



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE AGRONOMIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

**VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA E PRODUTIVIDADE DO
FEIJOEIRO IRRIGADO ADUBADO COM DIFERENTES FONTES
DE NITROGÊNIO**

TATIELY GOMES BERNARDES

Orientador:
Dr. Pedro Marques da Silveira

Dezembro - 2011

TATIELY GOMES BERNARDES

**VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA E PRODUTIVIDADE DO
FEIJOEIRO IRRIGADO ADUBADO COM DIFERENTES FONTES
DE NITROGÊNIO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Goiás, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Agronomia, área de concentração: Produção Vegetal.

Orientador:

Dr. Pedro Marques da Silveira

Goiânia, GO - Brasil
2011

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(GPT/BC/UFG)

Bernardes, Tatiely Gomes.
B518v Volatilização de amônia e produtividade do feijoeiro
irrigado adubado com diferentes fontes de nitrogênio
[manuscrito] / Tatiely Gomes Bernardes. - 2011.
144 f. : figs, tabs.

Orientador: Dr. Pedro Marques da Silveira.
Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Goiás,
Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, 2011.
Bibliografia.

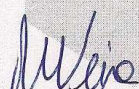
1. Feijão irrigado – Adubos e Fertilizantes. 2. Feijoeiro
– Irrigação. I. Título.

CDU:635.652:631.84

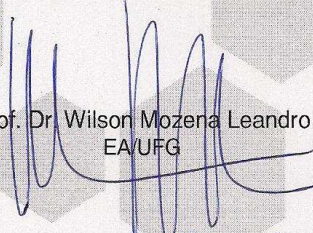
TATIELY GOMES BERNARDES

TÍTULO: "Volatilização de amônia e produtividade do feijoeiro irrigado adubado com diferentes fontes de nitrogênio".

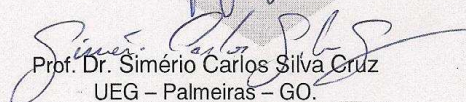
Tese DEFENDIDA em 16 de dezembro de 2011, e APROVADA pela Banca Examinadora constituída pelos membros:



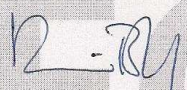
Dr. Pedro Marques da Silveira
Presidente – Embrapa/CNPAP



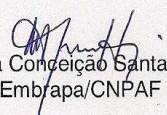
Prof. Dr. Wilson Mozer da Leandro
EA/UFG



Prof. Dr. Simério Carlos Silva Cruz
UEG – Palmeiras – GO.



Drª. Beáta Eموke Madaqri
Embrapa/CNPAP



Drª. Maria da Conceição Santana Carvalho
Embrapa/CNPAP

Goiânia - Goiás
Brasil

*As minhas amadas filhas,
Ana Paula e Ana Luiza,
motivação maior na minha vida
pessoal e profissional.*

*A Marcos Antônio Machado Mesquita,
pelo amor, carinho, compreensão e incentivo às
minhas conquistas.*

Ofereço e Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus por minha existência e por todas as bênçãos recebidas durante essa jornada.

Aos meus pais Valternísio Gomes Neto e Germina Gomes Bernardes, aos meus irmãos Lorena e Anderson, e a minha avó Maria de Oliveira Gomes pela compreensão e incentivo.

Ao meu sogro Antônio Mesquita por ter me apoiado e ajudado a cuidar das minhas filhas, como também a minha sogra Maria das Graças e aos meus cunhados Tiago e Gláucia pela colaboração nos momentos difíceis.

Ao meu orientador Dr. Pedro Marques da Silveira (Pedrão) pela amizade, apoio, incentivo, paciência e sugestões precisas para elaboração deste trabalho.

As pesquisadoras Márcia Taís, Dra. Beata, Dra. Maria da Conceição, Dra. Lanna Cristina, e demais pesquisadores da Embrapa Arroz e Feijão, pelas contribuições e sugestões durante este trabalho.

Ao Afonso, Ailton, João Ananias, Silvio, Adilson, Tatiana, Adriano, Diego, Roberto, Wesley, Ana Lúcia, Faustina, Celina, Lúcia, e demais funcionários da Embrapa Arroz e Feijão, pela colaboração, amizade e contribuição durante os trabalhos realizados nesta instituição.

Aos estagiários da Embrapa Arroz e Feijão, Fernanda, Ana Paula, Tasso, Ecion, Gláucia, Giuliu, Wesley, Ygor, Beatriz, Jéssica, Laura, e outros que me ajudaram e sem eles seria mais difícil o término deste trabalho.

Aos amigos e aos colegas de Pós-Graduação, Renata, Helenice, Susete, Rosana, Maria da Glória, Kamilla, Cíntia, Wellinton Mota, Melissa, e em especial Adriana Rodolfo, pela amizade, ajuda e incentivo.

A Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos da UFG e a Embrapa Arroz e Feijão, pela oportunidade, apoio e condições oferecidas para realização deste trabalho.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo.

Aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a conclusão do meu estudo,

Muito Obrigada.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	8
LISTA DE FIGURAS	11
RESUMO GERAL	13
GENERAL ABSTRACT	14
1 INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 A CULTURA DO FEIJOEIRO	17
2.2 NITROGÊNIO	19
2.2.1 Fertilizantes nitrogenados	21
2.2.2 Perdas de N por volatilização	23
2.2.3 Importância e aspectos da adubação nitrogenada no feijoeiro	26
2.3 REFERÊNCIAS	28
3 VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA DE FONTES E DOSES DE NITROGÊNIO EM COBERTURA NO FEIJOEIRO CULTIVADO NO INVERNO	34
RESUMO	34
ABSTRACT	34
3.1 INTRODUÇÃO	35
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	37
3.2.1 Caracterização da área	37
3.2.2 Implantação e condução do experimento	38
3.2.3 Volatilização de amônia	40
3.2.4 Atividade de urease e pH do solo	42
3.2.5 Índice de área foliar e massa de matéria seca da parte aérea	43
3.2.6 Índice relativo de clorofila e teor de N total nas folhas do feijoeiro	43
3.2.7 Rendimento do feijoeiro	44
3.2.8 Análise estatística	45
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
3.3.1 Volatilização de amônia, atividade de urease e pH do solo	45
3.3.2 Índice relativo de clorofila, teor de N total nas folhas e quantidade acumulada de N na parte aérea	54
3.3.3 Índice de área foliar e massa de matéria seca da parte aérea	58
3.3.4 Rendimento do feijoeiro	61
3.4 CONCLUSÕES	66
3.5 REFERÊNCIAS	66

4	FONTES DE NITROGÊNIO NO FEIJOEIRO CULTIVADO SOB DIFERENTES QUANTIDADES DE PALHADA DE TIFTON	74
	RESUMO	74
	ABSTRACT	74
4.1	INTRODUÇÃO	75
4.2	MATERIAL E MÉTODOS	77
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	81
4.3.1	Umidade gravimétrica e pH do solo	81
4.3.2	Atividade de urease e volatilização de amônia	83
4.3.3	Massa de matéria seca da parte aérea, teor de N total nas folhas e N acumulado na parte aérea do feijoeiro	91
4.3.4	Rendimento do feijoeiro	95
4.4	CONCLUSÕES	99
4.5	REFERÊNCIAS	99
5	VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA DE FONTES DE NITROGÊNIO APLICADAS NO FEIJOEIRO IRRIGADO CULTIVADO EM PLANTIO DIRETO	105
	RESUMO	105
	ABSTRACT	105
5.1	INTRODUÇÃO	106
5.2	MATERIAL E MÉTODOS	108
5.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	113
5.3.1	Atividade de urease	113
5.3.2	Volatilização de amônia	116
5.3.3	Índice relativo de clorofila, massa de matéria seca da parte aérea, teor e quantidade acumulada de N na parte aérea	121
5.3.4	Rendimento do feijoeiro	124
5.4	CONCLUSÕES	126
5.5	REFERÊNCIAS	127
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	133
7	APÊNDICES	134

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1.	Taxa diária de volatilização de amônia ($\text{kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$), no período de 2 a 18 dias após adubação de cobertura, em função das fontes e doses de N. Santo Antônio de Goiás, GO, 2009	46
Tabela 3.2.	Volatilização acumulada de amônia ($\text{N-NH}_3 \text{ kg ha}^{-1}$), até aos 18 dias após adubação nitrogenada de cobertura, do solo cultivado com feijoeiro adubado em cobertura com três fontes e quatro doses de N. Santo Antônio de Goiás, GO, 2009	49
Tabela 3.3.	Perdas totais percentuais de amônia por volatilização em razão da utilização de três fontes e quatro doses de N. Santo Antônio de Goiás, GO, 2009	50
Tabela 3.4.	Atividade de urease no solo cultivado com feijoeiro adubado em cobertura com três fontes e quatro doses de N. Santo Antônio de Goiás, GO, 2009	51
Tabela 3.5.	Valores de pH do solo cultivado com feijoeiro adubado em cobertura com três fontes e quatro doses de N. Santo Antônio de Goiás, GO, 2009	53
Tabela 3.6.	Coeficientes de correlação de Pearson (r) entre taxa diária de volatilização de N-NH_3 e atividade de urease aos 2, 4, 7, 11 e 14 dias após cobertura nitrogenada, e pH do solo aos 14 dias após cobertura. Cálculo a partir das médias das variáveis fontes e doses de N testadas (n=48)	54
Tabela 3.7.	Índice relativo de clorofila (leituras SPAD) do feijoeiro em razão das fontes e doses de N. Santo Antônio de Goiás, GO, 2009	55
Tabela 3.8.	Teor de N total nas folhas do feijoeiro adubado em cobertura com três fontes e quatro doses de N. Santo Antônio de Goiás, GO, 2009.....	56
Tabela 3.9.	Índice de área foliar (IAF) e massa de matéria seca da parte aérea (MSPA) do feijoeiro adubado em cobertura com três fontes e quatro doses de N. Santo Antônio de Goiás, GO, 2009	60
Tabela 3.10.	Rendimento de grãos, número de vagem por planta, número de grãos por vagem, massa de 100 grãos e estande final do feijoeiro, submetido a três fontes e quatro doses de N em cobertura. Santo Antônio de Goiás, GO, 2009	62
Tabela 3.11.	Coeficientes de correlação (r) entre teor de N total nas folhas, N acumulado na parte aérea, massa de matéria seca da parte aérea (MSPA), índice de área foliar (IAF) e leitura SPAD no florescimento, produtividade e volatilização acumulada de N-NH_3 , na cultura do feijoeiro. Cálculo a partir das médias das variáveis nas fontes e doses de N testadas, quatro repetições (n=48)	65

Tabela 4.1.	Valores de pH do solo cultivado com feijoeiro, em razão das fontes nitrogenadas e da quantidade de palhada na superfície do solo. Santo Antônio de Goiás, GO, 2009	83
Tabela 4.2.	Atividade da enzima urease no solo cultivado com feijoeiro, em razão das fontes nitrogenadas e da quantidade de palhada na superfície do solo. Santo Antônio de Goiás, GO, 2009.....	84
Tabela 4.3.	Volatilização acumulada de N-NH ₃ no solo cultivado com feijoeiro, em razão da interação fontes nitrogenadas x quantidades de palhada na superfície do solo. Santo Antônio de Goiás, GO, 2009	88
Tabela 4.4.	Coeficientes de correlação (r) entre umidade média do solo durante o período avaliado, taxa diária de volatilização de N-NH ₃ e atividade de urease aos 0, 2, 7, 11 e 15 dias após cobertura nitrogenada, e pH do solo aos 15 dias após cobertura nitrogenada. Cálculo a partir das médias das variáveis fontes de N e palhada de tifton no solo (n=32)	90
Tabela 4.5.	Massa de matéria seca da parte aérea (MSPA), teor de N total nas folhas e N acumulado do feijoeiro no florescimento, cultivado sob quatro quantidades de palhada na superfície do solo e adubado com duas fontes nitrogenadas. Santo Antônio de Goiás, GO, 2009	91
Tabela 4.6.	Rendimento de grãos, número de vagem por planta, número de grãos por vagem e massa de 100 grãos do feijoeiro cultivado sob quatro quantidades de palhada na superfície do solo e adubado com duas fontes nitrogenadas. Santo Antônio de Goiás, GO, 2009	96
Tabela 4.7.	Coeficientes de correlação (r) entre teor de N total nas folhas, N acumulado, massa de matéria seca da parte aérea (MSPA), índice relativo de clorofila (SPAD) no feijoeiro em florescimento, rendimento de grãos e volatilização acumulada de N-NH ₃ . Cálculo a partir das médias das variáveis nas fontes de N e palhada de tifton no solo testadas (n=32)	98
Tabela 5.1.	Taxa diária de volatilização de amônia (kg ha ⁻¹ dia ⁻¹) aos seis dias após adubação de semeadura, em função das fontes nitrogenadas. Santo Antônio de Goiás, GO, 2010	118
Tabela 5.2.	Índice relativo de clorofila (leituras SPAD) do feijoeiro adubado com seis fontes nitrogenadas em seis épocas de avaliação. Santo Antônio de Goiás, GO, 2010	122
Tabela 5.3.	Massa de matéria seca da parte aérea (MSPA), teor de N parte aérea (g kg ⁻¹) e N acumulado (kg ha ⁻¹) no feijoeiro em razão das fontes de N. Santo Antônio de Goiás, GO, 2010	124
Tabela 5.4.	Rendimento de grãos, número de vagem por planta, número de grãos por vagem, massa de 100 grãos e estande final do feijoeiro, cv. Perola, em razão das fontes nitrogenadas. Santo Antônio de Goiás, GO, 2010	125

