e na planta, houve diferença apenas para a dose de N, sem qualquer interação (Tabela 3.5). Na figura 3.5 c, nota-se que há aumento do Ndff

do solo e planta com o aumento da dose. A porcentagem de N recuperado no solo e na planta não apresentou diferença para nenhuma das variáveis explicativas (Tabela 3.5; Figura 3.5 d), apresentando média de 90%, que foi constante independente da dose utilizada.

Tabela 3.5 - Análise conjunta Ndff e recuperado no solo, e, no solo mais planta em soja submetida à doses e épocas de aplicação de fertilizante nitrogenado

Época	Dose kg ha ⁻¹	Ndff solo		N rec. solo		Ndff solo e planta		N rec. solo planta	
		PVA kg ha ⁻¹	TAQ kg ha ⁻¹	PVA %	TAQ %	PVA kg ha ⁻¹	TAQ kg ha ⁻¹	PVA %	TAQ %
VE	20	4,7	9,2	23	46	17,0	16,6	85	83
	40	8,9	13,9	22	35	32,1	43,0	80	107
	80	37,7	26,9	47	34	75,4	67,7	94	85
	120	66,7	33,0	56	28	108,6	92,0	90	77
	Média de VE	29,5	20,8	37	36	58,3	54,8	87	88
R3	20	6,4	9,1	32	45	19,5	20,4	98	102
	40	10,9	13,6	27	34	35,8	32,9	90	82
	80	39,1	27,2	49	34	71,3	79,2	89	99
	120	63,5	35,4	53	30	118,1	109,4	98	91
	Média de R3	30,0	21,3	40	36	61,2	60,5	94	94
Média do local	29,7 A	21,0 B	39 A	36 B	59,7	57,7	91	91	
	Local (L)	0,0039 **		0,0314 *		0,8194		0,8640	
	Época (E)	0,2373		0,2353		0,3129		0,2407	
	L*E	0,4261		0,2887		0,9959		0,9560	
Pr>F	Dose (D)	<0,0001 ***		<0,0001 ***		<0,0001 ***		0,9652	
	L*D	<0,0001 ***		<0,0001 ***		0,4459		0,4886	
	E*D	0,7288		0,7405		0,3060		0,3137	
	L*E*D	0,3068		0,3188		0,2473		0,2190	
	CV %	14,78		14,78		22,69		21,47	

^{ns} não significativo; * significativo a 5%; ** significativo a 1%; *** significativo a menos do que 0,1% probabilidade de erro pelo teste F. Letras maiúsculas comparam médias na mesma linha, (para cada variável resposta independente). Letras minúsculas comparam as médias na mesma coluna.

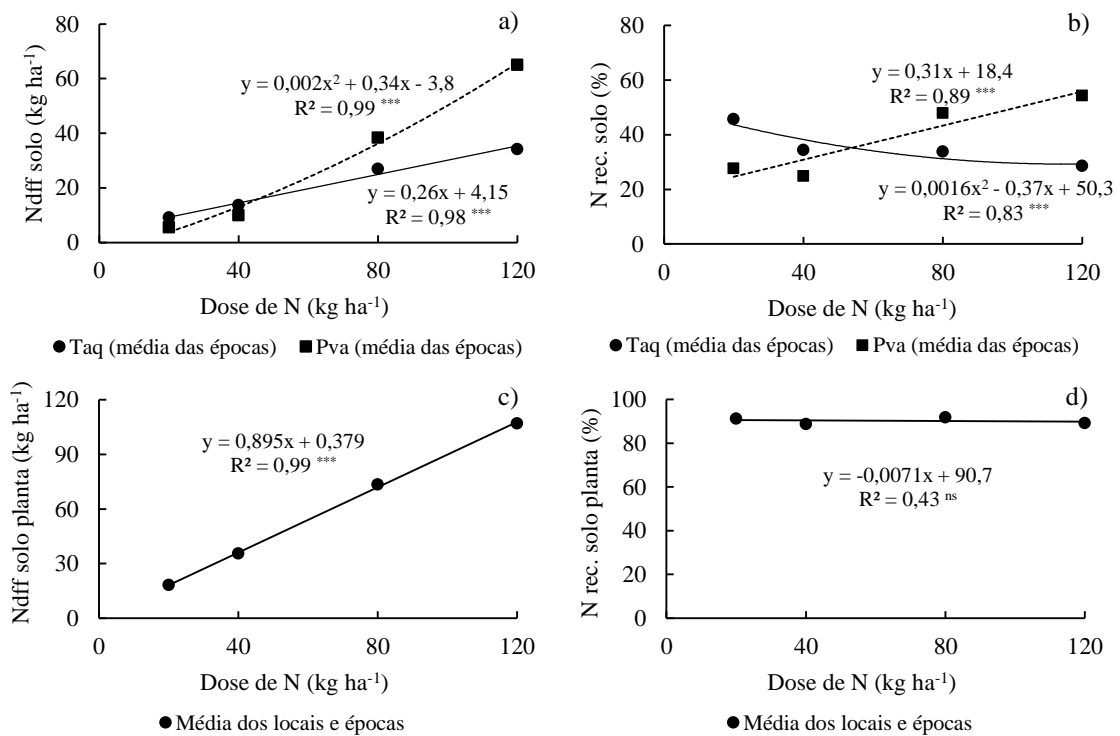


Figura 3.5 - Ndff e N recuperado: a) Ndff no solo; b) N rec. no solo; c) Ndff no solo planta; d) N rec. no solo planta. ^{ns} não significativo, * significativo a 5%; ** significativo a 1%; e ^{***} significativo a menos de 0,1% de probabilidade de erro pelo teste F

3.4 Discussão

A extração de N total sempre foi maior com a adubação em R3, mesmo com a diferença de produtividade entre as épocas ser observada apenas em Primavera do Leste (Tabela 3.1). Fabre e Planchon (2000) citam que a produtividade está mais relacionada com a assimilação de N nos estádios reprodutivos iniciais, e também em plantas que apresentam elevada taxa de fixação de N₂ no final do ciclo da soja, até o estágio R6. Portanto a adubação em R3 em Primavera do Leste pode ter fornecido o N mineral nesse estágio da cultura. Em outras culturas, como cevada e milho, a absorção de N após a antese é muito correlacionada com o aumento de produtividade (MONTEMURRO et al., 2006).

Apesar de não haver interação entre local e época para a extração de N total, observa-se que em Primavera do Leste, a extração foi 11% maior com a aplicação em R3 comparado com VE, enquanto em Taquarituba esse aumento foi de 3,5%. A adubação realizada próxima da época de maior demanda da cultura em muitas culturas resulta em maior absorção de N, como em cevada (DELOGU et al., 1998), mas, essa maior absorção de N resultou em aumento de produtividade apenas no ambiente do cerrado.

Em PVA a cada kg de N na planta 12 kg de soja foram produzidos, enquanto em Taquarituba, cada kg de N resultou em 14 kg de grãos. Salvagiotti et al. (2008) verificaram que a média entre mais de 400 trabalhos é de 12,7 kg de grãos produzidos por kg de N absorvido. Notamos, portanto, que Taquarituba apresentou uma eficiência média maior do que a maioria dos trabalhos e Primavera do Leste menor. A diferença na eficiência pode ser causada por diversos fatores, como o clima, solo, ou a cultivar. Mas o que deve ser frisado, é que, devido a menor eficiência existente no experimento do cerrado, aliado a menor quantidade de N existente nesse ecossistema, o fornecimento de N nessas condições contribuiu para o aumento da produtividade da soja. Janssen et al. (1990), e Witt et al. (1999) citam que em situações em que há uma menor eficiência no uso do N, como observado no cerrado, o rendimento de grãos pode ser limitado por outros fatores além do N. Concordamos com os autores, que a eficiência deveria ser aumentada através de qualquer fator que não o N i.e pelo uso de cultivares mais eficientes, mas complementamos que, uma vez que a eficiência é baixa, a quantidade de N exigida é aumentada.

Da mesma forma que para a extração de N total, a extração de N pelos grãos (Tabela 3.2) foi 7% maior em R3 do que em VE em Primavera do Leste, seguindo o que ocorreu com a produtividade, e Taquarituba, essa diferença cai para 3%. Devemos observar que, o Ndff dos grãos e o N rec. grãos (Tabelas 3.3 e 3.4) acompanham essa mesma tendência, mesmo sem diferença estatística.

No N P.A. (Tabela 3.2), observa-se que, mesmo produzindo menos, a extração de N foi 34% maior em Primavera do Leste. Essa maior quantidade de N na P.A. da soja em Primavera do Leste, pode ser a causa da menor eficiência do uso de N no ambiente do Cerrado.

Entretanto, cabe ressaltar, em relação ao N P.A. que, independentemente do local, a quantidade de N na parte aérea foi maior quando a aplicação foi realizada em R3. Apesar da falta de interação entre local e época, que, neste caso ficou muito próxima de ocorrer ($Pr > F$ de 0,0507), observamos que, especialmente em Primavera do Leste, houve aumento no N P.A. em R3 comparado com VE com aumento de 15% entre essas duas épocas de adubação para essa localidade. Em Taquarituba também houve aumento, mas foi da ordem de 3%. Dessa maneira, observamos que o aumento do N da parte aérea com a aplicação em R3 em Primavera do Leste, acompanha o aumento de produtividade.

Sinclair e de Wit (1976) e Koutroubas et al. (1998) destacam que o aumento do fornecimento de N a partir das raízes diminui a quantidade de N redistribuído, e isso auxiliaria a atividade fisiológica da planta prolongando a duração do enchimento da semente. A duração

do período de enchimento dos grãos está diretamente relacionado a produtividade (LEGGETT; EGLI, 1973; GAY et al., 1980)

Porém, tanto o Ndff P.A., quanto o N rec. na P.A. (Tabelas 3.3 e 3.4) foram maiores na aplicação feita em VE, portanto o comportamento do N especificamente do fertilizante, foi análogo ao da extração total por essa parte da planta. Ressalta-se que, como a quantidade de N do fertilizante é menor que a de N total, uma diferença de 2 kg ha^{-1} já apresenta diferenças no Ndff da parte aérea (Tabela 3.3). Relata-se que 37% (Koutroubas et al., 1998) a 50% (Imsande, 1992) do N contido na planta no início do enchimento de suas vagem (R3) de enchimento é redistribuído para os grãos. Dessa forma, parte do Ndff absorvido antes de R3 permanece nas folhas sem ser translocado, o que contribuiu para o maior particionamento do Ndff P.A. na aplicação realizada em VE.

Notamos também que para o N rec P.A. (Figura 3.4 b) onde houve interação dose e época de aplicação, houve decréscimo na recuperação já na dose 40 para a aplicação realizada em R3, enquanto que na aplicação em VE o decréscimo acentua-se em doses maiores. Isso contribui para explicar o porquê do Ndff P.A. e N rec P.A. serem maiores na aplicação em VE.

A maior quantidade de Ndff na P.A. com a aplicação em VE provavelmente foi pelo fato de que o N absorvido no início do ciclo da cultura para compor os órgãos vegetativos da planta permaneceu nos mesmos órgãos até o final do ciclo da cultura. Tal fato também ocorreu para o Ndff nas raízes (Tabela 3), que se vale do mesmo pressuposto. Já, na aplicação em R3 o N do fertilizante foi em uma quantidade um pouco superior para os órgãos reprodutivos, do que o N da aplicação em VE, como explica Noquet et al. (2004). No nosso estudo, mesmo não havendo diferença estatística nota-se que o Ndff dos grãos foi em média 25% maior na aplicação realizada em R3 (Tabela 3.3). O Ndff total também foi um pouco maior, cerca de 10%, na aplicação realizada em R3, porém sem diferenças estatísticas.