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1.	Irrigação (mm), precipitação pluviométrica (mm), temperatura média (°C) e umidade relativa média (%) durante a condução do experimento. Santo Antônio de Goiás, GO, 2009	38
Figura 3.2.	Fertilizante N de liberação gradual (A) e uréia + NBPT (B). Santo Antônio de Goiás, GO, 2009	40
Figura 3.3.	Câmara coletora de N amoniacal (N-NH ₃) volatilizado do solo após adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro. Santo Antônio de Goiás, GO, 2009	41
Figura 3.4.	Leitura do índice relativo de clorofila na folha do feijoeiro com o aparelho Minolta SPAD-502®. Santo Antônio de Goiás, GO, 2009.....	44
Figura 3.5.	Taxa diária de volatilização de N-NH ₃ do solo cultivado com feijoeiro em razão da interação fontes nitrogenadas e doses de N utilizadas em cobertura. Santo Antônio de Goiás, 2009	46
Figura 3.6.	Taxa diária de volatilização de N-NH ₃ do solo cultivado com feijoeiro em razão das épocas de avaliação. Santo Antônio de Goiás, 2009	48
Figura 3.7.	Volatilização acumulada de amônia até aos 18 dias após adubação de cobertura em razão das fontes e doses de N aplicado em cobertura no feijoeiro. Santo Antônio de Goiás, GO, 2009	49
Figura 3.8.	Atividade da enzima urease no solo em razão dos dias após adubação nitrogenada no feijoeiro. Santo Antônio de Goiás, GO, 2009	52
Figura 3.9.	Valores de pH do solo em razão das doses de N aplicadas em cobertura no feijoeiro. Santo Antônio de Goiás, GO, 2009	53
Figura 3.10.	Índice relativo de clorofila (SPAD) referente ao desdobramento da interação fontes e doses de N (a), da interação doses de N e épocas de avaliação (b) e da interação épocas de avaliação e doses de N (c). Santo Antônio de Goiás, 2009	55
Figura 3.11.	Teor de N total nas folhas em razão das doses de N utilizadas em cobertura no feijoeiro. Santo Antônio de Goiás, 2009	57
Figura 3.12.	Nitrogênio acumulado no feijoeiro no período de florescimento em razão das doses de N utilizadas em cobertura. Santo Antônio de Goiás, 2009	58
Figura 3.13.	Índice de área foliar do feijoeiro em razão das doses de N em cobertura (a) e em razão dos dias após emergência (b). Santo Antônio de Goiás, GO, 2009	59
Figura 3.14.	Massa de matéria seca da parte aérea (MSPA) do feijoeiro em razão das doses de N em cobertura (a) e MSPA do feijoeiro dias após emergência (b). Santo Antônio de Goiás, GO, 2009	61

Figura 3.15.	Curva de resposta da produtividade de grãos (a) e número de vagens por planta (b) do feijoeiro a fontes e doses de N. Santo Antônio de Goiás, GO, 2009	63
Figura 4.1.	Irrigação (mm), precipitação pluvial (mm), umidade relativa média do ar (%) e temperatura máxima e mínima (°C) ocorridos no período de junho a setembro de 2009, registradas na Estação Meteorológica da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO	78
Figura 4.2.	Parcelas experimentais sem palhada (a) e com 20 Mg ha ⁻¹ de palhada de tifton na superfície do solo. Santo Antônio de Goiás, GO, 2009	79
Figura 4.3.	Umidade do solo em razão da quantidade de palhada na superfície do solo (0, 5, 10 e 20 Mg ha ⁻¹), em sete épocas de avaliação, sob cultivo com feijoeiro, Santo Antônio de Goiás, GO, 2009	82
Figura 4.4.	Atividade da enzima urease no solo cultivado com feijoeiro, em razão das épocas de avaliação (dias após cobertura nitrogenada - DAC). Santo Antônio de Goiás, GO, 2009	84
Figura 4.5.	Taxa diária de volatilização de N-NH ₃ do solo cultivado com feijoeiro, em razão interação quantidade de palhada na superfície do solo x épocas de avaliação. Santo Antônio de Goiás, GO, 2009	86
Figura 4.6.	Taxa diária de volatilização de N-NH ₃ do solo cultivado com feijoeiro, em razão da interação fontes nitrogenadas x quantidade de palhada na superfície do solo. Santo Antônio de Goiás, GO, 2009	87
Figura 4.7.	Taxa diária de volatilização de N-NH ₃ do solo cultivado com feijoeiro, em razão da interação fontes nitrogenadas x épocas de avaliação. Santo Antônio de Goiás, GO, 2009	88
Figura 4.8.	Volatilização acumulada N-NH ₃ aos 25 dias após cobertura nitrogenada, no solo cultivado com feijoeiro, em razão da quantidade de palhada na superfície do solo. Santo Antônio de Goiás, GO, 2009 ..	89
Figura 4.9.	Massa de matéria seca da parte aérea (MSPA) do feijoeiro no florescimento, cultivado sob diferentes quantidades de palhada na superfície do solo. Santo Antônio de Goiás, GO, 2009	92
Figura 4.10.	Teor de N foliar (a) e N acumulado (b) no feijoeiro cultivado sob diferentes quantidades de palhada na superfície do solo. Santo Antônio de Goiás, GO, 2009	93
Figura 4.11.	Leituras do índice relativo de clorofila (SPAD), em razão da interação quantidade de palhada x épocas de avaliação (a), e épocas de avaliação x quantidades de palhada na superfície do solo (b). Santo Antônio de Goiás, GO, 2009	94
Figura 4.12.	Produtividade de grãos (a), número de vagem por planta (b), número de grãos por vagem (c) e massa de 100 grãos (d) do feijoeiro cultivado sob diferentes quantidades de palhada na superfície do solo. Médias das fontes nitrogenadas. Santo Antônio de Goiás, GO, 2009	96

Figura 5.1.	Irrigação (mm), precipitação pluvial (mm), umidade relativa média do ar (%) e temperatura máxima e mínima (°C) ocorridos no período de junho a setembro de 2010, registradas na Estação Meteorológica da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO	109
Figura 5.2.	Fertilizante nitrogenado uréia + NBPT (A) e uréia revestida com polímero. Santo Antônio de Goiás, GO, 2010	110
Figura 5.3.	Adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro, aos 26 dias após emergência das plântulas. Santo Antônio de Goiás, GO, 2010	111
Figura 5.4.	Atividade da urease no solo cultivado com feijoeiro em plantio direto, em razão da aplicação de fontes nitrogenadas e épocas de avaliação após semeadura. Santo Antônio de Goiás, GO, 2010	114
Figura 5.5.	Atividade da urease no solo cultivado com feijoeiro em plantio direto, em razão da aplicação de fontes nitrogenadas e épocas de avaliação após adubação de semeadura. Santo Antônio de Goiás, GO, 2010	115
Figura 5.6.	Atividade da urease no solo cultivado com feijoeiro em plantio direto, em razão da aplicação de fontes nitrogenadas e épocas de avaliação após adubação em cobertura. Santo Antônio de Goiás, GO, 2010	116
Figura 5.7.	Taxa diária de volatilização de N-NH ₃ em razão da aplicação de fontes nitrogenadas no feijoeiro em plantio direto aos 93 dias após a semeadura. Santo Antônio de Goiás, GO, 2010	117
Figura 5.8.	Taxa diária de volatilização de N-NH ₃ em razão da aplicação de fontes nitrogenadas no feijoeiro em plantio direto e épocas de avaliação após adubação de semeadura. Santo Antônio de Goiás, GO, 2010	118
Figura 5.9.	Taxa diária de volatilização de N-NH ₃ em razão da aplicação de fontes nitrogenadas no feijoeiro em plantio direto, e épocas de avaliação após adubação em cobertura. Santo Antônio de Goiás, GO, 2010	119
Figura 5.10.	Volatilização acumulada N-NH ₃ aos 93 dias após adubação nitrogenada em plantio do feijoeiro em plantio direto, e em razão das fontes nitrogenadas. Santo Antônio de Goiás, GO, 2010	120
Figura 5.11.	Índice relativo de clorofila em folhas do feijoeiro (leitura SPAD) em razão dos dias após emergência e das fontes nitrogenadas utilizadas em plantio e em cobertura. Santo Antônio de Goiás, GO, 2010	123

RESUMO GERAL

BERNARDES, T. G. **Volatilização de amônia e produtividade do feijoeiro irrigado adubado com diferentes fontes de nitrogênio.** 2011. 144 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Produção Vegetal) – Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.¹

Na cultura do feijoeiro o nitrogênio (N) é o nutriente exigido em maior quantidade, estando relacionado com aumentos de produtividade. Como fonte deste nutriente a uréia é o adubo mais utilizado no mundo devido ao seu baixo custo por unidade de N, entretanto, seu uso pode resultar em altas perdas por volatilização de amônia (NH₃). O presente trabalho foi desenvolvido a partir de três experimentos realizados em campo, conduzidos na safra de inverno, nos anos de 2009 e 2010, na Embrapa Arroz e Feijão, município de Santo Antônio de Goiás, GO. O objetivo foi de avaliar as perdas de N por volatilização de NH₃, com utilização de diferentes fontes de N aplicadas no feijoeiro irrigado. O primeiro experimento foi em blocos ao acaso, com quatro repetições, em esquema fatorial 3 x 4, constituído por três fontes nitrogenadas, uréia, uréia + NBPT e N liberação gradual, e quatro doses de N, 0; 50; 100 e 150 kg ha⁻¹, em cobertura. No segundo experimento o delineamento foi de blocos ao acaso, com quatro repetições. Os tratamentos constaram de quatro diferentes quantidades de palhada de tifton (Capim *Cynodon* spp. cv. Tifton 85) na superfície do solo, 0; 5; 10 e 20 Mg ha⁻¹, e adubação em cobertura com duas fontes nitrogenadas, uréia e N liberação gradual. O terceiro experimento foi instalado em delineamento de blocos ao acaso, com cinco repetições. Os tratamentos consistiram da aplicação de cinco fontes nitrogenadas, uréia, uréia + NBPT, uréia + polímero, sulfato de amônio e nitrato de amônio, no plantio e em cobertura, mais testemunha (sem N). As doses de N influenciaram positivamente no rendimento de grãos do feijoeiro. A uréia proporcionou maior volatilização de NH₃, embora, nas condições do presente estudo estas perdas tenham sido relativamente baixas. Menor volatilização acumulada ocorreu no solo com 20 Mg ha⁻¹ de palhada de tifton na superfície do solo, em razão do maior armazenamento de água pelo solo. A atividade de urease no solo não foi influenciada pelas fontes e doses de N. O rendimento de grãos do feijoeiro não foi influenciado pelas fontes nitrogenadas.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L., NBPT, liberação lenta, capim tifton, plantio direto.

¹ Orientador: Dr. Pedro Marques da Silveira. Embrapa Arroz e Feijão.

GENERAL ABSTRACT

BERNARDES, T. G. **Ammonia volatilization and yield of irrigated common beans fertilized with different sources of nitrogen**. 2011. 144 f. Thesis (Doctor in Agronomy: Crop Production) – Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.¹

In the bean crop nitrogen (N) is the nutrient required in greatest quantity, being related to increases in common bean yield. As the source of this nutrient urea fertilizer is used more in the world due to its low cost per unit of N, however, its use can result in high losses due to ammonia (NH₃) volatilization. This work was developed from three experiments performed in the field, conducted in the winter crop in the years 2009 and 2010, at Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antonio de Goiás, GO, Brazil. The objective was to evaluate N by NH₃ volatilization loss, using different sources of nitrogen fertilizer applied to irrigated common beans. The first experiment was a randomized block, with four replications, in a factorial 3 x 4, consisted of three sources of nitrogen fertilizer, urea, urea + NBPT and gradual release N fertilizer, and four rates of N, 0; 50; 100 and 150 kg ha⁻¹, on side-dressing fertilization. In the second experiment, the design was a randomized block, with four replications. The treatments consisted of four different amounts of straw tifton (*Cynodon* spp. Cv. Tifton 85) on the soil surface, 0; 5; 10 and 20 Mg ha⁻¹, and side-dressing fertilizer nitrogen with two sources, urea and gradual release N fertilizer. The third experiment was in randomized block design, with five repetitions. The treatments consisted of the application of five sources of nitrogen fertilizer, urea, urea + NBPT, urea + polymer, ammonium sulphate and ammonium nitrate at sowing and in coverage, more control (without N). The N rates had a positive influence on grain yield of common bean. Urea caused higher NH₃ volatilization, however, the conditions of the present study these losses were relatively low. Less accumulated volatilization occurred in soil with 20 Mg ha⁻¹ straw tifton soil surface, due to higher soil water storage. The urease activity in soil was not influenced by the sources and rates of N. The common bean grain yield was not influenced by sources of nitrogen fertilizer.

Key words: *Phaseolus vulgaris* L., NBPT, slow release, Tifton grass, no-tillage.

¹ Adviser: Dr. Pedro Marques da Silveira. Embrapa Arroz e Feijão.

1 INTRODUÇÃO

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) constitui-se em uma das mais importantes fontes protéicas na dieta humana em países em desenvolvimento das regiões tropicais e subtropicais. O Brasil é o maior produtor de feijão do mundo, a produção anual nos últimos anos está em torno de 3,0 milhões de tonelada, sendo cultivado praticamente o ano todo (Conab, 2011). O plantio na safra de inverno (período seco), sob irrigação, é realizada principalmente por médios e grandes produtores, geralmente usuários de maior nível de tecnologia.