O Ndff nas raízes, também foi maior na aplicação realizada em VE do que na aplicação em R3. Kaspar et al. (1978) citam que na floração, ocorre a máxima taxa de crescimento radicular, e após o estágio R3, a taxa de crescimento radicular decresce. Devido a isso, houve menor quantidade de Ndff particionado nas raízes na aplicação realizada em R3, do que na aplicação em VE.

Não houve resposta às doses de N para a produtividade ou na extração de N total da planta, ou de seus órgãos. Entretanto o Ndff P.A., raízes e total planta, responderam as doses, de modo que houve aumento no Ndff em todas os órgãos da planta conforme aumentou-se a dose de N (Figura 3.3). Como não houve alteração no N total dos órgãos da planta com o

aumento da dose (Tabela 3.2), percebe-se que houve substituição do N de outras fontes (solo ou FBN) pelo N do fertilizante.

No Ndff dos grãos, o qual apresentou interação entre dose e local, notou-se que, conforme aumentou-se a dose, os aumentos foram maiores em Taquarituba, do que em Primavera do Leste. Na Figura 3.4, pode-se observar que tanto o N rec grãos, quanto a NUE foram constantes em Taquarituba, enquanto decresceram em Primavera do Leste. Esses resultados indicam que, há maior absorção de N com o aumento da dose em ambos os locais, mas no cerrado a eficiência cai de cerca de 60 para 40% entre a dose 20 e 120 kg ha⁻¹ de N, enquanto no ambiente subtropical a NUE permanece constante (próxima a 50 %). Varvel e Peterson (1991) também verificaram eficiência próxima a 50% em aplicação de 34 ou 68 kg ha⁻¹ de N em cobertura na soja. Mesmo com a NUE constante entre as doses, a produtividade não foi influenciada, mostrando que houve substituição do N do solo ou da fixação do N₂ atmosférico pelo do fertilizante.

A menor produtividade da soja em Primavera do Leste, e conseqüente menor exigência em N, fez com que a NUE fosse reduzida quando aplicado altas doses de N nesse ambiente. Em contraste, Taquarituba, com a maior produtividade e maior quantidade de N extraída, apresentou eficiência constante, mesmo nas doses acima de 60 kg ha⁻¹, como podemos observar nas curvas de regressão da Figura 3.4 c.

Podemos observar que o Ndff no solo e planta aumentou conforme a dose, chegando a quantidades próximas a dose máxima aplicada (Figura 3.5 c) dessa forma o N do fertilizante foi praticamente todo rastreado nesse experimento. O N rec. no solo e planta demonstra isso, de modo que, para todas as doses a recuperação foi próxima a 90%.

3.5 Conclusão

A extração de N total foi maior com a adubação em R3, e no ambiente tropical (Cerrado), a maior produtividade foi verificada com a aplicação de N nesse estágio. A NUE apresentou valores próximos a 50%, e, foi semelhante entre as duas épocas de aplicação de N em ambos os ambientes. No ambiente tropical a NUE reduziu conforme o aumento da dose de N. No ambiente subtropical a NUE foi constante.

Referências

ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M.; URQUIAGA, S. The success of BNF in soybean in Brazil. *Plant Soil*, The Hague, v. 252, n. 1, p. 1-9, 2003.

ALVES, B.J.R.; ZOTARELLI, L.; FERNANDES, F.M.; HECKLER, J.C.; MACEDO, R.A.T.; BODDEY, R.M.; JANTALIA, C.P.; URQUIAGA, S. Fixação biológica de nitrogênio e fertilizantes nitrogenados no balanço de nitrogênio em soja, milho e algodão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 3, p. 449-456, 2006.

BANZATO, D.A.; KRONKA, S.N. **Experimentação agrícola**, 4.ed., Jaboticabal: FUNEP, 2006. 237p.

BODRERO, M.; SALVAGIOTTI, F.; ENRICO, J.M.; MENDEZ, J.M.; TRENTINO, N. Does nitrogen fertilization increase grain yield in high yielding systems in the south area of Santa Fe Province, Argentina? In: WORLD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE, 7.; INTERNATIONAL SOYBEAN PROCESSING AND UTILIZATION CONFERENCE, 4.; CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 3., 2004, Foz do Iguassu, PR, Brazil. **Proceedings...** Foz do Iguassu: World Soybean Research Conference, 2004.

BREVEDAN, R.E.; EGLI, D.B.; LEGGETT, J.E. Influence of N nutrition on flower and pod abortion and yield of soybeans. **Agronomy Journal**, Madison, v. 70, n. 1, p.81-84, 1978.

DELOGU, G.; CATTIVELLI, L.; PECCHIONI, N.; de FALCIS, D.; MAGGIORE, T.; STANCA, A. M. Uptake and agronomic efficiency of nitrogen in winter barley and winter wheat. **European Journal of Agronomy**, Montpellier, v. 9, n. 1, p. 11-20, 1998.

EGLI, D.B.; LEGGETT, J.E. Dry matter accumulation patterns in determinate and indeterminate soybeans. **Crop Science**, Madison, v. 13, n. 2, p. 220-222, 1973.

FABRE, F.; PLANCHON, C. Nitrogen nutrition, yield and protein content in soybean. **Plant Science**, Davis, v. 152, n. 1, p. 51-58, 2000.

FEHR, W.R.; CAVINESS, C.E.; BURMOOD, D.T.; PENNINGTON, J.S. Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. **Crop Science**, Madison, v. 11, n. 6, p. 929-931, 1971.

FRAZÃO, L.A.; PICCOLO, M.C.; FEIGL, B.J.; CERRI, C.C.; CERRI, C.E.P. Inorganic nitrogen, microbial biomass and microbial activity of a sandy Brazilian Cerrado soil under different land uses. **Agriculture Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 135, n. 3, p. 161-167, 2010.

GAY, S.; EGLI, D.B.; REICOSKY, D.A. Physiological aspects remobilization of yield improvement in soybeans. **Agronomy Journal**, Madison, v. 72, n. 2, p. 387-391, 1980.

HAM, G.E.; CALDWELL, A.C. Fertilizer placement effects on soybean yield, N₂ fixation, and ³²P uptake. **Agronomy Journal**, Madison, v. 70, n. 5, p. 779-783, 1978.

HERRIDGE, D.F.; PEOPLES, M.B.; BODDEY, R.M. Global inputs of biological nitrogen fixation in agricultural systems. **Plant Soil**, The Hague, v. 311, n. 1, p. 1-18, 2008.

HUNGRIA, M.; CAMPO, J.R.; MENDES, I.C. **Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja**. Londrina: EMBRAPA, CNPSo, 2001. 48 p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 35).

- HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J.C.; CAMPO, R.J.; CRISPINO, C.C.; MORAES, J.Z.; SIBALDELLI, R.N.R.; MENDES, I.C.; ARIHARA, J. Nitrogen nutrition of soybean in Brazil: contributions of biological N₂ fixation and of N fertilizer to grain yield. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 86, n. 4, p. 927-939, 2006.
- IMSANDE, J. Agronomic characteristics that identify high yield, high protein soybean genotypes. **Agronomy Journal**, Madison, v. 84, n. 3, p. 409-414, 1992.
- JANSSEN, B.H.; GUIKING, F.C.T.; VAN DER EIJK, D.; SMALING, E.M.A.; WOLF, J.; VAN REULER. A system for quantitative evaluation of the fertility of tropical soils (QUEFTS). **Geoderma**, Avignon, v. 46, n. 4, p. 299-318, 1990.
- KASPAR, T.C.; STANLEY, C.D.; TAYLOR, H.M. Soybean root growth during the reproductive stages of development. **Agronomy Journal**, Madison, v. 70, n. 6, p. 1105-1107, 1978.
- KOUTROUBAS, S.D.; PAPAKOSTA, D.K.; GAGIANAS, A.A. The importance of early dry matter and nitrogen accumulation in soybean yield. **European Journal of Agronomy**, Montpellier, v. 9, n. 1, p. 1-10, 1998.
- MENDES, I.C.; REIS JUNIOR, F.B.; HUNGRIA, M.; SOUSA, D.M.G. & CAMPO, R.J. Adubação nitrogenada suplementar tardia em soja cultivada em Latossolos do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 8, p. 1053-1060, 2008.
- MONTEMURRO, F.; MAIORANA, M.; FERRI, D.; CONVERTINI, G. Nitrogen indicators, uptake and utilization efficiency in a maize and barley rotation cropped at different levels and sources of N fertilization. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 99, n. 2, p. 114-124, 2006
- NOQUET, C.; AVICE, J.C.; ROSSATO, L.; BEAUCLAIR, P.; HENRY, M.P.; OURRY, A. Effects of altered source–sink relationships on N allocation and vegetative storage protein accumulation in *Brassica napus* L. **Plant Science**, Davis, v. 166, n. 4, p. 1007–1018, 2004.
- PEOPLES, M.B.; BROCKWELL, J.; HERRIDGE, D.F.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. DAKORA, F.D.; BHATTARAI, S.; MASKEY, S.L.; SAMPET, C.; RERKASEM, B.; HAUGGAARD-NIELSEN, H.; JENSEN, E.S. Biological nitrogen fixation by food legumes. In: KHARKWAL, M.C. (Ed.). INTERNATIONAL FOOD LEGUMES RESEARCH CONFERENCE (IFLRC-IV), 4., 2008, New Delhi. **Proceedings...** New Delhi: Indian Society of Genetics and Plant Breeding, 2008.
- RAY, J.D.; HEATHERLY, L.G.; FRITSCHI, F.B. Influence of large amounts of nitrogen applied at planting on non-irrigated and irrigated soybean. **Crop Science**, Madison, v. 46, n. 2, p. 52-60, 2006.
- SALVAGIOTTI, F.; CASSMAN, K.G.; SPECHT, J.E.; WALTERS, D.T.; WEISS, A.; DOBERMANN, A. Nitrogen uptake, fixation and response to fertilizer N in soybeans: a review. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 108, n. 1, p. 1-3, 2008.
- SAS INSTITUTE. **The SAS system for windows**: v. 9.2. Cary, 2009.

SCHMITT, M.A.; LAMB, J.A.; RANDALL, G.W.; ORF, J.H.; REHM, G.W. In-season fertilizer nitrogen applications for soybean in Minnesota. **Agronomy Journal**, Madison, v. 93, n. 5, p. 983-988, 2001.

SHIBLES, R. M. Soybean nitrogen acquisition and utilization. In: PROCEEDINGS OF THE NORTH CENTRAL EXTENSION-INDUSTRY SOIL FERTILITY CONFERENCE, 28., 1998. St. Louis. **Proceedings...** Brookings: Potash & Phosphate Institute, 1998. p. 5-11.

SINCLAIR, T.R.; DE WIT, C.T. Analysis of the carbon and nitrogen limitations to soybean yield. **Agronomy Journal**, Madison, v. 68, n. 2, p. 319-324, 1976.

SOUZA, W.J.O.; MELO, W.J. Teores de nitrogênio no solo e nas frações da matéria orgânica sobre diferentes sistemas de produção de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 3, p. 885-896, 2000.