Entre as tecnologias utilizadas na produção do feijoeiro, a adubação nitrogenada é a que têm gerado maior número de questionamentos. Conforme Barbosa Filho et al. (2001), as dúvidas vão desde reações e mecanismos controladores da disponibilidade do nitrogênio (N) no solo, características e reações no solo das diferentes fontes de N, até à prática da adubação, quanto a fontes, doses, métodos de aplicação, época mais adequada de aplicação durante o ciclo da cultura e a necessidade de seu parcelamento, e, sobretudo, quanto aos seus aspectos econômicos. O manejo adequado do nitrogênio no feijoeiro é fundamental para que não haja prejuízos na relação custo/benefício, para o meio ambiente e para a nutrição das plantas.

Nos agrossistemas, o adubo nitrogenado é o principal veículo de adição de N e é um dos insumos de maior importância pelo desempenho crescente na produtividade vegetal e pelo atendimento da demanda de alimentos. O uso de fertilizantes nitrogenados, só no Brasil, teve um aumento no consumo de 1,18 milhões de Mg em 1994 para 2,8 milhões de Mg em 2010, ocupando o 6º lugar no mundo (ANDA, 2011). Entretanto, dependendo do manejo, quantidades elevadas do N adicionado na forma de fertilizantes são perdidas por lixiviação e/ou na forma de gases, que retornam à atmosfera. Nesse caso, ele tem o potencial para se tornar um poluente do solo ou da água ou contribuir para o aquecimento global.

A uréia é o fertilizante nitrogenado mais utilizado em cobertura na cultura do feijoeiro devido ao baixo custo do insumo e alta concentração de N (45%). No entanto,

este fertilizante apresenta elevado risco de perda por volatilização de amônia (NH_3), quando comparada às demais fontes (Vitti et al., 2006). O processo de perda por volatilização da NH_3 consiste na passagem da NH_3 presente no solo para a atmosfera, e tal processo é intensificado mediante aumento do pH do solo e da temperatura elevada (Melo, 1978). A volatilização da amônia é um processo rápido que pode ocorrer logo após a aplicação de N ou mesmo na semana seguinte (Diest, 1988).

Uma das alternativas para aumentar a eficiência da adubação nitrogenada é a utilização de fontes que apresentam uma liberação mais lenta deste elemento. A premissa básica para o uso deste adubo é a liberação contínua do nutriente, reduzindo a possibilidade de perdas, conseqüentemente, disponibilizando o N para a planta por um maior período. O seu uso apresenta outras inúmeras vantagens, tais como: a redução da mão-de-obra para adubações em cobertura; a redução da perda de N por volatilização da amônia; a redução dos danos na semente ou nas plântulas pela salinidade do meio de cultivo, entre outras (Sharma, 1979).

Visando o aumento da produtividade do feijoeiro, este trabalho tem como objetivo avaliar o efeito de fontes de N na volatilização de amônia e na produtividade do feijoeiro irrigado cultivado no inverno, na região do Cerrado.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A CULTURA DO FEIJOEIRO

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é a espécie mais cultivada entre as demais do gênero *Phaseolus*. Apresenta conteúdo protéico relativamente alto, é excelente fonte de carboidratos e fibra, apresenta baixo teor de lipídios, sódio e não contém colesterol, além de possuir vitaminas (principalmente do complexo B) e minerais (Geil & Anderson, 1994). O feijão é uma importante fonte de proteína para a população mais pobre, e, destaca-se pelo efeito medicinal, protetor e terapêutico de doenças coronarianas e oncológicas, decorrentes do baixo teor de gordura e alto teor de fibra (Ferreira et al., 2002).

Segundo Vieira (1988), no Brasil, o feijoeiro está distribuído por todo o território nacional, estando amplamente adaptado às diversidades climáticas. Pode ser cultivado em diferentes épocas do ano, comumente agrupadas em: plantio “das águas” – o qual se concentra nos meses de setembro a novembro, plantio “da seca” - nos meses de janeiro a março, e plantio de outono-inverno, nos meses de maio a julho. O plantio de maio a julho só é viável com a utilização da prática de irrigação, o que vem possibilitando a obtenção de altas produtividades, principalmente na região central do Brasil (Oliveira et al., 1996).

O Brasil é o maior produtor e consumidor de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) do mundo. O consumo de feijão “per capita” é em torno de 13,6 kg ano⁻¹ e a produção total, na safra 2010/11, atingiu 4 milhões de Mg (Conab, 2011). Nos últimos 20 anos, o Brasil reduziu sua área de plantio em torno de 30 %. Entretanto, a produção de feijão aumentou em 33,5%, graças ao expressivo aumento da produtividade média (94,6%), que atualmente está em torno de 945 kg ha⁻¹. Mesmo com aumento da produção o país não produz o suficiente para atender ao mercado interno, importando na safra 2010/11 um total de 120,0 mil toneladas (Conab, 2011).

Os caracteres morfológicos da planta se diferenciam em fixo e variáveis, de acordo com o grau de interação com o meio ambiente (Vilhordo et al., 1996). Os caracteres

fixos identificam a espécie ou cultivar, apresentam alta herdabilidade e dependem de um ou poucos genes, que determinam uma característica fenotípica de fácil diferenciação, como a cor da flor, cor dos cotilédones, entre outros. Os caracteres descritivos variáveis dependem de poucos ou muitos genes e são afetados pelas condições ambientais. De acordo com o hábito de crescimento as cultivares de feijão são agrupadas em tipo I (plantas de crescimento determinado), tipo II (plantas de crescimento indeterminado arbustivo), tipo III (plantas de crescimento indeterminado prostrado) e tipo IV (plantas de crescimento indeterminado trepador) (CIAT, 1981). Estas diferenças de hábito de crescimento também estão associadas ao ciclo da cultura, onde normalmente as cultivares do tipo I são mais precoces com ciclos próximos de 70 dias, enquanto que as do tipo II, III e IV apresentam ciclo ao redor de 90 a 100 dias, ou até maior para as do tipo IV. Conforme a cor da semente as cultivares de feijoeiro foram classificadas em variados grupos comerciais tais como: preto, carioca, rosinha, rajado e outros (Vilhordo et al., 1996); sendo que o grupo carioca é o mais cultivado no Brasil.

O feijoeiro apresenta um sistema radicular superficial e um ciclo curto, o fornecimento de nutrientes ao feijoeiro é de fundamental importância, principalmente o de N, que em geral é o exigido em maiores quantidades (Malavolta, 1979). A maior parte da massa da matéria seca dos grãos é constituída de carboidratos (cerca de 65 %) e N. A maior parte deste último é estocada nas folhas sob a forma de proteínas que, ao se iniciar a formação das vagens e dos grãos, são mobilizadas e translocadas para esses componentes de rendimento de grãos. Normalmente, cerca de 80 % do N encontrado nos grãos são provenientes do N estocado na parte vegetativa da planta, e o restante é proveniente do N assimilado após a floração. Os carboidratos, ao contrário, necessários para o enchimento dos grãos, são provenientes da atividade fotossintética “corrente”, ou seja, da atividade fotossintética que está se realizando naquele momento. Por esse motivo, quanto mais tempo durar a área foliar verde após a floração, maior será o rendimento de grãos (Didonet, 2003).

A cultivar de feijão Pérola é proveniente de trabalho de seleção de linhas puras da cultivar Aporé, realizado pela Embrapa Arroz e Feijão. As características da planta são: hábito de crescimento indeterminado (tipo III); porte semi-ereto; ciclo de 90 dias; média de 46 dias para floração; flor branca; vagem verde, levemente rosada, na maturação; e vagem amarelo-areia na colheita. Pertence ao grupo comercial carioca; o potencial de

produtividade da cultivar pérola é de 4000 kg ha⁻¹. É uma planta resistente ao mosaico comum e moderadamente resistente a murcha de fusarium (Yokoyama et al., 1999).

2.2 NITROGÊNIO

O N é um elemento indispensável para os seres vivos, fazendo parte das moléculas de aminoácidos, proteínas e ácidos nucléicos. Nas plantas, apenas elementos como o oxigênio, o carbono e o hidrogênio são mais abundantes que o N. A deficiência de N rapidamente inibe o crescimento vegetal. A fertilização de N inorgânico no ecossistema agrário têm resultado em um ganho expressivo na produtividade, comprovando a importância desse elemento para as plantas (Taiz & Zeiger, 2009).

A atmosfera contém uma vasta quantidade (aproximadamente 78% por volume) de nitrogênio molecular (N₂). Este nitrogênio molecular não está diretamente disponível para as plantas, sendo necessário a quebra da ligação tripla covalente entre os dois átomos de nitrogênio (N≡N) para produzir amônia (NH₃) ou nitrato (NO₃⁻). Tais reações, conhecidas como fixação do nitrogênio, podem ser realizadas por processo industrial e por processo natural como relâmpagos, reações fotoquímicas e fixação biológica do nitrogênio (Salisbury & Ross, 1991; Taiz & Zeiger, 2009).

Uma vez fixado em amônio ou nitrato, o N entra no ciclo biogeoquímico, passando por várias formas orgânicas ou inorgânicas antes de finalmente retornar à forma de N molecular. Os íons amônio (NH₄⁺) e NO₃⁻, gerados pela fixação ou liberados pela decomposição da matéria orgânica do solo, tornam-se objetos de intensa competição entre plantas e microrganismos (Taiz & Zeiger, 2009).

No solo, o N é responsável por 5% da matéria orgânica. Destes, cerca de 98 % está na forma orgânica (ácidos nucléicos, alfa amínica, complexos com lignina, entre outros) e somente 2% na forma mineral (amônia, nitrito e nitrato). De acordo com Malavolta (2006), no solo encontram-se também formas gasosas combinadas de N, tais como: N₂ do ar do solo; NH₃; óxido nitroso (N₂O) e; monóxido de nitrogênio (NO).

Devido à baixa disponibilidade de N no solo e à alta exigência pelas culturas, a adubação nitrogenada torna-se necessária, sendo feita em maior quantidade, e com mais frequência que os demais nutrientes. Do N aplicado nos sistemas agrícolas, grande parte sofre perdas relacionadas, principalmente, à baixa eficiência do uso do N. O aumento

dessas perdas no mundo tem sido reportado como fator de contribuição às emissões de gases de efeito estufa que levam ao aquecimento global, e da contaminação de águas de subsuperfície pelo excesso de NO_3^- (Houghton et al., 1994). Para explicar a eficiência de absorção do N é importante entender os vários processos no solo que afetam o ciclo do N, que são: adsorção iônica, erosão, lixiviação, imobilização, mineralização, volatilização, nitrificação e desnitrificação. Esses processos são controlados por fatores de natureza física, química e microbiológica do solo, disponibilidade de energia e água (Mattos Junior et al., 2007).

A disponibilidade de N no solo é controlada principalmente pela mineralização e imobilização de N, dois processos opostos e simultâneos que ocorrem durante a decomposição de materiais orgânicos e da matéria orgânica do solo pela população microbiana heterotrófica. A mineralização é o processo de transformação do N orgânico em formas inorgânicas (N mineral - NH_4^+ e NO_3^-), enquanto a imobilização é o processo contrário, isto é, a conversão do N mineral em orgânico, que ocorre por conta dos microrganismos do solo e pela planta; no último caso o processo é chamado de assimilação (Malavolta, 2006). Eles são processos-chaves no ciclo interno do N no solo e estão entre os mais complexos (Aita & Giacomini, 2007). Em solo não fertilizado, o N disponível para as plantas e microrganismos é praticamente todo proveniente da mineralização do N orgânico. Considera-se, como uma estimativa média, que são liberados, anualmente, cerca de 20 a 30 kg ha^{-1} de N para cada ponto percentual de matéria orgânica contida no solo (Stevenson, 1986).

Parte do amônio liberado na mineralização sofre oxidação biológica a nitrato passando por nitrito no processo da nitrificação. Durante a nitrificação, para cada NH_4^+ oxidado ocorre a liberação de dois íons hidrogênio (H^+) na solução do solo, resultando na acidificação deste. O nitrato formado não é retido pela fase lábil do solo, e fica susceptível a lixiviação e perdas por desnitrificação (Malavolta, 2006). A desnitrificação é o processo de redução biológica do nitrato ou do nitrito (NO_2^-) até a forma gasosa de N_2 , passando por outras formas gasosas intermediárias de N, com destaque para N_2O , cuja emissão para a atmosfera provoca um efeito estufa cerca de 300 vezes maior do que o CO_2 , além de afetar a camada de ozônio. É um processo prejudicial tanto do ponto de vista agrícola, pela diminuição da disponibilidade de N mineral às culturas, como também do ponto de vista de poluição ambiental (Aita & Giacomini, 2007).

2.2.1 Fertilizantes nitrogenados

Quando se considera apenas o N como fator limitante da nutrição de plantas nota-se que a produção de fertilizantes nitrogenados via fixação química industrial do N_2 foi, sem dúvida, um processo que possibilitou incrementos na produtividade e o desenvolvimento agrícola em vários países. A amônia é o composto chave de produção de quase todos os adubos nitrogenados do comércio mundial. É produzida em uma reação isotérmica com consumo de grande quantidade de energia, utilizando como matéria prima o N do ar e o hidrogênio oriundo de diferentes fontes, tais como: combustíveis fósseis e também de fontes renováveis (Vitti & Heirinchs, 2007). No Brasil, cerca de 45% do N consumido é na forma de uréia, 25% como sulfato de amônio e 12% como nitrato de amônio (ANDÁ, 2011). Como características comuns apresentam alta solubilidade em água e pronta disponibilidade para a planta. A uréia apresenta 45% de N solúvel em água e adsorve com facilidade a umidade do ar (higroscopicidade). No solo, parte do N da uréia transforma-se em amônia (NH_3) gasosa, passando em seguida a nitrato. O sulfato de amônio apresenta 21% de N e 23% de enxofre solúvel em água, é cristalizado e menos higroscópico que a uréia (Malavolta et al., 2002).

Dentre as fontes nitrogenadas, a uréia apresenta elevada concentração de N, baixa corrosividade e menor relação custo por unidade de nutriente. No entanto, apresenta elevado risco de perda por volatilização de NH_3 , quando comparada às demais fontes (Vitti et al., 2006). A incorporação da uréia ao solo é uma alternativa para reter maior quantidade de amônio no solo e minimizar as perdas por volatilização (Lara Cabezas et al., 2000; Sangoi et al., 2003).

Segundo Barbosa Filho et al. (2004), a presença das plantas na época da aplicação da uréia pode também reduzir as perdas por volatilização, que são devidas à arquitetura da planta do feijoeiro que, ao permitir a perfeita cobertura da superfície do solo, favorece a absorção do NH_3 presente na atmosfera abaixo do dossel das folhas inferiores das plantas. Entretanto, quando há possibilidade de irrigação imediata após a adubação, pode-se formular a hipótese de que a opção pelo uso da uréia é tão eficiente em termos de rendimento de grãos quanto outras fontes de N (Barbosa Filho & Silva, 2001; Barbosa Filho et al., 2005).

Quando a uréia é aplicada superficialmente em solos cobertos por palha, as perdas por volatilização são elevadas. Tais resultados originam da atividade da enzima

urease na presença de umidade, altas temperaturas, exposição à ação dos ventos e pela ausência de sítios de adsorção do amônio. O fenômeno pode ser agravado em consequência da baixa capacidade de retenção do gás produzido, ou parcialmente controlado pelas condições climáticas como chuva e irrigação, as quais podem arrastar o fertilizante em profundidade diminuindo a volatilização, estimando que sejam suficientes para tanto 15 mm de chuva após a adubação. A hidrólise da uréia não ocorre na falta de umidade, entretanto o orvalho e a ascensão da umidade do solo durante o período noturno são suficientes para desencadear o processo (Serrana, 2000).

Devido ao custo da adubação nitrogenada ser bastante oneroso, se faz necessário o uso de fontes nitrogenadas que apresentem menor susceptibilidade a perdas de N por volatilização. Dentre estas fontes, destaca-se o sulfato de amônio por ser menos sujeito às perdas por volatilização de NH_3 em solos ácidos (Ribeiro, 1996).

O sulfato de amônio - $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ - apresenta como vantagens a baixa higroscopicidade, boas propriedades físicas, estabilidade química e oferta de enxofre. Como desvantagem, apresenta no solo, uma reação fortemente ácida, possui baixa concentração de N (21%), aumentando o custo de aplicação e transporte (Franco & Saraiva Neto, 2007). Portanto, o custo por unidade de N acaba sendo maior em relação à uréia (Byrnes, 2000).

O nitrato de amônio - NH_4NO_3 - contém ao mesmo tempo duas formas de N, a nítrica (NO_3^-) e a amoniacal (NH_4^+), totalizando 32% de N. Entretanto, este fertilizante tem regulamentações e restrições crescentes quanto à fabricação, estocagem e transporte devido à possibilidade de seu emprego como explosivo, que pode eventualmente afetar sua utilização na agricultura (Raij, 1991).

O sulfato de amônio e o nitrato de amônio que contém N amoniacal, aplicados em solos com pH inferior a sete, a liberação de N por volatilização é muito baixa, pois não favorecem o aumento do pH no local onde são aplicados, mesmo quando aplicados sobre restos de cultura. O Brasil possui a maioria dos solos com característica ácida e também, por isso, as perdas com tais fertilizantes são pouco relevantes (Terman, 1980). Cantarella et al. (1999) e Freney et al. (1992) verificaram que quando o nitrato de amônio e o sulfato de amônio foram utilizados em cobertura para a cana de açúcar, houve perdas de apenas 1,8% pela volatilização.

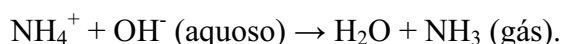
Vários produtos, antigos ou novos, estão sendo vistos com amplo interesse devido as modificações recentes no contexto agrônomo e ambiental. Segundo Cantarella

& Marcelino (2008), alternativas para aumentar a eficiência de uso do N pelas culturas estão relacionadas ao uso de fertilizantes com maior eficiência (*enhanced-efficiency fertilizers*), que podem ser classificados em fertilizantes de liberação lenta e fertilizantes estabilizados. Os fertilizantes de liberação lenta, com baixa solubilidade em relação a uma fonte solúvel de referência, são classificados basicamente em dois grupos: compostos de condensação de uréia e uréia-aldeídos - ureaformaldeído (38% de N), isobutilidene diuréia (IBDU, 31% de N), crotonilidene diuréia (CDU, 32% de N); e, produtos encapsulados ou recobertos - uréia recoberta com enxofre (SCU) e uréia recoberta com polímeros (Osmocote, Meister, Nutricote e outros). Os fertilizantes estabilizados, que contêm aditivos para aumentar o tempo de disponibilidade no solo, são classificados em: inibidores de nitrificação - nitrapirina [2-cloro-6-(triclorometil) piridina] (NP), dicianodiamida (DCD), DMPP (fosfato de 3,4 dimetil pirazole) e outros; e, inibidores de urease - fenil-fosforodiamidato (PPD) e tiofosfato de N-n-butil triamida (NBPT) são os compostos de maior sucesso até o momento, entre milhares de misturas.

De forma geral, os fertilizantes estabilizados possuem maior importância no mercado de fertilizantes do que os de liberação lenta, devido ao alto custo de produção destes últimos (três a dez vezes maior, comparado ao dos fertilizantes convencionais), que restringe seu uso a nichos de mercado de alto valor agregado, tais como viveiros de mudas, campos e jardinagem. Porém, há grande esforço da indústria mundial de fertilizantes para desenvolver produtos desta família com preço competitivo. O efeito positivo da adição de inibidores de nitrificação depende da ocorrência de condições que levem as perdas por lixiviação com o uso de fontes ou métodos convencionais de aplicação de fertilizantes (Trenkel, 1997; Cantarella & Marcelino, 2008).

2.2.2 Perdas de N por volatilização

O processo de perda por volatilização de amônia consiste na passagem da amônia presente no solo à atmosfera (Diest, 1988), conforme a reação abaixo:



A NH_3 perdida por volatilização é proveniente da mineralização da matéria orgânica ou do fertilizante aplicado, sendo este o fenômeno mais intenso, mediante o aumento no pH do solo (Melo, 1978). O processo de volatilização de amônia com a aplicação de uréia envolve, inicialmente, a hidrólise da fonte nitrogenada por meio da

urease, resultando na formação de carbonato de amônio. A urease é uma enzima extracelular produzida por bactérias, actinomicetos e fungos do solo ou, ainda, de origem em restos vegetais. Uma maior concentração da enzima no solo proporciona maiores taxas de volatilização. Entretanto, vários fatores influenciam na atividade enzimática da urease, entre eles a concentração no substrato, o nível de umidade, a temperatura e o pH do solo (Santos et al., 1991).

O carbonato de amônio resultante da hidrólise da uréia não é estável e desdobra-se em NH_3 , CO_2 e água (Raij, 1991). Parte da NH_3 formada reage com íons H^+ da solução do solo e com íons H^+ dissociáveis do complexo coloidal, resultando no cátion NH_4^+ . Entretanto, a neutralização da acidez potencial determina a elevação do pH, que pode atingir valores acima de sete na região próxima aos grânulos do fertilizante aplicado (Rodrigues & Kiehl, 1992). O aumento do pH aumenta a concentração relativa de NH_3 e seu potencial de volatilização (Trivelin et al., 1994). Portanto, todos os fatores que tem influencia sobre o pH do solo no sistema solo-água vão influenciar a taxa de perdas.

Em solos de reação alcalina (pH elevado), qualquer adubo que contenha N amoniacal está sujeito a perdas de N por volatilização de amônia. No entanto, em solos ácidos as perdas esperadas devem ser pequenas para a maioria dos fertilizantes, exceto para a uréia, aplicada na superfície do solo. Do N aplicado em ecossistemas agrícolas, as perdas de NH_3 por volatilização são resultantes da interação entre fatores de solo, de clima e de manejo. No solo além do pH outras características influenciam nas perdas de NH_3 por volatilização, tais como: a capacidade de troca catiônica (CTC), os teores de carbonato de cálcio e de matéria orgânica do solo (Corsi, 1994). A temperatura, precipitação pluvial, velocidade do vento e a umidade relativa do ar são as principais características climáticas (Lightner et al., 1990). Dentre os fatores de manejo destacam-se a localização do adubo no solo, as doses de fertilizante fornecidas e a presença ou não de resíduos vegetais sobre a superfície do solo (Contin, 2007).

Aumentos na temperatura favorecem o aumento das perdas por volatilização, devido à elevação na proporção de NH_3 na solução do solo em relação à NH_4^+ , à diminuição da solubilidade de amônia, ao aumento da atividade da urease e ao aumento das taxas de evaporação (Trivelin et al., 1994). Com relação à precipitação, as águas das chuvas proporcionam o movimento do adubo para camadas mais profundas no perfil do solo, reduzindo a volatilização. Entretanto, se a quantidade de chuva for insuficiente para

que ocorra o movimento do adubo, pode ocorrer a sua dissolução apenas na camada superficial do solo, potencializando as perdas de amônia (Freney et al., 1992).

O aumento do pH ao redor dos grânulos quando se aplica a uréia no solo, ocasionando volatilização de amônia, ocorre, principalmente, se ela for aplicada em superfície, sem incorporação, e se as condições térmicas e hídricas forem favoráveis. A incorporação da uréia reduz a volatilização de amônia devido ao aumento do contato do grânulo ao solo, favorecendo a adsorção de NH_4^+ às cargas negativas, e reduz a difusão de NH_3 (Cantarella et al., 1999). A quantidade de N perdido por volatilização, após a aplicação de uréia em superfície, pode atingir valores extremos de até 78% do N aplicado (Lara Cabezas et al., 1997). Camargo et al. (1989) não observaram perdas de amônia provenientes da uréia e aquamônia quando estas foram aplicadas em sulcos, na profundidade de 25 cm. Vitti et al. (2001) encontraram recuperações de 19, 23 e 27% para a uréia, nitrato de potássio e sulfato de amônio, respectivamente, na aplicação de adubos à 10 cm de profundidade, e quando comparadas à aplicação superficial, mostraram maiores recuperações.

No cultivo do feijoeiro, em sistema plantio direto, no qual a incorporação mecânica da uréia não é uma prática viável, o manejo da aplicação do fertilizante será determinante da sua eficiência. Nesse sistema, as perdas de N serão potencializadas se a uréia for aplicada em superfície porque a urease ocorre na interface solo-atmosfera e também nos resíduos superficiais, onde podem se depositar grânulos de uréia (Ceretta, 2007).

A mistura de uréia com outros fertilizantes nitrogenados consiste em outra alternativa para reduzir as perdas de N por volatilização. Vitti et al. (2001) verificaram que a mistura de uréia com sulfato de amônio nas proporções de 1:1 reduziu as perdas de N por volatilização em função da menor quantidade de uréia, bem como pelo efeito acidificante do sulfato de amônio, que diminui o efeito local da elevação do pH provocado pela hidrólise da uréia. Formulações líquidas, tais como o uran e soluções de uréia, quando aplicadas em faixas podem ter menores perdas de NH_3 , pois ocorre uma ligeira incorporação ao solo do fertilizante e, em alguns casos, a saturação da urease na região de aplicação.

Os efeitos da cobertura de solo sobre a volatilização de amônia resultam em diferentes índices de perdas. Anjos & Tedesco (1976) em trabalhos sob diferentes condições, mostraram que em algumas situações as perdas aumentaram, e em outras, as

perdas com cobertura vegetal não diferiram das do solo descoberto. É comprovado que a cobertura vegetal promove uma redução na evaporação de água o que aumenta a atividade da enzima urease. Além disso, a baixa capacidade de retenção de NH_3 nos resíduos vegetais é um fator que contribui para o incremento das perdas desse gás (Freney et al., 1992). Além destes aspectos, a presença de material vegetal sobre o solo favorece a atividade microbiana e a CTC, com isso tem-se maior atividade da urease na hidrólise da uréia, favorecendo a volatilização de NH_3 (Bayer & Mielniczuk, 1997).

Com o objetivo de retardar a hidrólise da uréia e conseqüentes perdas por volatilização, compostos com potencial de atuar como inibidores da urease têm sido testados. O inibidor de urease atua reduzindo a velocidade da hidrólise da uréia. Além disso, favorece o transporte de NH_3 para horizontes mais profundos, devido à redução do pico de alcalinização e ampliação do tempo de deslocamento deste íon no perfil do solo (Contin, 2007).

Durante o tempo em que o inibidor estiver aderido à uréia, ele promove a ocupação do local de ação da urease não permitindo sua ação (Mobley & Hausinger, 1989; Kolodziej, 1994). Desta forma retarda-se o início e reduz-se a velocidade de volatilização de NH_3 . Este atraso promovido na hidrólise da uréia, resulta em menor concentração de NH_3 na superfície do solo, reduzindo o potencial de volatilização, proporcionando o transporte de uréia para camadas mais profundas do perfil do solo (Christianson et al., 1990).