TAYLOR, R.S.; WEAVER, D.B.; WOOD, C.W.; VAN SANTEN, E. Nitrogen application increases yield and early dry matter accumulation in late-planted soybean. **Crop Science**, Madison, v. 45, n. 3, p. 854-858, 2005.

UNKOVICH, M.J.; PATE, J.S. An appraisal of recent field measurements of symbiotic N₂ fixation by annual legumes. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 65, n. 2-3, p. 211-228, 2000.

VARVEL, G. E.; PETERSON, T.A. Nitrogen fertilizer recovery by soybean in monoculture and rotation systems. **Agronomy Journal**, Madison, v. 84, n. 2, p. 215-218, 1992.

WESLEY, T.L.; LAMOND, R.E.; MARTIN, V.L.; DUNCAN, S.R. Effects of late-season nitrogen fertilizer on irrigated soybean yield and composition. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 11, n. 3, p. 331-336, 1998.

WITT, C.; DOBERMANN, A.; ABDULRACHMAN, S.; GINES, H.C.; GUANGHUO, W.; NAGARAJAN, R.; SATAWATANANONT, S.; THUCSON, T.; SY TAN, P.; VAN TIEM, L. Internal nutrient efficiencies of irrigated lowland rice in tropical and subtropical Asia. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 63, n. 2, p. 113-138, 1999.

4 ABSORÇÃO E ALOCAÇÃO DE NITROGÊNIO APLICADO EM BAIXAS DOSES VIA FOLIAR EM SOJA

Resumo

A adubação nitrogenada foliar em soja é uma prática que vem sendo adotada no país devido à exigência da cultura pelo nutriente em estádios fenológicos com baixa disponibilidade no solo e reduzida FBN. Nesse sentido, baixas doses de nitrogênio (N) foliar estão sendo usadas sem que se tenha conhecimento da eficiência dessa absorção e o efeito na produção de grãos. O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência de absorção e a alocação na planta do N de adubações foliares com baixas doses de N-ureia no estágio reprodutivo da cultura da soja. O estudo foi realizado em Taquarituba – SP, Brasil, nas safras de 2012/13 e 2013/14. Foram avaliadas em delineamento de blocos casualizados as doses 0, 650, 1300 e 1950 g ha⁻¹ de N aplicadas em R1 e R3. Avaliou-se a produtividade de grãos, a extração de N pelos grãos e na parte aérea (PA), e na planta toda (kg ha⁻¹), o nitrogênio proveniente do fertilizante (Ndff) e eficiência de uso do N (NUE) nos compartimentos da planta: grãos e PA e planta toda, com uso da técnica com ¹⁵N. A aplicação foliar aumentou o conteúdo de N na PA em até 11 vezes a quantidade de N aplicada. Independente do ano, a aplicação em R3 apresentou os maiores valores de Ndff nos grãos que, na média, foi 20% maior do que em R1. Entretanto nota-se que as maiores médias de Ndff e de NUE total foram nas aplicações em R3 ou em R1 quando houve menor precipitação. Apesar da alta NUE, (65%), a aplicação de baixas doses de N foliar na soja não contribuiu para o aumento da produtividade. A maior parte do N do fertilizante tem como destino os grãos principalmente com a aplicação em R3. A NUE pela soja variou entre 45 e 76% pois depende do estágio fenológico da cultura e das condições climáticas durante o desenvolvimento da cultura e não apenas do momento da aplicação. A NUE para aplicação foliar de N foi de 65%.

Palavras-chave: *Glycine max*; Eficiência de uso de N; ¹⁵N; Destino do N; N proveniente do fertilizante; N foliar

Abstract

Foliar nitrogen (N) fertilization of soybean crops is a practice that is being adopted in Brazil because soybean crops require N during the reproductive stages and certain soils have low N availability and reduced biological N fixation (BNF). Thus, low rates of leaf N are being used without scientific evidence for supporting the practice. The aim of this study was to analyze the uptake efficiency and allocation of N provided by foliar applications of low rates of urea-N during the soybean reproductive stage. The study was conducted in Taquarituba, Sao Paulo State (SP), Brazil during the 2012/13 and 2013/14 crop seasons. Rates of 0, 650, 1,300 and 1,950 g N ha⁻¹ applied at the R1 or R3 growth stage were analyzed. Grain yield, N extraction by the grains, shoots (including leaves + stems + pod husks), total plants (grains + shoots), N derived from fertilizer (Ndff), ¹⁵N accumulation in grains or shoots, and fertilizer N-use efficiency by plant (NUE) were measured using ¹⁵N. Foliar application of 1,950 g ha⁻¹ of N increased the N content in the shoots by up to 22 kg ha⁻¹. Regardless of the year, the application during R3 yielded the highest Ndff values in the grains that were, on average, 20% higher than in R1. However, the highest mean values of Ndff and NUE were obtained from the R3 or R1 applications when there was less rainfall. Despite the high NUE (64%), foliar applications of low rates of N on soybean crops did not increase the seed yield. Most of the fertilizer N was allocated to the grains, especially when applied at the R3 growth stage. The NUE of the soybean crop ranged from 51 to 72%, and it was dependent on the phenological stage of the crop and climate conditions during crop growth in addition to the

timing of fertilizer application. Foliar application of low rates of N on soybean crops did not increase seed yield.

Keywords: Glycine max; N-use efficiency; ^{15}N ; Fate of N; N derived from fertilizer; Foliar N

4.1 Introdução

Cultivares modernas de soja e as técnicas de cultivo possibilitam aumento dos patamares produtivos da cultura e, por consequência a demanda por N. Devido a esses fatores, é crescente a hipótese que o fornecimento de N proveniente da fixação biológica de nitrogênio (FBN) e do solo não são suficientes para atender a demanda da soja para elevadas produtividades, havendo a necessidade da adubação nitrogenada complementar (TEWARI et al., 2005; TEWARI et al., 2006; TEWARI et al., 2007; SALVAGIOTTI et al., 2008).

Alguns trabalhos mostram aumento de produtividade com a aplicação de N mineral via solo para a cultura (BREVEDAN et al., 1978; WESLEY et al., 1998; TAYLOR et al., 2005; RAY et al., 2006; MENDES et al., 2008); entretanto a altas concentrações de N no solo podem prejudicar a nodulação (STREETER, 1988; BANTILAN e JOHANSEN, 1995). Dessa forma cada vez mais vem sendo utilizada a aplicação de N foliar para a cultura, com intuito de fornecer N complementar à soja, e não comprometer a nodulação. Com bases nestes argumentos, estão sendo recomendadas aplicações foliares de N sem conhecer a eficiência dessa aplicação na cultura da soja, e sem saber se o manejo é capaz de gerar incrementos de produtividade.

O aumento de produtividade com a aplicação de N foliar foi relatado em trabalhos que utilizaram doses acima de 20 kg ha^{-1} de N, parceladas no estágio reprodutivo. Foram alcançados ganhos na produtividade da ordem de 34% com a aplicação de 40 kg ha^{-1} de N em R4 (AFZA et al., 1987) até 68% com a aplicação de 60 kg ha^{-1} de N parcelado em R1, R2 e R3 (OKO et al., 2003). Oko et al. (2003) verificaram que o aumento da dose e o atraso na época de aplicação (até R3) aumentaram a produtividade da soja. Jyothi et al. (2013) verificaram incremento de 400 kg ha^{-1} na produtividade de soja com a aplicação foliar de 20 kg ha^{-1} de N parcelados no florescimento e no início do enchimento de vagens. De acordo com Ashour e Thaloonth (1983), a massa de sementes por planta dobrou com aplicação de ureia foliar em R6 com 3 aplicações de 10 kg ha^{-1} de N.

Em experimento para investigar a eficiência de altas doses de adubação nitrogenada (entre 21 a 84 kg ha^{-1}) fornecido junto com P, K e S, em aplicação foliar em soja, entre os estádios R5 e R7, Vasilas et al. (1980) verificaram aumento da produtividade em até 44%.

Outro argumento utilizado para a aplicação de N foliar é a manutenção do teor de N na folha, pois se sabe que essa prática contribui para aumento do teor de clorofila (JYOTHI et al., 2013), do acúmulo de rubisco, e, em anos secos no aumento da taxa fotossintética (DELFINE et al., 2005). A fotossíntese bruta acompanha o teor de N foliar, e a aplicação de 6 kg ha⁻¹ de N garantiu teor de 6% de N nas folhas, enquanto a testemunha apresentou 4,6%; portanto, houve aumento da fotossíntese bruta no final do ciclo da soja devido à aplicação de N foliar (BOOTE et al., 1978). Mesmo assim, os autores relataram que não houve aumento de produtividade.

Outros trabalhos mostraram que para os patamares produtivos da época em que foram desenvolvidos os experimentos, não houve aumento de produtividade com aplicação de N foliar. De acordo com Troedson et al. (1989), a aplicação de 10 kg ha⁻¹ de N em R5 não aumentou a produtividade da soja que foi por volta de 2.800 kg ha⁻¹. O parcelamento das aplicações de N junto com P, K, e S com 1,2 kg ha⁻¹ semanalmente do início do enchimento de sementes até a maturação fisiológica, com total de 6,0 kg ha⁻¹ de N, também não aumentou a produtividade, que foi 3.600 kg ha⁻¹ (BOOTE et al., 1978). Portanto, há varias contradições em relação aos benefícios da adubação nitrogenada foliar em soja, e poucos trabalhos foram desenvolvidos com novas cultivares, de alto potencial produtivo, situação em que é possível que a FBN e o solo não atendam a exigência da soja por N.

A adubação nitrogenada foliar reduziu a produtividade da soja de 3.100 para 2.900 kg ha⁻¹ e de 2.100 para 1.800 kg ha⁻¹ em dois experimentos com doses a partir de 28 kg ha⁻¹ (PARKER e BOSWELL, 1980). Estes autores justificaram esta redução por injúrias nas folhas causado pelo uso de fertilizante nitrogenado. Esses resultados evidenciaram que a aplicação de N foliar é uma prática que exige cuidado, pois doses próximas ou acima de 30 kg ha⁻¹ de N podem prejudicar o aparato fotossintético (PARKER e BOSWELL, 1980; POOLE et al., 1983). Por este motivo, aplicações foliares de N devem ser feitas com baixas doses, mesmo que essas representem pequena porcentagem da demanda da planta.

A aplicação foliar de N em soja tem objetivo de complementar a nutrição da planta em relação às exigências pelo nutriente, mas nunca substituir o fornecimento deste via solo e FBN. Desse modo, em períodos de grande exigência por N, na soja, como no florescimento e pré-enchimento de grãos (WATANABE et al., 1986) o fornecimento de N via foliar potencializaria a produção de grãos.

A eficiência do N aplicado em baixas doses via foliar nos estádios reprodutivos da soja é desconhecida, e não se sabe a quantidade absorvida, nem a alocação do N do fertilizante na

planta de soja. O objetivo desse trabalho foi avaliar a eficiência de absorção, e a alocação na planta do N aplicado em baixas doses nas folhas de soja.

4.2 Material e Métodos

Área experimental

O experimento foi conduzido nas safras de 2012/13 e 2013/14 em Taquarituba - SP a 23°34'54" de latitude sul, 49°15'11" de longitude oeste e 646 m de altitude. A área experimental era constituída de pastagem de *Urochloa brizantha* até junho de 2012, quando foi feito o revolvimento e a correção da fertilidade do solo.