Em pesquisas realizadas com diferentes inibidores de urease, o NBPT (N-(n-butil) tiofosfórico triamida) vem proporcionando redução de perdas de N em diferentes culturas e condições (Bremner & Chay, 1986; Schlegel et al., 1986; Beyrouthy et al., 1988; Watson, 2000). Este já se encontra amplamente difundido na área comercial em uma formulação para mistura com a uréia. Os efeitos proporcionados pelo uso do NBPT são variáveis em função de diferentes fatores, e não se pode afirmar que a redução das perdas serão convertidas em produção (Hendrikson, 1992; Watson et al., 1998).

2.2.3 Importância e aspectos da adubação nitrogenada para o feijoeiro

Na cultura do feijão, o N é o elemento absorvido em maior quantidade. Segundo Oliveira et al. (1996), quantidades superiores a 100 kg ha^{-1} de N são requeridas para garantir a extração do nutriente associada a altas produtividades. O N é um dos

nutrientes mais importantes na nutrição da planta, tendo-se respostas positivas em termos de produtividade (Pires et al., 2002). Malavolta (1979) explicou tal fato dizendo que o N é um dos nutrientes absorvidos em maior quantidade pelo feijoeiro e quando aplicado na dose recomendada promove rápido crescimento, aumentando a folhagem, o teor de proteína nas sementes. Canechio Filho (1987) ressalta que a alta exigência da cultura em relação ao N se deve ao fato desta ser uma leguminosa produtora de grãos ricos em proteínas. De acordo com Oliveira et al. (1996), quando o N está deficiente, as plantas são atrofiadas, o caule e o ramo são delgados e as folhas apresentam uma coloração entre verde-pálido e amarela.

A quantidade de N a ser fornecida ao feijoeiro comum é definida principalmente em função do rendimento almejado, da quantidade relativa de N fornecida pelo solo (histórico da área), da taxa de fixação biológica de nitrogênio (FBN) e da eficiência de utilização de N proveniente do fertilizante (Fancelli & Tsumanuma, 2007). Normalmente na semeadura recomenda-se o uso de 15 a 25 kg ha⁻¹ de N, objetivando restringir sua interferência na vida das bactérias nitrificantes e, concomitantemente, garantir o crescimento rápido do sistema radicular. E, em cobertura nitrogenada recomenda-se aplicar de 40 a 100 kg ha⁻¹ de N, para produtividades superiores a 2.000 kg ha⁻¹ de feijão, em parcela única, por ocasião da emissão do terceiro trifólio (Fancelli & Tsumanuma, 2007).

Segundo Rosolem (1987), há resposta do feijoeiro à adubação nitrogenada em todo o Brasil, embora sendo bem variáveis. Por ser um elemento afetado por uma dinâmica complexa e não deixar efeitos residuais diretos das adubações, o manejo da adubação nitrogenada é dos mais difíceis (Raij, 1991). O principal objetivo do uso racional do N é aumentar a eficiência na sua utilização, considerando os custos financeiros e energéticos, e os riscos ambientais envolvidos.

Segundo Malavolta (1979), deve-se aplicar N quando a cultura tem necessidade e quando possui raízes já bem desenvolvidas; outro cuidado é com o solo, que não deve estar demasiadamente seco e nem muito encharcado, pois o adubo nitrogenado se dissolve completamente na água, e se adubarmos uma planta que ainda não tem muitas raízes, com a primeira chuva que ocorrer o material será arrastado para baixo e se perderá nas águas de drenagem; porém se a aplicação for feita mais tarde, a planta já tendo raízes suficientes conseguirá aproveitar o nutriente arrastado pela chuva, evitando assim sua perda.

A aplicação de N deve ser feita com cuidado. A uréia exige atenção especial, pela possibilidade de perdas por volatilização. Segundo Fox et al. (1986), dentre as formas de aplicação de N, a de cobertura tem sido a mais eficiente (rendimento por unidade de N aplicado), pois, além de fornecimento do nutriente em época de maior exigência, a absorção do NH_3 pelas folhas inferiores das plantas pode reduzir as perdas por volatilização.

De acordo com Rosolem (1996), as condições de resposta ao N estão relacionadas com o solo do local de semeadura (cultura anterior, teor de matéria orgânica, textura do solo e irrigação). Cultivares e variações de clima também podem influenciar a resposta da cultura à aplicação do N (Chidi et al., 2002). Vários são os fatores que afetam a eficiência da adubação nitrogenada de cobertura, dentre as quais, três são consideradas importantes para o produtor: a fonte de N a ser utilizada, a quantidade e o método a ser empregado para sua aplicação. A fonte e a dose de N utilizada são de extrema importância do ponto de vista da maximização do sistema para obtenção do máximo retorno econômico.

2.3 REFERÊNCIAS

AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Matéria orgânica do solo, nitrogênio e enxofre nos diversos sistemas de exploração agrícola. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. e; VITTI, G. C. (Ed.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: INPI, 2007. p. 1-42.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS - ANDA. Principais indicadores do setor de fertilizantes. Disponível em: <<http://www.anda.org.br/estatisticas.aspx>>. Acesso em: 17 dez. 2011.

ANJOS, J. T., TEDESCO, M. J. Volatilização de amônia proveniente de dois fertilizantes nitrogenados aplicados em solos cultivados. **Científica**, Jaboticabal, v. 4, n. 1, p. 49-55, 1976.

BARBOSA FILHO, M. P.; SILVA, O. F. **Adubação de cobertura do feijoeiro irrigado com uréia fertilizante em plantio direto**: um ótimo negócio. Piracicaba: POTAFOS, 2001. p. 1-5. (Informações Agronômicas, n. 93)

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

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

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

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n. 1, p. 105-112, 1997.

BEYROUTY, C. A.; SOMMERS, L. E.; NELSON, D. W. Ammonia volatilization from surface-applied urea as affected by several phosphoroamide compounds. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 52, n. 4, p. 1173-1178, 1988.

BREMNER, J. M.; CHAY, H. S. Evaluation of N-butyl phosphorotic triamide for retardation of urea hydrolysis in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 35, p. 191-199, 1986.

BYRNES, B. H. Liquid fertilizers and nitrogen solutions. In: **International Fertilizer Development Center**, Fertilizer manual, Alabama: Kluwer Academic, 2000. p. 20-44.

CAMARGO, P. B. **Dinâmica do nitrogênio dos fertilizantes**: Uréia (^{15}N) e aquamônia (^{15}N) incorporados ao solo na cultura de cana-de-açúcar. 1989. 104 f. Dissertação (Mestrado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1989.

CANECHIO FILHO, V. **Cultura do feijão**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1987. 30 p.

CANTARELLA, H.; ROSSETO, R.; BARBOSA, W.; PENNA, M. J.; RESENDE, L. C. L. Perdas de nitrogênio por volatilização da amônia e resposta da cana-de-açúcar à adubação nitrogenada, em sistema de colheita de cana sem queima prévia. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB: álcool subprodutos, 7., 1999, Londrina. **Anais...** Londrina: Embrapa, 1999. p. 82-87.

CANTARELLA, H.; MARCELINO, R. **Fontes alternativas de nitrogênio para a cultura do milho**. In: ABDALLA, S. R. S. e; PROCHONOW, L. I.; FANCELLI, A. L. Simpósio discute como utilizar insumos e recursos para otimizar a produtividade do milho. Piracicaba: IPNI, 2008. p. 12-14. (Informações Agrônomicas, n. 122)

CERETTA, C. A. Manejo do nitrogênio e do enxofre em sistemas de exploração agrícola: plantio direto x plantio convencional. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. e; VITTI, G. C. (Ed.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: INPI, 2007. p. 651-667.

CHIDI, S. N.; SORATTO, R. P.; SILVA, T. R. B.; ARF, O.; SÁ, M. E.; BUZETTI, S. Nitrogênio via foliar e em cobertura em feijoeiro irrigado. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1391-1395, 2002.

CHRISTIANSON, C.B.; BYRNES, B.H.; CARMONA, G. A comparison of the sulfur and oxygen analogs of phosphoric triamide urease inhibitors in reducing urea hydrolysis and ammonia volatilization. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 26, n. 1, p. 21-27, 1990.

CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL (CIAT). **Morfología de la planta de frijol comum** (*Phaseolus vulgaris* L.). Cali, Colômbia, 1981. 50 p. (Guia de Estudo).

CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira:** grãos, primeiro levantamento, outubro 2011/Companhia Nacional de Abastecimento. Brasília: Conab, 2011. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_10_11_14_19_05_boletim_outubro-2011.pdf>. Acesso em: 24 novembro, 2011.

CONTIN, T. L. M. **Uréia tratada com o inibidor da urease NBPT na adubação de cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo**. 2007. 69 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, 2007.

CORSI, M. Adubação nitrogenada em pastagem. In: PEIXOTO, A. M.; MOURA, J. C.; FARIA, V. P. (Ed.). **Pastagens:** fundamentos da exploração racional. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1994. p. 121-155.

DIDONET, A. D. Fisiologia. In: MOREIRA, J. A. A.; STONE, L. F.; BIAVA, M. **Feijão: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. p. 22-27.

DIEST, V. A. Volatilización del amoníaco en los suelos anegados, y sus repercusiones en el rendimiento del arroz. In: Noticiarios de la comisión internacional del arroz, **FAO**, v. 37, p. 1-9, 1988.

FANCELLI, A. L.; TSUMANUMA, G. M. Nitrogênio e enxofre nas culturas de milho e feijão. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. e; VITTI, G. C. (Ed.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: INPI, 2007. p. 190-249.

FERREIRA, C. M.; DEL PELOSO, M. J.; FARIA, L. C. de. **Feijão na economia nacional**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. 47 p. (Documentos 135)

FOX, R. H., KERN, J. M., PIEKIELEN, W. P. Nitrogen fertilizer source and method and time of application effects on no-till corn yields and nitrogen uptake. **Agronomy Journal**, Madison, v. 78, n. 4, p. 741- 746, 1986.

FRANCO, J. A. M.; SARAIVA NETO, A. Produção de fertilizantes nitrogenados e suprimento de matéria-prima. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. e; VITTI, G. C. (Ed.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: INPI, 2007. p. 73-160.

FRENEY, J. R.; DEANMEAD, O. T.; WOOD, A. W.; SAFFIGNA, P. G.; CHAPMAN, L. S.; HAM, G. J.; HURNEY, A. P.; STEWART, R. L. Factors controlling ammonia loss from trash covered sugarcane fields fertilized with urea. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 31, n. 3, p. 341-349, 1992.

GEIL, P. B.; ANDERSON, J. W. Nutrition and health implications of dry beans: a review. **Journal of the American College of Nutrition**, Clearwater, v. 13, n. 6, p. 549-558, 1994.

HENDRICKSON, L.L. Corn yield response to the urease inhibitor NBPT: five year summary. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 5, n. 1, p. 131-137, 1992.

HOUGHTON, J. T.; MEIRA FILHO, L. G.; BRUCE, J.; LEE, H.; CALLANDER, B. A.; HAITES, E.; HARRIS, N.; MASKELL, K. (Ed.). **Radiative forcing of climate change and an evaluation of the IPCC IS92 emission scenarios**. Cambridge: Cambridge University Press, 1994. 339 p.

KOŁODZIEJ, A. F. The chemistry of nickel-containing enzymes. **Progress in Inorganic Chemistry**, New York, v. 41, p. 493-598, 1994.

LARA CABEZAS, W.A.R.; KORNDÖRFER, G.H.; MOTTA, S.A. Volatilização de N-NH₃ na cultura de milho: II. Avaliação de fontes sólidas e fluidas em sistema de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n. 3, p. 489-496, 1997.

LARA CABEZAS, W. A. R.; TRIVELIN, P. C. O.; KORNDORFER, G. H.; PEREIRA, S. Balanço da adubação nitrogenada sólida e fluida de cobertura na cultura do milho, em sistema plantio direto no triângulo mineiro (MG). **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 3, p. 363-376, 2000.

LIGHTNER, J. W.; MENGEL, D. B.; RHYKERD, C. L. Ammonia volatilization from nitrogen fertilizer surface applied to orchardgrass sod. **Soil Science of America Journal**. Madison, v. 54, n. 5, p. 1478-1482, 1990.

LOPES, A. S.; BASTOS, A. R. R.; DAHER, E. Fertilizantes nitrogenados no Brasil: um problema de escassez. In: PROCHONOW, L. I. **IPNI-Brasil: nova missão, novos tempos** Piracicaba, IPNI, 2007. p. 4-5. (Informações Agronômicas, 120)

MALAVOLTA, E. Adubos nitrogenados. In: **Abc da adubação**. 4. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. p. 26-39.

MALAVOLTA, E.; GOMES, F. P.; ALCARDE, J. C. **Adubos e Adubações**. São Paulo: Nobel, 2002. 200 p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MATTOS JUNIOR, D.; QUAGGIO, J. A.; CANTEARELLA, H.; BOARETTO, A. E. Nitrogênio e enxofre na cultura dos citros. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. e; VITTI, G. C. (Ed.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: INPI, 2007. p. 413-443.

MELO, W.J. **Matéria orgânica, nitrogênio e enxofre: curso de atualização em fertilidade do solo**. Jaboticabal: ANDA, 1978. 66 p.

MOBLEY, H.L.T.; HAUSINGER, R. P. Microbial ureases: Significant, regulation, and molecular characterization. **Microbiological Reviews**, Washington, v. 53, n. 1, p. 85-108, 1989.

OLIVEIRA, I. P.; ARAÚJO, R. S.; DUTRA, L. G. Nutrição mineral e fixação biológica de nitrogênio. In: ARAÚJO, R. S.; RAVA, C. A.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M. J. O. (Coords.). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafos, 1996. p. 182-184.

- PIRES, A. A.; LEITE, V. T.; ARAUJO, G. A. A. Influência de épocas e partição de Mo via foliar na absorção de Mo e N pelo feijoeiro. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 7, 2002, Viçosa-MG. **Resumos expandidos...** Viçosa: UFV, 2002. p. 677-680.
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres, Potafos, 1991. 343p.
- RIBEIRO, A. C. Como evitar a perda do nitrogênio de adubo por volatilização. **Boletim Informativo da SBCS**, Campinas, v. 21, n. 2, p. 43-446, 1996.
- RODRIGUES, M. B., KIEL, J. C. Distribuição e nitrificação da amônia proveniente da uréia aplicada ao solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v. 16, n. 3, p. 403-408, 1992.
- ROSOLEM, C. A **Nutrição e adubação do feijoeiro**. Piracicaba: Potafos, 1987. 93 p. (Circular Técnica, 8).
- ROSOLEM, C. A.; MARUBAYASHI, O. M. **Seja o doutor do seu feijoeiro**. Piracicaba: POTAFOS, 1994. p. 1-4. (Encarte do Informações Agronômicas, n. 68)
- ROSOLEM, C. A. Calagem e adubação mineral. In: ARAÚJO, R. S.; RAVA, C. A.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M. J. de O. (Coord.). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafos, 1996. p. 353-390.
- SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. **Plant physiology**. 4.ed. Belmont, Wadsworth Publishing Company, 1991. 682 p.
- SANGOI, L.; ERNANI, P. R.; LECH, V. A.; RAMPAZZO, C. Lixiviação de nitrogênio afetada pela forma de aplicação da uréia e manejo dos restos culturais de aveia em dois solos com texturas contrastantes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 1, p. 65- 70, 2003.
- SANTOS, A. R.; VALE, F. R.; SANTOS, J. A. G. Avaliação de parâmetros cinéticos da hidrólise da uréia em solos do sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v. 15, p. 309-313, 1991.
- SCHLEGEL, A. J.; NELSON, D. W.; SOMMERS, L. E. Field evaluation of urease inhibitors for corn production. **Agronomy Journal**, Madison, v. 78, n. 6, p. 1007-1012, 1986.
- SERRANA. Manejo do nitrogênio em alguns sistemas de produção. **Boletim Técnico Fertilizantes**, junho/2000. Disponível em <www.serrana.com.br>. Acesso em: 20 Junho, 2008.
- SHARMA, G. C. Controlled-release fertilizers and horticultural applications. **Scientia Horticulturae**, Alabama, v. 11, n. 2, p. 107-129, 1979.
- STEVENSON, F. J. **Cycles of soil carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients**. Wiley-Interscience, 1986. 380 p.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4a ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 820 p.

TRENKEL, M. E. **Controlled release and stabilized fertilizers in agriculture**. Paris: International Fertilizer Industry Association, 1997. 151 p.

TERMAN, G. L. Volatilization losses of nitrogen as ammonia from surface-applied fertilizers, organic amendments, and crop residues. **Advances in Agronomy**, Orlando, v. 31, n. 1, p. 189-223, 1980.

TRIVELIN, P. C. O.; LARA CABEZAS, W. A. R.; VICTORIA, R. L.; REICHARDT, K. Evaluation of a ¹⁵N plot design for estimating plant recovery of fertilizer of nitrogen applied to sugar cane. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.51, n. 2, p. 226-234, 1994.

VIEIRA, E. H. N. Produção e tecnologia. In: ZIMMERMANN, M. J. O., ROCHA, M.; YAMADA, T. **Cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa de Potassa e de Fosfato, 1988. 589 p.

VILHORDO, B. W.; MIKUSINSKI, O. M. F.; BURIN, M. E.; GANDOLFI, V. H. Morfologia. In: ARAÚJO, R. S.; RAVA, C. A.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M. J. de O. (Coord.). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafos, 1996. p. 71-99.

VITTI, G. C.; TAVARES JÚNIOR, J. E.; LUZ, P. H. C.; COSTA, M. C. G.; FAVARIN, J.L. Características físicas e químicas da mistura entre uréia e sulfato de amônio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 18, Londrina, 2001. **Anais...** Londrina, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2001. p. 312.

VITTI, G. C.; MAZZA, J. A.; QUINTINO, T. A.; OTTO, R. Nutrição e adubação. In: RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C.; CASAGRANDE, D. V.; IDE, B. Y. **Plantio da cana-de-açúcar: estado da arte**. Piracicaba: Esalq, 2006. p. 102-144.

VITTI, G. C.; HEIRINCHS, R. Formas tradicionais e alternativas de obtenção e utilização do nitrogênio e do enxofre: uma visão holística. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. e; VITTI, G. C. (Ed.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: INPI, 2007. p. 109-160.

WATSON, C.J. Urease activity and inhibition – Principles and practice. In: **The International Fertilizer Society Meeting**, London, The International Fertilizer Society, Proceedings, n. 454, 39 p., 2000.

WATSON, C. J.; POLAND, P.; ALLEN, M. B. D. The efficacy of repeated applications if the urease inhibitor N-(n-butyl) thiophosphoric triamide (nBTPT) for improve the efficiency of urea fertiliser utilization on temperate grassland. **Grass and Forage Science**, Oxford, v. 53, n. 2, p. 137-145, 1998.

YOKOYAMA, L. P.; DEL PELOSO, M. J.; DI STEFANO, J. G.; YOKOYAMA, M. **Nível de aceitabilidade da cultivar de feijão “Pérola”**: avaliação preliminar. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 20 p. (Documentos, 98).

3 VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA DE FONTES E DOSES DE NITROGÊNIO EM COBERTURA NO FEJOEIRO CULTIVADO NO INVERNO

RESUMO

O estudo teve o objetivo de avaliar o efeito de fontes e doses de nitrogênio (N), em cobertura, na volatilização de amônia (NH_3), na nutrição, desenvolvimento e produtividade do feijoeiro irrigado, cultivado no inverno, no Cerrado. O experimento foi conduzido na Embrapa Arroz e Feijão, em um Latossolo Vermelho distrófico, de textura argilosa. Utilizou-se o delineamento de blocos ao acaso, com três fontes nitrogenadas, uréia, uréia + NBPT e N liberação gradual, e quatro doses de N em cobertura 0; 50; 100 e 150 kg ha^{-1} , combinados em esquema fatorial 3 x 4, com quatro repetições. Foram avaliados a taxa diária de volatilização de N- NH_3 , volatilização acumulada de N- NH_3 , atividade da enzima urease, pH do solo, massa de matéria seca da parte aérea (MSPA), índice de área foliar, teor de N total nas folhas, N acumulado na parte aérea, índice relativo de clorofila, estande final, componentes de produção e rendimento de grãos do feijoeiro. A utilização de uréia na dose de 150 kg ha^{-1} de N proporcionou maior volatilização de N- NH_3 , assim como a utilização desta resultou em um maior índice relativo de clorofila nas folhas do feijoeiro. A dose de 150 kg ha^{-1} de N proporcionou uma redução do pH em 0,7 unidades no 14º dia após adubação em cobertura. A atividade máxima da enzima urease ocorreu no quarto dia após adubação em cobertura, enquanto a máxima volatilização de N- NH_3 ocorre no 11º dia após adubação em cobertura, não havendo correlação entre atividade de urease e volatilização de N- NH_3 . A produtividade máxima estimada, de 2.876 kg ha^{-1} , foi obtida com a dose de 133 kg ha^{-1} de N. O teor de N total nas folhas, o acúmulo de N na parte aérea, a MSPA, o índice de área foliar e o índice relativo de clorofila no feijoeiro correlacionaram-se positivamente com a produtividade. As fontes N de liberação gradual, assim como a uréia com inibidor de urease não proporcionaram aumentos no rendimento de grãos, em comparação com a uréia comum.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L., inibidor de urease, perdas de N, SPAD.

ABSTRACT

VOLATILIZATION OF AMMONIA FROM DIFFERENT NITROGEN SOURCES AND DOSES BROADCAST AS TROPDRESSING IN IRRIGATED COMMON BEANS

The study aimed to evaluate the effect of sources and rates of nitrogen (N) topdressing, the ammonia (NH_3) volatilization, nutrition, development and productivity of common beans crop irrigated, grown in the winter, in the Cerrado. The experiment was conducted at Embrapa Arroz e Feijão, in Santo Antônio de Goiás, Goiás State, using a dystrophic Dark Red Latosol, of clay texture. We used a randomized block design, with three sources of nitrogen fertilizer, urea, urea + NBPT and gradual release N fertilizer, and four rates of nitrogen in 0; 50; 100 and 150 kg ha^{-1} , combined in a regimen 3 x 4 factorial, with four replications. We evaluated the daily rate of N- NH_3 volatilization, accumulated N- NH_3 volatilization, urease enzyme activity, soil pH, dry mass weight (MSPA), leaf area index, leaf N content, N accumulated uptake, relative chlorophyll index, final stand, yield components and grain yield of common beans. The use of urea at 150 kg ha^{-1} of N caused higher N- NH_3 volatilization, as well as, the use of this resulted in a greater relative chlorophyll content in leaves of common beans. The dose of 150 kg ha^{-1} of N provided an decrease in 0,7 pH units 14 days after topdressing. The maximum activity of the enzyme urease occurred on the fourth day after topdressing, while, the highest N- NH_3 volatilization occurs on the 11th day after topdressing, no correlation between urease activity and N- NH_3 volatilization. The estimated maximum yield of 2.876 kg ha^{-1} was obtained with a dose of 133 kg N ha^{-1} . The leaf N content, the accumulation of N in the shoot, the dry mass weight, leaf area index and relative chlorophyll content in common beans correlated positively with their productivity. The gradual release N fertilizer and urea with urease inhibitor does not provide increases in common beans yield.

Key words: *Phaseolus vulgaris* L., urease inhibitor, N losses, SPAD

3.1 INTRODUÇÃO

Os sistemas agrícolas dependem de insumos nitrogenados, inorgânicos ou orgânicos, para sustentar a produtividade das culturas. No entanto, o nitrogênio (N) é um elemento altamente móvel e dinâmico, o que faz do seu uso e gestão eficiente uma tarefa desafiadora, já que podem ocorrer significativas perdas deste nutriente por vários processos como volatilização, lixiviação e desnitrificação no sistema solo-planta (Soratto et al., 2005; Silva et al., 2006). Estas perdas de N nas atividades agrícolas além de refletirem em perdas econômicas ao agricultor, representam séria ameaça à qualidade ambiental em todo o mundo (Boyer et al., 2002).

O N é o nutriente absorvido em maior quantidade pelo feijoeiro, tendo influência positiva e significativa na produtividade. Como fonte nitrogenada, a uréia, $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, é o fertilizante mais usado em todo o mundo, por suas vantagens comparativas em termos de facilidade de fabricação e custo final para o agricultor. No entanto, do ponto de vista agrônomo, a uréia apresenta uma séria limitação nas aplicações em superfície do solo, em razão das chances de perdas por volatilização de amônia (N- NH_3), que pode

alcançar patamares de até 78% do N aplicado (Lara Cabeza et al., 1997b). Para maior eficiência dos fertilizantes nitrogenados, estão disponíveis no mercado novos produtos que podem minimizar o potencial de perda para o meio ambiente (Hall, 2005), são os chamados fertilizantes com maior eficiência (*enhanced-efficiency fertilizers*). Segundo Cantarella & Marcelino (2008), estes podem ser classificados em: fertilizantes de liberação lenta (com baixa solubilidade em relação a uma fonte solúvel de referência), e em fertilizantes estabilizados (que contêm aditivos para aumentar o tempo de disponibilidade no solo).

Ultimamente, a atenção esteve centrada no inibidor de urease, NBPT (N – (n-butil) tiofosfórico triamida), mais amplamente testado em outros países. No entanto, no Brasil as pesquisas com este produto ainda são incipientes. De acordo com Cantarella et al. (2008), os quais utilizando NBPT adicionado à uréia aplicada em cana colhida sem despalha a fogo, mostraram que o inibidor reduziu pela metade as perdas de N-NH₃ por volatilização, contudo, não houve diferença significativa entre o rendimento de colmos obtidos com uréia e uréia tratada com NBPT. Também, Cunha et al. (2008) concluíram que a aplicação de uréia aditivada com NBPT em cobertura no feijoeiro não foi capaz de promover aumentos significativos de produtividade quando comparada com a uréia comum, 3.102 kg ha⁻¹ e 2.962 kg ha⁻¹, respectivamente. De acordo com Watson et al. (1998), os benefícios da mistura uréia + NBPT são dependentes das mesmas variáveis que controlam a volatilização de N-NH₃ e ainda não se pode assumir que a redução das perdas de N-NH₃ será convertida em aumento de produção de culturas. Em trabalho mais recente, Pereira et al. (2009) relataram que os tratamentos com uréia revestida e uréia com inibidor de urease reduziram a volatilização de N em torno de 50% em relação à uréia comum, refletindo em maiores produtividades do milho cultivado em safrinha.