Na primeira safra a soja foi semeada em 30 de outubro de 2012, posteriormente foi cultivado triticale na entre safra. No segundo ano experimental a soja foi semeada dia 20 de outubro de 2013. Cada parcela foi constituída de cinco linhas com 10 m espaçadas em 0,45 m. Nas duas safras a cultivar utilizada foi a Nidera 5909 RR, com população final de 226 e 247 mil plantas ha⁻¹, respectivamente, nas safras 2012/2013 e 2013/2014.

A adubação de semeadura da soja foi de 9 kg ha⁻¹ de N; 86 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 65 kg ha⁻¹ de K₂O no sulco de semeadura. O solo é classificado como Nitossolo Vermelho eutrófico, com 53% de argila, 27% de silte e 20% de areia.

Antes de iniciar o experimento, a análise química do solo da área experimental foi realizada na camada 00-0,2 m com os seguintes resultados: pH em 5,5 (CaCl₂); matéria orgânica do solo em 40 g dm⁻³; teores de P (resina como extrator) de 19 mg dm⁻³; K, Ca, Mg e acidez total em pH 7,0 (H+Al) de 7,6, 42, 31 e 34 mmol_c dm⁻³, respectivamente, com saturação de bases em 70%.

Clima

A precipitação e as temperaturas médias da safra 2012/13 e 2013/14 estão indicadas nas Figuras 4.1 a) e b), respectivamente. Foi registrado um acúmulo de chuva de 1.129 mm na safra 2012/2013 e 864 mm na safra 2013/2014, de modo que, na segunda safra houve baixa pluviosidade, principalmente nos meses de novembro, dezembro e fevereiro. Nas Figuras 4.1 a) e b) também estão representadas as datas de semeadura, e das aplicações dos tratamentos foliares. Foi feito o cálculo do balanço hídrico sequencial durante a condução dos experimentos a fim de identificar as fases de ocorrência de deficiência hídrica em cada safra estudada (Figura 4.2).

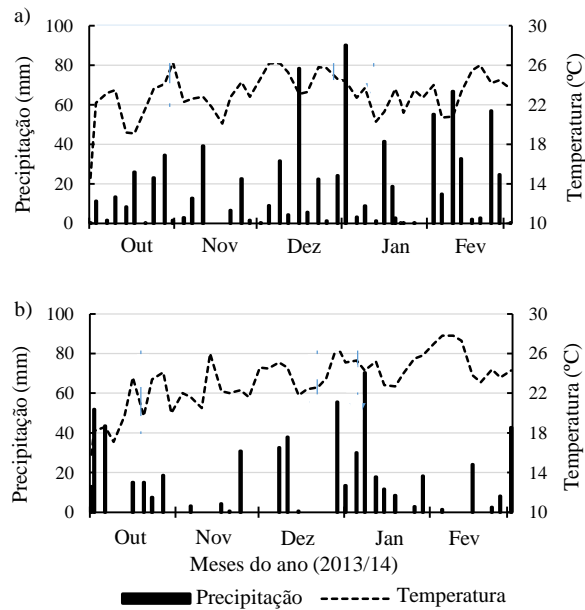


Figura 4.1 - Pluviosidade, temperatura média mensal, nas safras 2012/2013 e 2013/2014

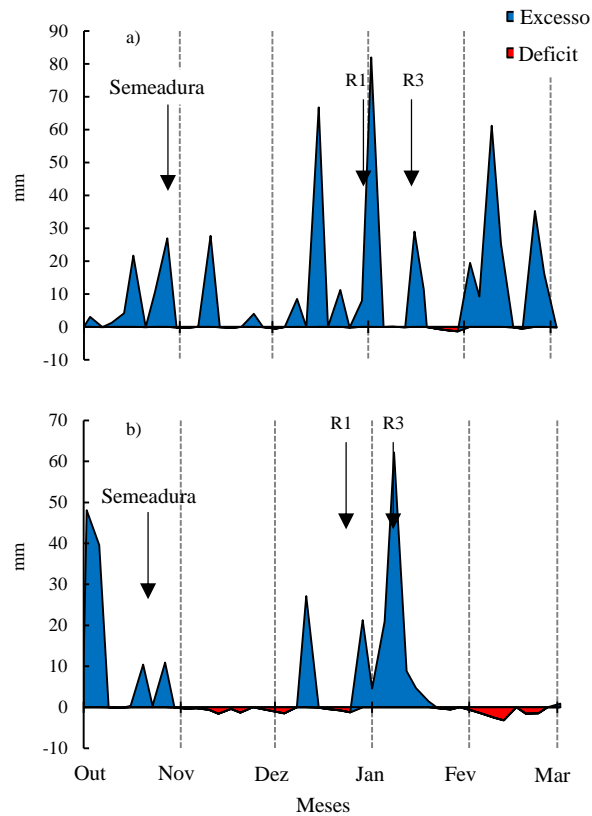


Figura 4.2 - Balanço hídrico climatológico e datas de semeadura e aplicação dos tratamentos em Taquarituba – SP no período de desenvolvimento da cultura da soja; a) safra 2012/13; b) safra 2013/14

Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com oito tratamentos arranjados em um fatorial 4x2 e quatro repetições. Os tratamentos foram quatro doses, 0, 650, 1300 e 1950 g ha⁻¹ de N na forma de ureia, aplicado na folha em dois estádios fenológicos da soja, R1 (início da floração) e R3 (vagens com até 0,5 cm de comprimento) (FEHR et al., 1971). Cada parcela era formada por cinco linhas com 10 metros de comprimento espaçadas por 0,45 m.

Aplicação do fertilizante com ¹⁵N, amostragem e análise

O fertilizante marcado foi aplicado com ureia enriquecida à abundância isotópica de 2,53% de átomos ¹⁵N em cada tratamento. A aplicação da ureia-¹⁵N foi realizada em microparcels localizadas no centro de cada parcela e constituída de 5 linhas de 1 metro de comprimento totalizando em uma área de 2,25 m² dentro do tratamento correspondente. Nas plantas do restante da parcela de cada tratamento aplicou-se ureia com abundância natural em ¹⁵N.

As aplicações foram realizadas com pulverizador costal pressurizado por CO₂ com pressão constante de 2,0 kgf cm⁻², equipado com barra de aplicação com ponta tipo jato plano leque, modelo Teejet XR 110.02, calibrado para volume de calda de 200 L ha⁻¹. Não houve chuva em um período mínimo de 2 horas após as aplicações nas duas épocas e nos dois anos de estudo. Entretanto foi verificado que a disponibilidade de água no solo foi diferente entre as aplicações realizadas, de modo que, o balanço hídrico do solo estava negativo na aplicação realizada em R1 no ano de 2013/2014 (Figura 4.2).

A colheita da soja marcada isotopicamente foi realizada em R7 (maturação fisiológica) para evitar a perda de folhas devido à senescência, o que prejudicaria a recuperação do ¹⁵N nas plantas de soja. No centro da microparcela coletaram-se duas plantas de cada uma das duas linhas centrais. O solo aderido na base do caule foi removido com água desionizada. Para avaliação da concentração de ¹⁵N particionou-se a planta em grãos e parte aérea (PA) que foi constituída de folhas, hastes e cascas de vagens.

O material vegetal coletado nas microparcels foi seco em estufa com circulação de ar a 60 °C por 72 horas, para determinar a matéria seca. Posteriormente, as amostras foram moídas em moinho tipo Wiley, com peneira de malha 2 mm. No material cominuído determinou-se o teor de N-total e da abundância de ¹⁵N (% em átomos) em espectrômetro de massa automatizado que foi acoplado a um analisador de N modelo ANCA-GSL, Sercon Co., UK. As concentrações de N total e a razão dos isótopos ¹⁵N/¹⁴N foram determinados de

acordo com Barrie e Prosser (1996). As análises isotópicas foram realizadas no laboratório de Isótopos Estáveis do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (LIE-CENA). Foi determinado a extração de N dos grãos, da parte aérea (PA), total da planta (kg ha^{-1}), o nitrogênio proveniente do fertilizante (Ndff) nos grãos, Ndff na PA, Ndff total, eficiência de uso do N (NUE) nos grãos, NUE PA, NUE total.

No cálculo de Ndff foi utilizada a equação 1:

$$\text{Ndff} = \left(\frac{{}^{15}\text{Np} - {}^{15}\text{Nn}}{{}^{15}\text{Nf} - {}^{15}\text{Nn}} \right) \times \text{Ne} \quad (1)$$

Em que Ndff é a quantidade de N na PA, grãos ou total da planta proveniente do fertilizante (kg ha^{-1}), ${}^{15}\text{Np}$ é a quantidade de ${}^{15}\text{N}$ na PA, grãos ou total (% de átomos), ${}^{15}\text{Nn}$ é a abundância natural de ${}^{15}\text{N}$ (% de átomos), ${}^{15}\text{Nf}$ é a quantidade de ${}^{15}\text{N}$ no fertilizante (2,53% de átomos) e Ne é a quantidade de N extraído pela PA, grãos ou total.

O acúmulo de ${}^{15}\text{N}$ foi calculado pela Equação 2:

$$\text{Acúmulo de } {}^{15}\text{N} = \frac{\text{Ndff}}{\text{Dose N}} \times 100 \quad (2)$$

Onde acúmulo de ${}^{15}\text{N}$ é a porcentagem de ${}^{15}\text{N}$ aplicado, acumulado nos grãos ou P.A. (%) e Dose N é a dose de ${}^{15}\text{N}$ aplicado nas folhas (kg ha^{-1}).

A NUE foi calculada a partir da equação 3:

$$\text{NUE} = \frac{\text{Ndff}}{\text{Rate N}} \times 100 \quad (3)$$

Em que NUE é a eficiência de uso de N da planta de soja (%) e Rate N é a dose de N aplicada às folhas (kg ha^{-1}).

Colheita

A colheita foi realizada com a soja no estágio R8, exceto das plantas em que foi aplicado ${}^{15}\text{N}$. Foram coletadas plantas em 3 metros das 3 linhas centrais de cada parcela, totalizando aproximadamente 100 plantas. Posteriormente determinou-se a massa de grãos em kg ha^{-1} com umidade corrigida para 130 gramas de água por quilo de semente.

Procedimento estatístico

Os resultados foram submetidos ao teste de normalidade e homogeneidade de variância, e posteriormente à análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade por meio

do programa “Statistical Analysis System 9.2” (SAS INSTITUTE, 2008). Foi realizada a análise conjunta dos dois anos experimentais para as variáveis respostas em que, a divisão dos quadrados médios dos erros da análise de variância de cada ano agrícola apresentasse o quociente menor ou igual a 7, conforme o pressuposto de Banzato e Kronka (2006). Se rejeitada a hipótese de nulidade, foram realizados testes de comparação de médias Fisher (LSD) $p \leq 0,05$ para as épocas e anos, e análises de regressão para doses.

4.3 Resultados

Produtividade e extração de N

A análise de variância conjunta mostrou que não houve interação entre os anos de experimento e as variáveis época e/ou dose na produtividade de grãos, N grãos, N PA e N total (Tabela 4.1). Portanto a resposta dessas variáveis para época de aplicação e dose do fertilizante nitrogenado foi igual nos dois anos de experimento.

Houve diferença entre os anos de 2012/13 e 2013/14 para produtividade de grãos e para o N da PA. Na safra de 2013/14, apesar da ocorrência de um déficit hídrico no início do desenvolvimento da cultura, a produtividade foi maior do que no primeiro ano de experimento. Entretanto, o N da PA foi maior na safra 2012/13 (Tabela 4.1).

O N da PA também diferiu conforme a dose de N, portanto para essa variável foi realizada uma análise de regressão com a média dos anos e das épocas de aplicação (Figura 3). A análise de regressão mostrou que o N da PA aumentou linearmente com a dose de N foliar. Devido à ausência de interação entre ano e dose, pode-se inferir que o comportamento do N da PA à dose de N é semelhante nos dois anos, apesar da diferença de grandeza entre os anos, demonstrada na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Análise de variância conjunta entre os tratamentos e safras para a produtividade, N grãos N PA e N total

Tratamento		Produtividade		N grãos		PA N		N total	
Estádio	Dose g ha ⁻¹	2012/13	2013/14	2012/13	2013/14	2012/13	2013/14	2012/13	2013/14
		kg ha ⁻¹							
R1	0	3.779	4.183	161	178	69	75	230	254
	650	3.983	4.351	180	202	83	72	263	274
	1300	4.128	4.323	161	183	86	72	246	255
	1950	3.670	4.480	197	181	102	79	299	270
	Médias R1		3.890	4.334	175	186	85	75	260
R3	0	3.626	4.240	162	182	69	71	230	253
	650	3.942	4.442	170	181	75	70	245	251
	1300	3.992	4.229	184	187	96	69	280	256
	1950	3.805	4.471	195	207	92	97	287	304
	Médias R3		3.841	4.345	178	189	83	77	261
Médias das Safras		3.865 B	4.340 A	176	188	84 A	76 B	260	265
Safrs (S)		<0,0001 ^{***}		0,3461 ^{ns}		0,0242 [*]		0,7300 ^{ns}	
Estádio (E)		0,0587 ^{ns}		0,9636 ^{ns}		0,9293 ^{ns}		0,9912 ^{ns}	
Pr>F	S*E	0,3017 ^{ns}		0,7865 ^{ns}		0,5490 ^{ns}		0,9136 ^{ns}	
	Dose (D)	0,3329 ^{ns}		0,4889 ^{ns}		0,0008 ^{***}		0,0608 ^{ns}	
	S*D	0,6048 ^{ns}		0,7507 ^{ns}		0,1179 ^{ns}		0,6614 ^{ns}	
	E*D	0,2492 ^{ns}		0,7905 ^{ns}		0,7366 ^{ns}		0,7320 ^{ns}	
	S*E*D	0,1521 ^{ns}		0,7681 ^{ns}		0,200 ^{ns}		0,6717 ^{ns}	
	CV %		11,88		5,34		17,52		15,25

^{ns} não significativo; * significativo a 5% de probabilidade; *** significativo até 0,1% de probabilidade de erro pelo teste F.

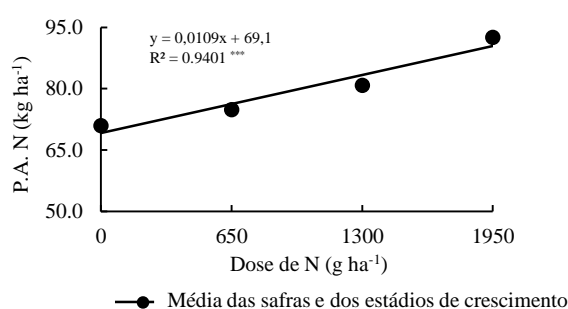


Figura 4.3 – N na P.A. da soja em diferentes, doses de adubação foliar de N e estádios de crescimento da cultura da soja em duas safras. *** significativo a menos do que 0,1% de probabilidade de erro pelo teste F

Quantidade de N na planta proveniente do fertilizante

A porcentagem de átomos de ¹⁵N nos grãos diferiu significativamente de acordo com o estádio de aplicação. Para átomos de ¹⁵N na P.A e total houve uma interação significativa entre o estádio e safra. A porcentagem de átomos de ¹⁵N, nos grãos, PA e total apresentou

uma interação entre dose e safra (Tabela 4.2). Este resultado indicou que o enriquecimento de ^{15}N utilizado na pesquisa foi suficiente. Figura 4.4 (a, b e c) ilustra que, com o aumento da dose, a porcentagem de átomos de ^{15}N , nos grãos, PA e total também aumentou. O Ndff nos grãos diferiu com a época de aplicação do N foliar. A diferença entre as épocas apresentou o mesmo comportamento nas duas safras, pois não houve interação entre ano x época. Nota-se que o Ndff nos grãos foi 19% maior quando a aplicação foi realizada em R3, em relação à aplicação feita em R1 (Tabela 4.2).

Tabela 4.2 - Análise de variância conjunta entre os tratamentos e safras para átomos de ^{15}N , nos grãos, PA e total (%) e Ndff

Tratamento		Grãos		PA		Total	
Estádio	Dose g ha ⁻¹	2012/13	2013/14	2012/13	2013/14	2012/13	2013/14
% de átomos de ^{15}N							
	0	0,3658	0,3659	0,3659	0,3659	0,3658	0,3659
	650	0,3671	0,3694	0,3673	0,3724	0,3672	0,3709
R1	1300	0,3683	0,3719	0,3687	0,3770	0,3685	0,3745
	1950	0,3692	0,3728	0,3718	0,3817	0,3697	0,3759
	Médias R1	0,3688 b		0,3684 Bb	0,3743 Aa	0,3678 Ba	0,3718 Aa
	0	0,3659	0,3658	0,3659	0,3659	0,3659	0,3658
	650	0,3676	0,3698	0,3683	0,3698	0,3679	0,3698
R3	1300	0,3687	0,3724	0,3708	0,3730	0,3698	0,3727
	1950	0,3699	0,3743	0,3724	0,3744	0,3712	0,3743
	Médias R3	0,3693 a		0,3694 Ba	0,3708 Ab	0,3687 Ba	0,3707 Ab
Médias das safras		0,3678 B	0,3703 A	0,3689	0,3725	0,3683	0,3712
NDFD							
	650	0,166	0,307	0,113	0,205	0,280	0,512
R1	1300	0,406	0,506	0,253	0,364	0,659	0,870
	1950	0,706	0,574	0,669	0,575	1,235	1,224
	Médias R1	0,444 b		0,345 Bb	0,381 Aa	0,725 Bb	0,869 Aa
	650	0,297	0,317	0,178	0,123	0,475	0,440
R3	1300	0,495	0,546	0,489	0,220	0,984	0,766
	1950	0,753	0,878	0,646	0,366	1,400	1,244
	Médias R3	0,548 a		0,438 Aa	0,236 Bb	0,953 Aa	0,817 Aa
Médias das Safras		0,471	0,521	0,392	0,309	0,839	0,843
		Grãos		PA		Total	
		^{15}N átomos	Ndff	^{15}N átomos	Ndff	^{15}N átomos	Ndff
Pr>F	Safra (S)	<0,0001 ***	0,0915 ^{ns}	<0,0001 ***	0,2317 ^{ns}	<0,0001 ***	0,6839 ^{ns}
	Estádio (E)	0,0188 *	0,0086 **	0,0048 **	0,9517 ^{ns}	0,8391 ^{ns}	0,0455 *
	S*E	0,9068 ^{ns}	0,4231 ^{ns}	<0,0001 ***	<0,0001 ***	0,0041 **	0,0066 **
	Dose (D)	<0,0001 ***	<0,0001 ***	<0,0001 ***	<0,0001 ***	<0,0001 ***	<0,0001 ***
	S*D	<0,0001 ***	0,0862 ^{ns}	<0,0001 ***	0,0090 **	<0,0001 ***	0,0733 ^{ns}
	E*D	0,2840 ^{ns}	0,6130 ^{ns}	0,0553 ^{ns}	0,3074 ^{ns}	0,9836 ^{ns}	0,9861 ^{ns}
	S*E*D	0,6992 ^{ns}	0,0665 ^{ns}	0,0027 **	0,2891 ^{ns}	0,3466 ^{ns}	0,3400 ^{ns}
CV %		0,2192	12,63	0,3557	12,95	0,4995	9,72

^{ns} não significativo; * significativo a 5% de probabilidade; *** significativo até 0,1% de probabilidade de erro pelo teste F. Letras maiúsculas comparam as médias nas linhas (para cada variável resposta independente). Letras minúsculas comparam as médias na mesma coluna.

O Ndff na PA e planta total apresentaram interação significativa entre ano agrícola e época de aplicação do fertilizante (Tabela 2). O Ndff da PA foi 21% menor na aplicação realizada em R1 em comparação com R3 na safra 2012/2013. Na safra posterior a aplicação

em R1 apresentou média 38% maior do que a de R3. Houve diferença entre os anos de avaliação na aplicação em R1, e a safra 2013/14 apresentou média um pouco superior. Na aplicação em R3 a safra 2012/13 recuperou o dobro do Ndff da PA da segunda safra (2013/14).

Para o Ndff total, nota-se que houve diferença entre as épocas de aplicação apenas na primeira safra. A segunda aplicação, feita em R3, resultou em 24% de aumento no Ndff total em relação a primeira aplicação. Nota-se também, que para o Ndff total houve diferença entre os anos apenas na aplicação em R1, de modo que a maior média foi na safra de 2013/14.

Houve diferença significativa entre as doses de N aplicadas para o Ndff dos grãos e Ndff total. Conforme o aumento da dose houve aumento nestas variáveis, independentemente da época de aplicação do N, e do ano agrícola. Para o Ndff da PA houve interação entre ano agrícola e dose (Tabela 4.2). A interação ocorreu devido ao Ndff da PA, na safra de 2012/13 ser 29% maior do que em 2013/14 para a dose de 1950 g ha⁻¹ de N, e, na menor dose (650 g ha⁻¹ N, Figura 4.4 d, e, f).