A quantidade de N a ser fornecida ao feijoeiro comum é definida, principalmente, em razão do rendimento almejado, da quantidade relativa de N fornecida pelo solo (histórico da área), da taxa de fixação biológica de nitrogênio (FBN) e da eficiência de utilização de N proveniente do fertilizante. Normalmente, para produtividades variando de 2.000 a 3.600 kg ha⁻¹, as quantidades totais de N variam entre 40 e 100 kg ha⁻¹ (Fancelli & Tsumanuma, 2007).

Valderrama et al. (2009), testando quatro doses de N, com dose máxima de 120 kg ha⁻¹, em cobertura no feijoeiro cv. Pérola verificaram resposta linear destas, tanto no teor de N foliar, como na produtividade. Crusciol et al. (2007), testando duas fontes

nitrogenadas (uréia e nitrocálcio) e quatro doses de N (0, 30, 60 e 120 kg ha⁻¹) em cobertura, no feijoeiro em sistema plantio direto, observaram que com utilização de nitrocálcio houve um aumento linear na produtividade de grãos. Todavia, utilizando uréia obteve-se máxima produtividade estimada com uso de 108,6 kg ha⁻¹ de N.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos de diferentes fontes e doses de N, aplicados em cobertura, na nutrição, desenvolvimento e produtividade do feijoeiro irrigado, bem como quantificar as perdas de N por volatilização de amônia das fontes nitrogenadas utilizadas em condições de Cerrado.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Caracterização da área

O experimento foi instalado na área experimental da Fazenda Capivara, pertencente a Embrapa Arroz e Feijão, no município de Santo Antônio de Goiás, GO, cujas coordenadas geográficas são: latitude 16°29'17"S e longitude 49°17'57"W, e altitude de 823 metros. Segundo a classificação de Köppen & Geiger (1928), o clima é do tipo Aw, tropical de savana, megatérmico, com temperatura média anual do ar de 22,6°C, com médias mínimas e máximas de 14,1°C e 31,3°C, respectivamente. A perda média anual por evaporação, medida pelo tanque classe "A", é da ordem de 1938 mm (Silva et al., 2004). Os dados de irrigação (mm), precipitação pluvial (mm), temperatura média (°C) e umidade relativa do ar (%) no período de junho a setembro de 2009 (condução do ensaio), encontram-se na Figura 3.1.

O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico (Embrapa, 2006), de textura argilosa (554 g kg⁻¹ de argila, 111 g kg⁻¹ de silte e 335 g kg⁻¹ de areia). A análise química do solo, anterior à instalação do experimento, apresentou os seguintes resultados analíticos: pH (H₂O): 5,53; Ca: 1,1 cmol_c dm⁻³; Mg: 0,46 cmol_c dm⁻³; P: 20,88 mg dm⁻³; K: 113,60 mg dm⁻³ e matéria orgânica: 20 g dm⁻³.

Na área experimental cultivou-se durante três anos (2006, 2007 e 2008) milho híbrido Ag 7000, no verão, e feijão, cultivar BRS Supremo (grupo preto), irrigado no inverno. Na safra anterior à implantação do experimento, em dezembro de 2008 (safra 2008/09), cultivou-se milho.

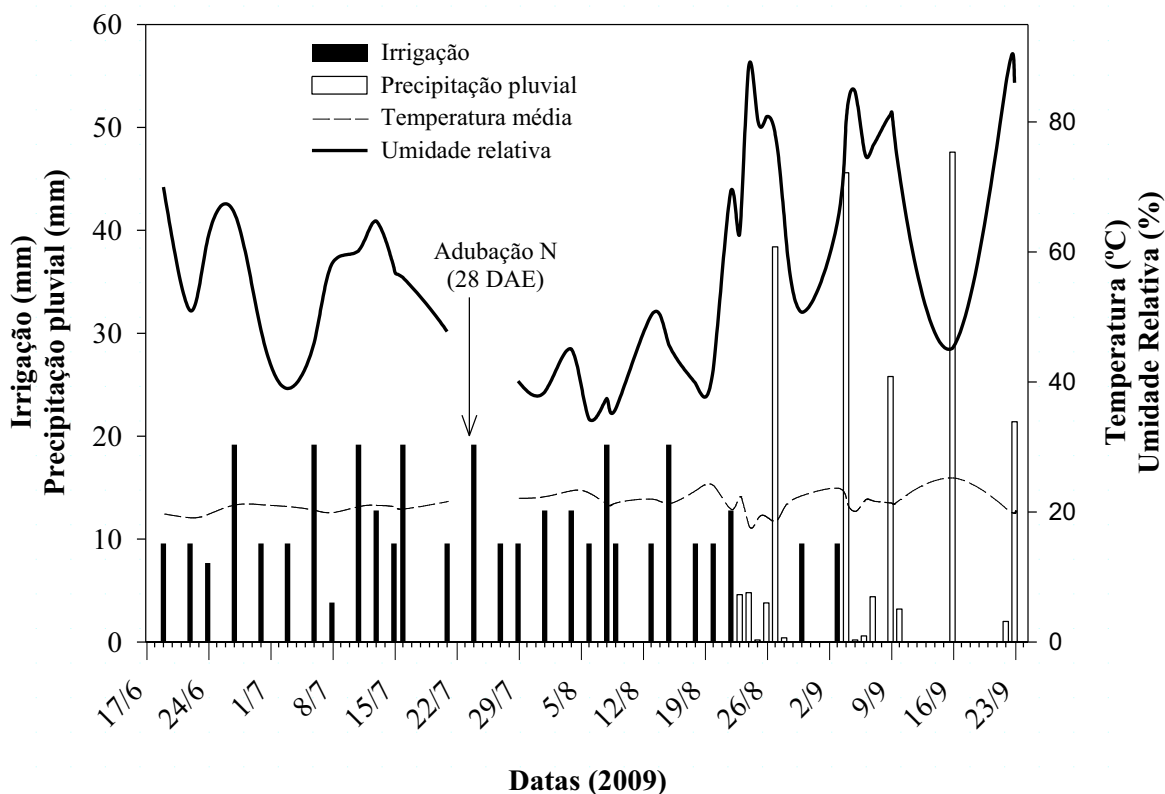


Figura 3.1. Irrigação (mm), precipitação pluvial (mm), temperatura média (°C) e umidade relativa média (%) durante a condução do experimento. Santo Antônio de Goiás, GO, 2009

3.2.2 Implantação e condução do experimento

Utilizou-se o delineamento experimental de blocos completos ao acaso, em esquema fatorial 4 x 3, sendo os tratamentos constituídos da aplicação de quatro doses de N, 0; 50; 100 e 150 kg ha⁻¹, utilizando-se três fontes de N, uréia, uréia + NBPT e N liberação gradual, aplicadas em cobertura à lanço, com quatro repetições. Cada parcela experimental foi formada por cinco linhas de feijão, espaçadas em 0,45 m e com 6 m de comprimento, perfazendo área total de 13,5 m², considerando-se como úteis as três linhas centrais, desprezando-se 0,5 m de cada extremidade das linhas.

Antes da semeadura, as sementes de feijão foram tratadas com carboxina + tiram e tiametoxam (75 g + 75 g e 140 g i.a., respectivamente, em 100 kg de sementes). A semeadura do feijoeiro foi realizada no dia 19 de junho de 2009, sobre uma área preparada em cultivo convencional. Utilizou-se a cultivar Pérola, que são plantas do tipo III e com

grãos tipo carioca, semeada mecanicamente distribuindo-se de 10 a 12 sementes por metro. A adubação de semeadura foi de 400 kg ha⁻¹ da fórmula 5-30-15 (N, P₂O₅, K₂O).

A cobertura nitrogenada foi realizada aos 28 dias após a emergência, em 24 de julho, quando as plantas do feijoeiro apresentavam o terceiro trifólio completamente expandido (estádio fenológico V4). Os fertilizantes foram aplicados sobre a superfície, sem incorporação, manualmente, a lança em toda a área da parcela. Imediatamente após esta aplicação foram instaladas as câmaras estáticas semi-abertas para medir o N volatilizado. No mesmo dia da adubação foi aplicada uma lâmina de irrigação de 19 mm de água em toda a área experimental, para minimizar as perdas de volatilização de N-NH₃.

A uréia com inibidor da urease (Super N[®]; Figura 3.2B) é obtida adicionando à uréia o NBPT (N-triamida (n-butil) tiofosfórico). O NBPT ocupa o sítio ativo da urease, controlando a hidrólise por um período de 3 a 14 dias, dependendo das condições de temperatura, umidade e características do solo (Cantarella, 2007). Como fonte de N de liberação gradual foi utilizado o produto comercial Sulfammo[®] (26-00-00 + cálcio 5%, enxofre 9%, magnésio 2% e boro 0,3%) que é um fertilizante fornecedor de N nas formas amídica e amoniacal, associado ao carbonato de cálcio marinho (Figura 3.2A). Pressupõem que o carbonato de cálcio marinho, resvestindo as moléculas de N, diminui a dissolução do N. Durante a adubação de cobertura foram adicionadas nas fontes uréia e uréia + NBPT os nutrientes contidos na formulação do Sulfammo[®], utilizando as fontes sulfato de cálcio, sulfato de magnésio e bórax.

O manejo de irrigação foi realizado com base nos dados de retenção de água do solo, evaporação do tanque “Classe A” e os coeficientes da cultura (Kc) nos diferentes estádios fenológicos do feijoeiro (Silveira et al., 2001). A irrigação foi feita por aspersão, com uso de pivô central. Durante o desenvolvimento da cultura foram fornecidos 319,5 mm de água via irrigação e 138,8 mm via precipitação pluvial. O controle de plantas daninhas em pós-emergência foi realizado com a aplicação do herbicida fluazifope-p-butil + fomesafen (150 g + 180 g ha⁻¹ do i.a.). No controle das principais pragas e doenças da cultura foram aplicados 0,038 kg ha⁻¹ do i.a. do inseticida tiametoxam + 0,75 kg ha⁻¹ do i.a. do inseticida e fungicida cloridrato de cartape, e o fungicida mancozeb na dose de 1,2 kg ha⁻¹ do i.a..



Figura 3.2. Fertilizante nitrogenado de liberação gradual (A) e uréia + NBPT (B). Santo Antônio de Goiás, GO, 2009

3.2.3 Volatilização de amônia

As perdas de N por volatilização de N-NH_3 foram quantificadas por meio de um sistema semi-aberto estático, adaptado por Araújo et al. (2009). Constam de câmaras confeccionadas a partir de frascos de plástico transparente de politereftalato de etileno (PET) com capacidade para dois litros, e área de $0,008 \text{ m}^2$ (Figura 3.3). O interior da câmara apresentava livre circulação de ar, possuindo ainda uma lâmina de espuma de polietileno com 0,3 cm de espessura, 2,5 cm de largura e 25 cm de comprimento, pendurada verticalmente, com a extremidade inferior inserida em frasco com 40 mL de solução ácida, que mantinha a espuma saturada. A solução ácida foi composta de ácido sulfúrico ($1,5 \text{ mol L}^{-1}$) e glicerina (4%), acondicionada ao frasco com capacidade de 80 mL.

As câmaras coletoras foram instaladas nas linhas de semeadura do feijão logo após a aplicação do N em cobertura, sendo uma câmara por parcela. As quantificações de volatilização de N-NH_3 foram efetuadas aos 2, 4, 7, 11, 14 e 18 dias após adubação nitrogenada de cobertura (DAC).

Para a quantificação de N-NH_3 (mg), a “solução captura” foi preparada em laboratório com adição de 30 mL de água destilada para lavagem da lâmina de espuma e levada ao agitador horizontal à 220 RPM por 15 minutos. Desta solução retirou-se duas

alíquotas de 20 mL, que foram analisadas por destilação por arraste de vapor e, posterior titulação com ácido sulfúrico (H_2SO_4) à $0,0025 \text{ mol L}^{-1}$.



Figura 3.3. Câmara coletora de N amoniacal (N-NH_3) volatilizado do solo após adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro. Santo Antônio de Goiás, GO, 2009

O N amoniacal volatilizado foi calculado com os valores dos volumes de ácido sulfúrico gasto na titulação, dos ensaios em branco e das amostras, utilizando a seguinte equação:

$$\text{N-NH}_3 \text{ (mg)} = (V_a - V_b) * N_{ac} * PM_N * (V_1/V_2)$$

Em que, V_a = volume de ácido gasto na titulação da amostra; V_b = volume de ácido gasto na titulação do branco, N_{ac} = normalidade do ácido, PM_N = peso molecular do nitrogênio, V_1 = volume total de solução e V_2 = alíquota utilizada na destilação. Posteriormente, os resultados foram corrigidos de acordo com o fator de correção de 1,74 para estimar a real taxa de volatilização de N-NH_3 do solo proposto por Araújo et al. (2009). A volatilização acumulada de N-NH_3 foi estimada em kg ha^{-1} , utilizando a seguinte equação:

$$\text{N-NH}_3 \text{ (kg ha}^{-1}\text{)} = [(N_{\text{acumulado(mg)}} * 10.000)/0,008]/1.000.000 * 1,74$$

3.2.4 Atividade de urease e pH do solo

Para análise da atividade de urease realizaram-se amostragens um dia antes da adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro, e aos 2, 4, 7, 11 e 14 dias após. Para amostragem coletou-se o solo a 10 cm de profundidade, sendo seis amostras coletadas na entrelinha de plantio e três na linha de plantio (2:1), por parcela. O solo foi colocado em sacos plásticos e encaminhado ao laboratório de Biologia do Solo da Embrapa Arroz e Feijão, onde permaneceu armazenado à 4° C até a realização da análise.