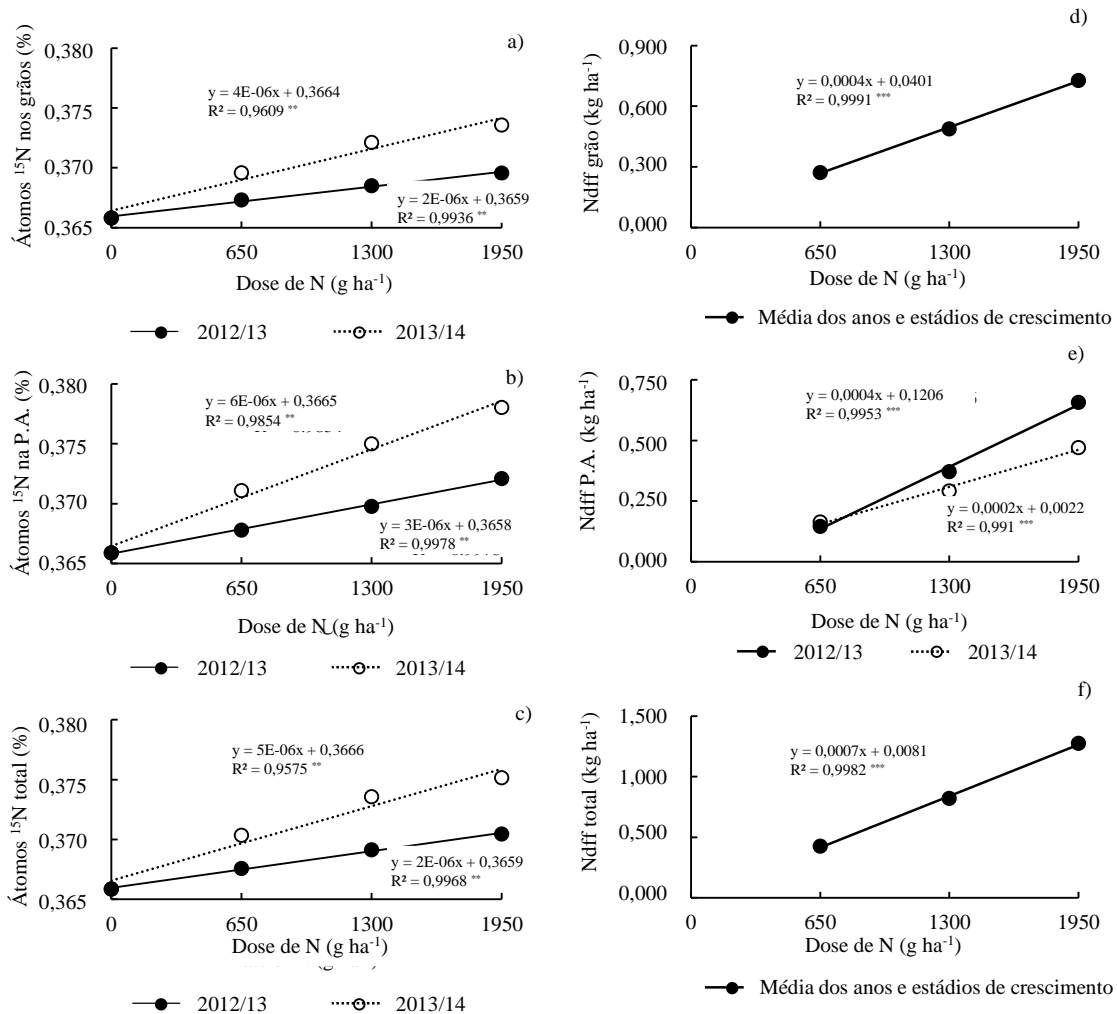


Figura 4.4 - Porcentagem de átomos de ¹⁵N na soja: a) grãos, b) P.A. e c) total. NDFf na soja: d) grãos, e) P.A. e f) total. *** significativo a menos do que 0,1% de probabilidade de erro pelo teste F.

Aproveitamento do fertilizante pela soja

O acúmulo de ¹⁵N nos grãos foi diferente apenas para o estágio de aplicação do N (Tabela 4.3). Independente do ano, a aplicação em R3 apresentou os maiores valores, que, na média, foi cerca de 20% maior do que em R1. O acúmulo de ¹⁵N na PA e total apresentaram interação entre época de aplicação e os anos de experimento.

O maior acúmulo de ¹⁵N na PA na safra de 2012/13 foi na aplicação em R3 (Tabela 4.3). Na safra 2013/14 o resultado foi inverso, com maior acúmulo de ¹⁵N na PA foi em R1. Comparando os dois anos, nota-se que no segundo ano a média foi maior do que a do

primeiro na aplicação em R1. Já em R3 as médias do segundo ano foram menores do que da primeira safra.

Tabela 4.3 - Análise de variância entre a dose e estágio para as safras 2012/13 e 2013/14, para acúmulo de ^{15}N no grão, PA e NUE

Tratamento		^{15}N acum. no grão		^{15}N acum. na PA		NUE	
Estádio	Dose g ha ⁻¹	2012/13	2013/14	2012/13	2013/14	2012/13	2013/14
				%			
	650	24,2	46,3	16,4	30,5	42,0	77,7
R1	1300	30,2	37,9	18,5	27,0	49,7	65,9
	1950	35,2	28,5	33,3	28,5	62,3	61,8
	Médias R1	33,7 b		22,7 Bb	28,7 Aa	51,3 Bb	68,5 Aa
	650	44,7	47,8	26,4	17,9	72,1	66,7
R3	1300	37,1	41,0	36,6	15,9	74,7	57,9
	1950	37,6	44,0	32,2	17,8	70,8	62,8
	Médias R3	42,0 a		31,7 Aa	17,2 Bb	72,5 Aa	62,5 Aa
	Média dos anos	34,8	40,9	27,2	23,0	61,9	65,5
	Safra (S)	0,0745 ^{ns}		0,3507 ^{ns}		0,7163 ^{ns}	
	Estádio (E)	0,0121 [*]		0,8947 ^{ns}		0,0468 [*]	
	S*E	0,4066 ^{ns}		<0,0001 ^{***}		0,0045 ^{**}	
Pr>F	Dose (D)	0,7854 ^{ns}		0,0125 [*]		0,8035 ^{ns}	
	S*D	0,0989 ^{ns}		0,0056 ^{**}		0,0613 ^{ns}	
	E*D	0,5735 ^{ns}		0,3307 ^{ns}		0,7242 ^{ns}	
	S*E*D	0,0722 ^{ns}		0,2019 ^{ns}		0,1048 ^{ns}	
	CV %	28,80		7,51		22,82	

^{ns} não significativo; ^{*} significativo a 5% de probabilidade; ^{***} significativo até 0,1% de probabilidade de erro pelo teste F. Letras maiúsculas comparam as médias nas linhas (para cada variável resposta independente). Letras minúsculas comparam as médias na mesma coluna.

Em relação à NUE, nota-se que a aplicação em R1 no ano de 2012/13 foi menor do que a aplicação em R3 no mesmo ano, e, menor que a aplicação em R1 no ano de 2013/14 (Tabela 4.3).

Houve interação significativa entre dose e ano no acúmulo de N na P.A. Observando a Figura 4.5, nota-se que o acúmulo de N na P.A foi crescente na safra 2012/13 conforme o aumento da dose. Entretanto na safra 2013/14 foi constante independente da dose.

O acúmulo de ^{15}N nos grãos e a NUE, também é demonstrada na Figura 4.5, entretanto não houve mudança nessas variáveis com as doses de N utilizadas.

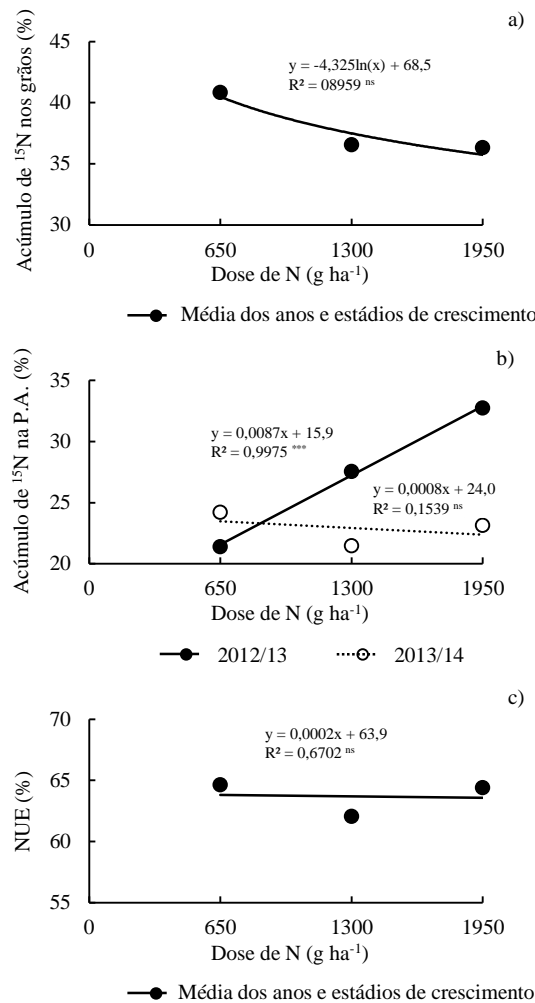


Figura 4.5 - a) ^{15}N acúmulo no grão, b) ^{15}N acúmulo na PA e c) NUE. ^{ns} não significativo; ^{***}significativo a 0,1% de probabilidade de erro pelo teste F

4.4 Discussão

Produtividade e extração de N

As doses ou épocas de aplicação de N foliar não afetaram a produtividade, o N nos grãos, e o N total na planta de soja nos dois anos de estudo. A produtividade foi diferente entre as duas safras devido à sequência de cultivo e às diferenças climáticas que ocorrem em 2012/2013 e 2013/2014. Importante ressaltar que houve menor precipitação apenas no estágio vegetativo da soja na safra 2013/14, em relação à safra 2012/13. Isso não prejudicou a produtividade da soja, porque a precipitação foi adequada de R3 a R5 (Figura 4.1), que é o período de enchimento de grãos, o que corresponde a 65% da evapotranspiração da cultura (KARAM et al., 2005).

Notou-se que na safra de 2012/13, com menor produtividade, a quantidade de N na PA foi maior. Nessa safra ocorreu elevada pluviosidade principalmente no período de desenvolvimento vegetativo da cultura, que proporcionou maior desenvolvimento do dossel das plantas. Provavelmente esse fato contribuiu para o N da PA ser maior no segundo ano de estudo. A maior pluviosidade na safra 2012/13 também explica o maior conteúdo de N na PA no primeiro ano de estudo, uma vez que a mineralização e posterior absorção de N do solo foram favorecidas pela maior disponibilidade de água no solo (FUJITA et al., 2013).

Apesar da dose de N interferir no N da PA da soja, a quantidade de N aplicado via foliar foi até 11 vezes menor que o aumento da quantidade de N nessa fração da planta (Figura 4.3). A diferença entre o controle e a média dos tratamentos de 1950 g ha⁻¹ de N é de 21,5 kg de N ha⁻¹. Isso sugere que a aplicação foliar de N causou um efeito indireto na quantidade de N na PA. A melhor nutrição da planta pode ter contribuído para o seu desenvolvimento como um todo, melhorando a absorção de N pelas raízes e a assimilação do N. Essa hipótese corrobora os resultados de Vasilas et al. (1980) que com a aplicação de 57 kg ha⁻¹ de N na soja verificaram uma absorção total de 95 kg ha⁻¹ a mais de N do que na testemunha. De acordo com Sen e Chalk (1996) a aplicação foliar de N contribui para crescimento radicular e aumenta o volume de solo explorado, bem como a absorção de N do solo.

Quantidade de N na planta proveniente do fertilizante

Em relação ao Ndff nos grãos, a adubação em R3 resultou em 19% mais fertilizante alocado nos grãos (Table 4.3). Isso ocorreu devido a demanda por N para o crescimento e desenvolvimento de vagens que ocorre em R3, dessa forma o N absorvido foi translocado diretamente para os drenos. Em colza (*Brassica napus*), Noquet et al. (2004) realizaram um estudo aplicando fertilizante-¹⁵N em vários estádios da cultura e verificaram o destino do N-fertilizante sempre 7 dias após a aplicação. Na plena florada 40% do N absorvido pelas plantas estava nas hastes, 28% nas folhas 24% nas flores, 6% nas raízes e 2% nas vagens (que estavam no início do seu desenvolvimento). Na análise realizada com aplicação no enchimento de vagens, 70% no N aplicado encontrava-se nas vagens.

Embora as aplicações de N foliar feitas em R3 tenham proporcionado maior Ndff nos grãos, as quantidades fornecidas por esta prática são muito pequenas, e por isso, insuficientes para promover incrementos de produtividade. Na média das safras o Ndff nos grãos, foi em média, 0,496 kg ha⁻¹, o que representou apenas 0,27% do total de N acumulado nos grãos (Tabelas 4.3 e 4.2).

O maior Ndff da PA e Ndff total em R1 na safra 2013/14 em comparação com a mesma época de aplicação em 2012/13 foi devido, provavelmente, à menor pluviosidade no período vegetativo da cultura no segundo ano, conforme destacado nas Figuras 1 e 2. Nessa segunda safra, quando a cultura estava no estágio R1 a absorção do N da solução do solo foi menor devido à seca. Sabe-se que mais de 90% do N do solo chega as raízes por fluxo de massa, portanto depende de água (MENGEL et al., 2001; MARSCHNER, 2011). Sob condições de estresse hídrico esse movimento é reduzido, o que prejudica a absorção de N pelas plantas (MBAGWE; OSUIGWE, 1985; SAMARAH et al., 2004; AHMAD et al., 2014). Xia (1997) relatou que há diminuição significativa na absorção de N sob estresse hídrico em “faba bean”. Com a menor entrada de N na planta via solução do solo, em 2013/14 provavelmente houve uma maior absorção do nutriente na folha. Na aplicação em R3, quando a precipitação manteve-se normal nas duas safras, o Ndff total não diferiu entre os anos.

O Ndff na PA com aplicação feita em R3 na safra 2012/13, foi de 0,438 kg ha⁻¹, valor 21% maior do que a aplicação feita em R1 nessa mesma safra. Para a aplicação em R1 na safra 2013/2014 em condição de falta de água, o Ndff na PA foi de 0,381 kg ha⁻¹, valor 38% maior que a aplicação em R3, que ocorreu em situação de excedente hídrico. Entretanto, apesar das diferenças de recuperação do N fertilizante entre os tratamentos, trata-se de uma quantidade muito pequena do N total da planta, por isso não refletiu em incrementos na produtividade. A maior recuperação do N foliar pela PA foi com aplicação em R3 na safra 2012/13, e representou apenas 0,53% no total de N acumulado na PA.

Similar ao Ndff nos grãos e PA, apesar das diferenças para o Ndff total, os níveis de N nas folhas foram baixos em comparação com o N acumulado pelas plantas de soja. O maior valor de Ndff total foi de 0,953 kg ha⁻¹ para a aplicação em R3 na safra 2012/13, e representou apenas 0,37% do acúmulo de N total.

Acúmulo de ¹⁵N por tecidos e eficiência do uso de N

O ¹⁵N acumulado em grãos e PA e os resultados de NUE foram semelhantes aos resultados de Ndff para estágio de aplicação e safra. Uma interação ocorreu entre dose e safra para o ¹⁵N acumulado na PA. Durante o segundo ano experimental, o acúmulo de ¹⁵N na PA foi constante (bem como o acúmulo de ¹⁵N nos grãos e os níveis de NUE), independentemente da dose, com uma percentagem média de 22%. Diferentemente da safra 2012/13, em que o acúmulo de ¹⁵N na PA aumentou com a dose. O acúmulo de ¹⁵N na PA, sem aumentar a produtividade, pode significar consumo de luxo.

A NUE não diferiu entre as doses aplicadas, e não houve interação entre a dose e estágio de aplicação e/ou dose e safra (Figura 4.5 c). Portanto, a NUE para doses baixas de N

foi constante (média de 63,7%). Na literatura, os relatos mostram geralmente uma redução na NUE com o aumento da dose de N (ZHANG et al 2012, e HARTL e ERHART 2005; STEVENS et al., 2005). Esta diferença é provavelmente devido à baixa dose de N aplicada na presente pesquisa.

O estágio de aplicação ou safra afetou a NUE da mesma forma que Ndff. A menor NUE ocorreu no estágio de aplicação R1 em 2012/13 e teve uma média de 51,3%. Para as aplicações em outros estágios (R3 em 2012/13, R1 e R3 em 2013/14) a NUE foi semelhante, com um valor médio de 69%.

O valor NUE de 64% para aplicação foliar de N, observada neste estudo, mostra que a aplicação é mais eficiente do que quando N é aplicado através do solo, que varia de 12,3 a 30,3% em feijoeiro (RENNIE; KEMP, 1984), 13 a 62% em trigo (JU et al., 2007; LIANG et al., 2013), de 40 a 60% em cevada (THOMSEN; CHRISTENSEN, 2007) e de 9 a 54% no milho (LIANG; MacKENZIE, 1994; TRAN; GIROUX, 1998; ZHOU et al., 2000; STEVENS et al., 2005; TOLESSA et al., 2007; RIMSKI-KORSAKOV et al., 2009; DING et al., 2011; GABRIEL; QUEMADA, 2011). Além disso, a quantidade de N fornecido por aplicação foliar, mesmo na maior dose utilizada neste estudo, foi baixa e equivalente a 0,44% do total de N acumulado pelas plantas de soja. Assim, a aplicação foliar N foi ineficaz, porque não forneceu N suficiente para aumentar a produtividade.

A Figura 4.6 mostra o balanço de ^{15}N para as diferentes aplicações foliares nas lavouras de soja. A aplicação em R1 na safra 2012/13 resultou em uma recuperação mais baixa do N aplicado. Em média das doses, 22% do N aplicado foi recuperado na PA, 29% nos grãos, em um total de 51% na planta de soja, e 49% de N não recuperado (NRN). Para os outros tratamentos (aplicações em R3 em 2012/13 e 2013/14 e R1 em 2013/14), 25% do N aplicado nas folhas foi encontrado na PA e 40% nos grãos, para um total de 65% nas plantas de soja e 35% NRN.

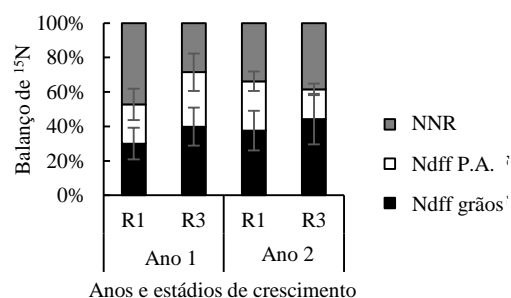


Figura 4.6 - Balanço da adubação nitrogenada foliar na cultura da soja em diferentes estádios de desenvolvimento em duas safras de cultivo (médias das doses)

4.5 Conclusão

Os resultados deste estudo demonstram que a aplicação foliar de baixas doses de N não é eficiente para aumentar a produtividade da cultura da soja. O fornecimento de N via foliar em baixas doses resultaram em uma NUE de 64%, com melhor contribuição do N fertilizante no teor de N dos grãos quando fornecido em R3, quando representou Ndff nos grãos 19% maior em relação ao fornecimento em R1.

A NUE depende do estágio fenológico da cultura no momento da aplicação e das condições climáticas durante o desenvolvimento da cultura e não apenas do momento da aplicação.

Apesar do fornecimento de N via foliar ter como maior destino os grãos, as baixas doses são incapazes de incrementar a produtividade devido ao N total absorvido. Efeitos secundários como maior absorção de N total e melhor nutrição mineral da cultura de soja pode ocorrer, entretanto, tais efeitos não refletiram em maior produtividade. Incentivar o fornecimento de N mineral via aplicação foliar em baixas doses não é uma alternativa para suplementar um possível déficit de N pela soja durante o período reprodutivo.

Referências

AFZA, R.; HARDARSON, G.; ZAPATA, F.; DANSO, S.K.A. Effects of delayed soil and foliar N fertilization on yield and N_2 fixation of soybean. **Plant Soil**, The Hague, v. 97, n. 3, p. 361–368, 1987.

AHMAD, R.; WARAICH, E.A.; ASHRAF, M.Y.; AHMAD, S.; AZIZ, T. Does nitrogen fertilization enhance drought tolerance in sunflower? A review. **Journal of Plant Nutrition**, Athens, v. 37, n. 6, p. 942-963, 2014.

ASHOUR, N.I.; THALLOOTH, A.T. Effect of soil and foliar application of nitrogen during pod development on the yield of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) plants. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 6, p. 261-266, 1983.

BANTILAN, M.C.S.; JOHANSEN, C. Research evaluation and impact analysis of biological nitrogen fixation. In: _____. **Management of biological nitrogen fixation for the development of more productive and sustainable agricultural systems**. Amsterdam? Springer, 1995. p. 279-286.

BANZATO, D.A.; KRONKA, S.N. **Experimentação agrícola**, 4. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2006. 237p.

BOOTE, K.J.; GALLAHER, R.N.; ROBERTSON, W.K.; HINSON, K.; HAMMOND, L.C. Effect of foliar fertilization on photosynthesis, leaf nutrition, and yield of soybeans. **Agronomy Journal**, Madison, v. 70, n. 5, p. 787-791, 1978.

BREVEDAN, R.E.; EGLI, D.B.; LEGGETT, J.E. Influence of N nutrition on flower and pod abortion and yield of soybeans. **Agronomy Journal**, Madison, v. 70, n. 1, p.81-84, 1978.

DELFINE, S.; TOGNETTI, R.; DESIDERIO, E.; ALVINO, A. Effect of foliar application of N and humic acids on growth and yield of durum wheat. **Agronomy for Sustainable Development**, Dijon, v. 25, n. 2, p. 183-191, 2005.

DING, H.; ZHANG, Y.; QIN, S.; LI, W.; LI, S. Effects of ¹⁵nitrogen-labeled gel-based controlled-release fertilizer on dry-matter accumulation and the nutrient-uptake efficiency of corn. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Athens, v. 42, n. 13, p. 1594-1605, 2011.

FEHR, W.R.; CAVINESS, C.E.; BURMOOD, D.T.; PENNINGTON, J.S. Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. **Crop Science**, Madison, v. 11, n. 6, p. 929-931, 1971.

FUJITA, Y.; VAN BODEGOM, P.M.; OLDE-VENTERINK, H.; RUNHAAR, H.; WITTE, J.P.M. Towards a proper integration of hydrology in predicting soil nitrogen mineralization rates along natural moisture gradients. **Soil Biology and Biochemistry**, Brisbane, v. 58, p. 302-312, 2013.

GABRIEL, J.L.; QUEMADA, M. Replacing bare fallow with cover crops in a maize cropping system: yield, N uptake and fertilizer fate. **European Journal of Agronomy**, Montpellier, v. 34, n. 3, p. 133-143, 2011.

HARTL, W.; ERHART, E. Crop nitrogen recovery and soil nitrogen dynamics in a 10-year field experiment with biowaste compost. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Dresden, v. 168, n. 6, p. 781-788, 2005.

JU, X.T.; LIU, X.J.; PAN, J.R.; ZHANG, F.S. Fate of 15 N-labeled urea under a winter wheat-summer maize rotation on the North China Plain. **Pedosphere**, Beijing, v. 17, n. 1, p. 52-61, 2007.

JYOTHI, C.N.; RAVICHANDRA, K.; BABU, K.S. Effect of foliar supplementation of nitrogen and zinc on soybean (*Glycine max. L.*) yield, quality and nutrient uptake. **Indian Journal of Dryland Agricultural Research and Development**, New Delhi, v. 28, n. 2, p. 46-48, 2013.

KARAM, F.; MASAAD, R.; SFEIR, T.; MOUNZER, O.; ROUPHAEL, Y. Evapotranspiration and seed yield of field grown soybean under deficit irrigation conditions. **Agricultural Water Management**, Auckland, v. 75, n. 3, p. 226-244, 2005.

LIANG, B.; ZHAO, W.; YANG, X.; ZHOU, J. Fate of nitrogen-15 as influenced by soil and nutrient management history in a 19-year wheat–maize experiment. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 144, p. 126-134, 2013.

LIANG, B. C.; MACKENZIE, A. F. Corn yield, nitrogen uptake and nitrogen use efficiency as influenced by nitrogen fertilization. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 74, n. 2, p. 235-240, 1994.

MARSCHNER, H. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. Adelaide: Academic Press, 2011. 672 p.

MBAGWU, J.S C.; OSUIGWE, J.O. Effects of varying levels and frequencies of irrigation on growth, yield, nutrient uptake and water use efficiency of maize and cowpeas on a sandy loam ultisol. **Plant and Soil**, The Hague, v. 84, n. 2, p. 181-192, 1985.

MENDES, I.C.; REIS JUNIOR, F.B.; HUNGRIA, M.; SOUSA, D.M.G.; CAMPO, R.J. Adubação nitrogenada suplementar tardia em soja cultivada em Latossolos do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 8, p. 1053-1060, 2008.

MENGEL, K.; KOSEGARTEN, H.; KIRKBY, E.A.; APPEL, T. **Principles of plant nutrition**, Amsterdam: Springer Science & Business Media, 2001. 1301p.

NOQUET, C.; AVICE, J.C.; ROSSATO, L.; BEAUCLAIR, P.; HENRY, M.P.; OURRY, A. Effects of altered source–sink relationships on N allocation and vegetative storage protein accumulation in *Brassica napus* L. **Plant Science**, Davis, v. 166, n. 4, p. 1007–1018, 2004.

OKO, B.F.D.; ENEJI, A.E.; BINANG, W.; IRSHAD, M.; YAMAMOTO, S.; HONNA, T.; ENDO, T. Effect of foliar application of urea on reproductive abscission and grain yield of soybean. **Journal of Plant Nutrition**, Athens, v. 26, n. 6, p. 1223-1234, 2003.

PARKER, M.B.; BOSWELL, F.C. Foliage injury, nutrient intake, and yield of soybeans as influenced by foliar fertilization. **Agronomy Journal**, Madison, v. 72, n. 1, p. 110-113, 1980.

POOLE, W.D.; RANDALL, G.W.; HAM, G.E. Foliar fertilization of soybeans. I. Effect of fertilizer sources, rates, and frequency of application. **Agronomy Journal**, Madison, v. 75, n. 2, p. 195-200, 1983.

RAY, J.D.; HEATHERLY, L.G.; FRITSCHI, F.B. Influence of large amounts of nitrogen applied at planting on non-irrigated and irrigated soybean. **Crop Science**, Madison, v. 46, n. 2, p. 52-60, 2006.

RENNIE, R.J.; KEMP, G.A. ¹⁵N-determined time course for N₂ fixation in two cultivars of field bean. **Agronomy Journal**, Madison, v. 76, n. 1, p. 146-154, 1984.

RIMSKI-KORSAKOV, H.; RUBIO, G.; LAVADO, R.S. Effect of water stress in maize crop production and nitrogen fertilizer fate. **Journal of Plant Nutrition**, Athens, v. 32, n. 4, p. 565-578, 2009.

SALVAGIOTTI, F.; CASSMAN, K.G.; SPECHT, J.E.; WALTERS, D.T.; WEISS, A.; DOBERMANN, A. Nitrogen uptake, fixation and response to fertilizer N in soybeans: a review. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 108, n. 1, p. 1-3, 2008.

SAMARAH, N.; MULLEN, R.; CIANZIO, S. Size distribution and mineral nutrients of soybean seeds in response to drought stress. **Journal of Plant Nutrition**, Athens, v. 27, n. 5, p. 815-835, 2004.

SAS INSTITUTE. **The SAS system for windows**: v. 9.2. Cary, 2009.

SEN, S.; CHALK, P. M. Stimulation of root growth and soil nitrogen uptake by foliar application of urea to wheat and sunflower. **The Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 126, n. 02, p. 127-135, 1996.

STEVENS, W.B.; HOEFT, R.G.; MULVANEY, R.L. Fate of nitrogen-15 in a long-term nitrogen rate study. **Agronomy Journal**, Madison, v. 97, n. 4, p. 1046-1053, 2005.

STREETER, J. Inhibition of legume nodule formation and N₂ fixation by nitrate. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Davis, v. 7, n. 1, p. 1-23, 1988.

TAYLOR, R.S.; WEAVER, D.B.; WOOD, C.W.; VAN SANTEN, E. Nitrogen application increases yield and early dry matter accumulation in late-planted soybean. **Crop Science**, Madison, v. 45, n. 3, p. 854-858, 2005.

TEWARI, K.; SATO, T.; ABIKO, M.; OHTAKE N, SUEYOSHI K, TAKAHASHI Y, NAGUMO Y, TSUCHIDA T.; OHYAMA T. Analysis of the nitrogen nutrition of soybean plants with deep placement of coated urea and lime nitrogen. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 53, n. 6, p. 772-781, 2007.

TEWARI, K.; ONDA, M.; ITO, S.; YAMAZAKI, A.; FUJIKAKE, H.; OHTAKE, N.; SUEYOSHI, K.; TAKAHASHI, Y.; OHYAMA, T. ¹⁵N analysis of promotive effect of deep placement of slow release N fertilizers on growth and seed yield of soybean. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 51, n. 6, p. 501-512, 2005.

TEWARI, K.; ONDA, M.; ITO, S.; YAMAZAKI, A.; FUJIKAKE, H.; OHTAKE, N.; SUEYOSHI, K.; TAKAHASHI, Y.; NAGUMO, Y.; TSUCHIDA, T.; OHYAMA, T. Comparison of the depth of placement of lime nitrogen on growth, N₂ fixation activity, seed yield and quality of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) plants. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 52, n. 4, p. 453-463, 2006.

THOMSEN, I.K.; CHRISTENSEN, B.T. Fertilizer 15 N recovery in cereal crops and soil under shallow tillage. **Soil and Tillage Research**, Florence, v. 97, n. 1, p. 117-121, 2007.

THORHNWAITE, C.; MATTER, J. **The water balance, publication in climatology**. Centerton: Drexel Institute of Technology, 1955. 104 p. (Publications in Climatology).

TOLESSA, D.; DU PREEZ, C.C.; CERONIO, GM. Fate of nitrogen applied to maize on conventional and minimum tilled Nitisols in Western Ethiopia. **South African Journal of Plant and Soil**, Bloemfontein, v. 24, n. 2, p. 77-83, 2007.

TRAN, T.S.; GIROUX, M. Fate of 15N-labelled fertilizer applied to corn grown on different soil types. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 78, n. 4, p. 597-605, 1998.

TROEDSON, R.J.; LAWN, R.J.; BYTH, D.E.; WILSON, G.L. Response of field-grown soybean to saturated soil culture 1. Patterns of biomass and nitrogen accumulation. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 21, n. 3, p. 171-187, 1989.

VASILAS, B.L.; LEGG, J.O.; WOLF, D.C. Foliar fertilization of soybeans: absorption and translocation of 15N-labeled urea. **Agronomy Journal**, Madison, v. 72, n. 2, p. 271-275, 1980.

WATANABE, I.; TABUCHI, K.; NAKANO, H. Response of soybean to supplemented nitrogen after flowering. In: SHANMUGASUNDARAM, S.; SULZBERGER, E.W.; McLEAN, B.T. (Ed.). **Soybean in tropical and subtropical cropping system**, Taipei: Avrdc, 1986. p. 301-308.

WESLEY, T.L.; LAMOND, R.E.; MARTIN, V.L.; DUNCAN, S.R. Effects of late-season nitrogen fertilizer on irrigated soybean yield and composition. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 11, n. 3, p. 331-336, 1998.

XIA, M.Z. Effects of soil drought during the generative development phase on seed yield and nutrient uptake of faba bean (*Vicia faba*). **Australian Journal of Agricultural Research**, Sydney, v. 48, n. 4, p. 447-451, 1997.

ZHANG, Q.; YANG, Z.; ZHANG, H.; YI, J. Recovery efficiency and loss of 15 N-labelled urea in a rice-soil system in the upper reaches of the Yellow River basin. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Zurich, v. 158, p. 118-126, 2012.

ZHOU, X.; MADRAMOOTOO, C.A.; MACKENZIE, A.F.; KALULI, J.W.; SMITH, D.L. Corn yield and fertilizer N recovery in water-table-controlled corn-rye-grass systems. **European Journal of Agronomy**, Montpellier, v. 12, n. 2, p. 83-92, 2000.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A temática sobre a adubação nitrogenada em soja, é um assunto muito discutido atualmente, pela hipótese de que o nitrogênio (N) fornecido pelo solo e pela fixação biológica, não são suficientes para a cultura. Essa hipótese, ganha força em situações em que há potencial para se atingir produtividade alta, e em ambientes em que o fornecimento de N pelo solo é baixo. Portanto, seria necessária a adubação nitrogenada para complementar a demanda da cultura por esse nutriente? Outra questão: Qual é a eficiência do uso do fertilizante nitrogenado na cultura? Essas duas dúvidas são comuns para a adubação nitrogenada via solo e via folha.

Experimentos realizados durante duas safras 2012/13 e 2013/14 em ambiente tropical (Cerrado, Estado do Mato Grosso) e subtropical (sul do Estado de São Paulo), mostraram que, cerca de 50% do N do adubo (fonte ureia), aplicado com incorporação ao solo (quando não há perdas), foi absorvido pelas plantas de soja. Entretanto não houve diferença na produtividade entre as doses de N aplicadas (20, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N) e a soja cultivada sem N.

Entre as épocas de aplicação do adubo, foi observado que a aplicação em R3 proporcionou maior produtividade do que em VE, mas isso ocorreu apenas no Cerrado e apenas na safra 2013/14, onde a quantidade de N disponível para a cultura é baixa. Nos demais experimentos, não foram observadas diferenças entre as épocas de aplicação do fertilizante. Portanto, essa resposta é obtida em determinadas condições ambientais, pois só ocorreu durante uma safra. O fornecimento de N não é garantia de aumento de produção, e a resposta é incerta.

Com a adubação, houve redução da fixação biológica, o que mostra que os nódulos foram prejudicados. Quando maior a dose menos fixação houve, de modo que, com dose alta de N, cerca de 15 a 20% da fixação biológica é reduzida. Isso ocorreu nas duas safras e nos dois ambientes.

As baixas doses de N (até 2 kg ha⁻¹) aplicadas nas folhas da soja nos estádios reprodutivos, não proporcionaram mudanças na produtividade, apesar da eficiência de uso do N ser bastante alta com essa prática, com valores de até 76%.

Esses resultados mostram que a adubação nitrogenada, parece, na maioria das vezes, não aumentar a produtividade da soja, e que, há redução da FBN com as doses de N, especialmente nas doses maiores do que 20 kg ha⁻¹. Portanto, a recomendação de não adubar a soja com N deve ser respeitada, mesmo em ambientes teoricamente propícios a responder à essa adubação. Entretanto, visto que em apenas um local e uma safra de estudo ocorreu

aumento da produtividade com a adubação, pode-se sim, haver a necessidade da soja por N mineral complementar. Em qual (is) condição (ões) ambiental (is) específica (s) é necessária essa complementação são dúvidas que o presente trabalho levanta, e que trabalhos futuros poderão responder.