A atividade de urease foi determinada segundo metodologia descrita por Kandeler & Geber (1988), com modificações. Amostras compostas de solo fresco (5g) foram misturadas com 20 mL de solução de tampão borato a 75 mmol L⁻¹ de concentração em pH 10 e 2,5 mL de solução de uréia a concentração de 80 mmol L⁻¹. Incubaram-se as amostras a 37 °C, sob agitação (200 rpm), durante duas horas. Em seguida, a reação foi interrompida com adição de 30 mL de solução 1 mol L⁻¹ de cloreto de potássio acidificada (0,01 mol L⁻¹ HCl), com agitação por 30 minutos. Aliquotas de 1,4 mL foram transferidas para microtubos e centrifugadas a 14.000 rpm, por 10 minutos. Após esse tempo, 1 mL do sobrenadante foi retirado e misturado com 9 mL de água destilada, 5 mL de solução básica de salicilato/nitroprussiato de sódio e 2 mL de solução 0,1% de ácido dicloroisocianúrico. Depois de 1 hora em repouso, em temperatura ambiente, foram medidas a intensidade da cor da solução (formação de um complexo de coloração verde), a 690 nm, em espectrofotômetro UV/Vis.

Foram feitos, simultaneamente, controles negativos para verificar a formação de um complexo colorido, derivado da formação de amônia produzida por outras vias enzimáticas e não enzimáticas. O procedimento foi o mesmo realizado para as amostras, exceto com relação à adição de uréia, que foi adicionada somente no final da incubação após a adição de solução 1 mol L⁻¹ KCl/HCl.

Para obter a curva de calibração, pesaram-se 0,0382 g de NH₄Cl, posteriormente, dissolvidos em 1000 µg de água deionizada para a solução padrão estoque. O conteúdo de N-NH₄⁺ do filtrado foi calculado pela referência ao gráfico de calibração plotado a partir dos resultados obtidos com as soluções padrão diluídas, contendo 0,5; 1,0; 2,0; 3,0 e 4,0 µg de N-NH₄⁺ mL⁻¹. Em todos os tratamentos as determinações foram feitas em triplicata, com atividade de urease expressa em mg de N-NH₄⁺ kg⁻¹ de solo 2 h⁻¹.

Aos 14 dias após a cobertura nitrogenada foram coletadas amostras de solo na camada de 0 a 10 cm de profundidade para determinação do pH em água.

3.2.5 Índice de área foliar e massa de matéria seca da parte aérea

A amostragem de plantas para a análise do índice de área foliar e da massa de matéria seca da parte aérea (MSPA) foi realizada aos 25, 32, 40, 47, 55, 68 e 82 dias após emergência (DAE), coletando três plantas por parcela. Estas plantas foram coletadas fora da área útil para produtividade e evitando-se a bordadura.

As plantas de feijoeiro foram cortadas rente ao solo, colocadas em sacos plásticos e encaminhadas ao Laboratório de Agrofisiologia da Embrapa Arroz e Feijão, onde foram separados o limbo foliar e pecíolos + hastes. Os limbos foliares foram submetidos ao leitor de área foliar modelo LI-3000 Area Meter, cuja leitura é dada em cm^2 . Após a leitura, todas as estruturas vegetais foram submetidas à secagem em estufa a $65\text{ }^\circ\text{C}$, até massa constante, para determinação da MSPA.

A partir dos dados de área foliar em cm^2 e com o número de plantas por m^2 , calculou-se o índice de área foliar (IAF, m^2 de folha m^{-2} de terreno).

3.2.6 Índice relativo de clorofila e teor de N total nas folhas do feijoeiro

O índice relativo de clorofila (IRC) no feijoeiro foi monitorado com leituras utilizando clorofilômetro, modelo Minolta SPAD-502 (Soil Plant Analysis Development) (Figura 3.4). O clorofilômetro mede a diferença de atenuação da luz entre 650 e 940 nm como um índice de intensidade de cor ou de concentração de clorofila (Yadava, 1986). O comprimento de onda de 650 nm situa-se próximo aos comprimentos primários de onda associadas com atividade da clorofila (645 e 663 nm). O comprimento de onda 940 nm serve como referência interna para compensar diferenças na espessura da folha e no teor de água. Segundo Silveira et al. (2003), o clorofilômetro é um instrumento eficiente na indicação da necessidade de adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro.

Foram efetuadas leituras aos 20, 30, 41, 48 e 60 dias após emergência (DAE). Em cada parcela experimental foi obtido o IRC (leituras SPAD) em plantas escolhidas aleatoriamente, nas quatro linhas centrais, num total de vinte. Avaliaram-se a terceira folha

do feijoeiro completamente expandida a partir do ápice da planta. A leitura foi realizada no terço médio da folha, sem considerar a nervura central e as margens.



Figura 3.4. Leitura do índice relativo de clorofila na folha do feijoeiro com o aparelho Minolta SPAD-502®. Santo Antônio de Goiás, GO, 2009

Para análise do teor de N total nas folhas do feijoeiro (g kg^{-1}) foram coletadas, ao acaso, três plantas no estágio de pleno florescimento, aos 47 dias após emergência. As folhas foram separadas, lavadas em água deionizada, e secas em estufa a 65°C , até massa constante; depois estas foram pesadas e moídas para posterior determinação do N total por digestão-destilação pelo método Kjeldahl. Com esses resultados, foi estimado o N total acumulado (kg ha^{-1}) na parte aérea do feijoeiro.

3.2.7 Rendimento do feijoeiro

A colheita foi realizada aos 89 dias após emergência. Foram realizadas as seguintes avaliações: número de vagens por planta, número de grãos por vagens e massa de 100 grãos (13% base úmida) de três plantas de feijão coletadas por parcela, ao acaso, dentro da área útil, e a produtividade de grãos, obtida com a colheita de seis metros em

cada parcela. A trilhagem foi realizada manualmente. Os grãos obtidos foram pesados, e os dados transformados para kg ha^{-1} (13% base úmida).

3.2.8 Análise estatística

Os dados foram submetidos às análises de variância e de regressão, com uso dos programas Sisvar (Ferreira, 2008) e SigmaPlot, respectivamente. Os modelos de regressão foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão, testados pelo teste t a 1 e 5 % de probabilidade, e também de acordo com os coeficientes de determinação e a resposta biológica das características em estudo. Para as variáveis de interesse os coeficientes de correlação linear de Pearson foram obtidos com o programa SAS (SAS Institute, 2000). Os dados de volatilização foram transformados em raiz quadrada de $x+0,5$.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Volatilização de amônia, atividade de urease e pH do solo

A taxa diária de volatilização de N-NH_3 foi influenciada pela interação das doses e fontes de N ($p < 0,01$). As fontes nitrogenadas influenciaram diferentemente na taxa diária de volatilização de N-NH_3 nas doses de 100 e 150 kg ha^{-1} de N. Na dose de 100 kg ha^{-1} a fonte N de liberação gradual e uréia proporcionou maior taxa maior taxa diária de volatilização quando comparada com uréia + NBPT. No entanto, utilizando a dose de 150 kg ha^{-1} de N a uréia proporcionou maior taxa diária de volatilização e a uréia + NBPT menor (Tabela 3.1; Figura 3.5).

Com o aumento das doses de N houve um aumento crescente na taxa de volatilização, em que as fontes uréia +NBPT e N de liberação gradual se ajustaram linearmente em razão das doses (Figura 3.5). Para a fonte uréia a equação que melhor se ajustou foi a exponencial, havendo um elevado aumento da taxa de volatilização entre as doses de 100 e 150 kg ha^{-1} de N. Estes resultados corroboram com os apresentados por Barth (2009) que observou um aumento proporcionalmente maior das perdas de N ao aumento da dose das fontes amídicas, verificou que nas doses de N de 100 e 150 kg ha^{-1} as

perdas foram maiores que o dobro ou o triplo que na dose menor de 50 kg ha^{-1} . Santos et al. (1991) observaram um aumento na velocidade de hidrólise da uréia com o aumento na quantidade aplicada de N, porém não proporcional. Esta desproporcionalidade verificada entre perda de amônia e dose de N, com utilização da uréia, talvez se deva à influência do fenômeno de retenção de NH_4^+ no solo; como a capacidade de retenção do solo é limitada, nas doses de N baixas a porcentagem retida de NH_4^+ é elevada, diminuindo à medida que a doses se eleva, resultado semelhante aos de Santos et al. (1991) que observaram um aumento na velocidade de hidrólise da uréia com o aumento na quantidade aplicada de N, porém não proporcional.

Tabela 3.1. Taxa diária de volatilização de amônia ($\text{kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$), no período de 2 a 18 dias após adubação de cobertura, em função das fontes e doses de N. Santo Antônio de Goiás, GO, 2009

Tratamentos	Doses N (kg ha^{-1}) ⁽¹⁾			
	0	50	100	150
Fontes				
Uréia	0,212 a	0,317 a	0,528 ab	1,952 a
Uréia + NBPT	0,299 a	0,314 a	0,319 b	0,350 c
N liberação gradual	0,256 a	0,478 a	0,681 a	0,746 b
DMS		0,610		
C.V. (%)		23,07		

Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). ⁽¹⁾ Dados originais.

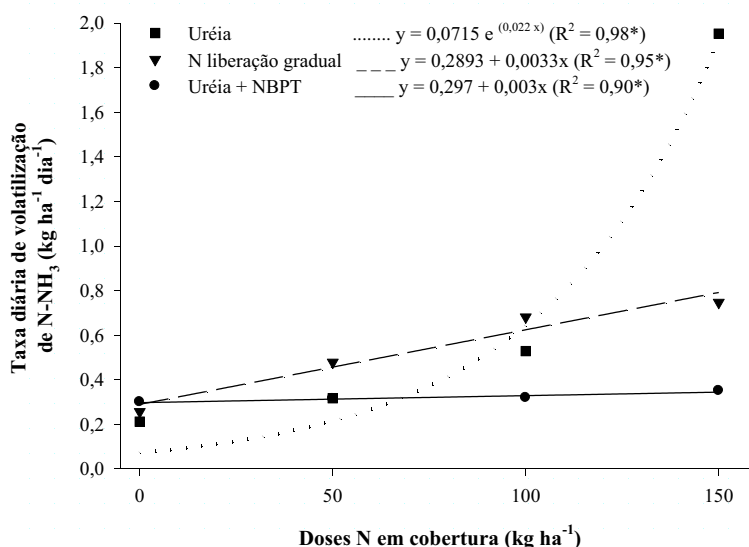


Figura 3.5. Taxa diária de volatilização de N-NH_3 do solo cultivado com feijoeiro em razão da interação fontes nitrogenadas e doses de N utilizadas em cobertura. Santo Antônio de Goiás, 2009

Entre as épocas de avaliação houve diferença na taxa diária de volatilização de N-NH₃, entretanto, não houve interação significativa entre épocas de avaliação e fontes nitrogenadas, e, épocas de avaliação e doses de N.

Observa-se (Figura 3.6) que houve um aumento na taxa diária de volatilização de N-NH₃ a partir do segundo dia após a cobertura nitrogenada e que a taxa diária máxima de emissão de N-NH₃ (1,129 kg N-NH₃ ha⁻¹) ocorreu no décimo primeiro dia após aplicação do N em cobertura. Estes resultados diferem daqueles encontrados por vários autores, em que as maiores perdas de amônia ocorre nos primeiros dias após a aplicação do fertilizante nitrogenado (Thompson et al., 1990; Sommer et al., 1997). Segundo Cantarella (2007) a taxa diária máxima de emissão de N-NH₃, geralmente, ocorre entre dois a quatro dias após a aplicação da uréia havendo condições adequadas de umidade e temperatura. Entretanto, Zavaschi (2010) obteve maiores picos de volatilização de N-NH₃ no décimo quinto dia após a aplicação do fertilizante nitrogenado; segundo o autor antes e após a aplicação da cobertura nitrogenada o solo permaneceu seco até a ocorrência de duas precipitações de 12 mm, aos 12 e 13 dias após aplicação da cobertura nitrogenada, que foram suficientes para elevar a umidade do solo, consequentemente, favorecer a hidrólise da uréia, no entanto não foram suficientes para incorporar o fertilizante. Contudo, a influência das condições climáticas na perda de N por volatilização, já foram observados por outros autores, por exemplo, Primavesi et al. (2001) observaram que as perdas de N por volatilização da uréia variaram entre 1,1% a 52,9% dependendo da dose de uréia aplicada e das condições climáticas (temperatura e umidade) em cada período de avaliação. Alves (2006) verificou em seu experimento que a temperatura e a precipitação pluvial geralmente são os fatores climáticos de maior importância no processo de perdas, porém a velocidade do vento também tem influência nesses processos (Harper & Sharpe, 1995; Martha Júnior, 2003).

Neste trabalho, logo após a cobertura nitrogenada, foi aplicada uma lâmina de irrigação de 19 mm de água, o que pode ter favorecido a incorporação do fertilizante, e até o décimo primeiro dia haviam sido realizadas outras quatro irrigações com aplicação de aproximadamente 12 mm de água cada. Outra observação é quanto à diminuição da umidade relativa do ar próxima a época de maior taxa diária de volatilização (Figura 3.1), esse fato pode ter contribuído à ocorrência do pico em decorrência da evaporação da água do solo, consequentemente, arrastando consigo a N-NH₃ (Rawlax et al., 2001). De acordo

com os resultados, provavelmente, após o décimo quarto dia, todo o N amoniacal proveniente do fertilizante já teria sido volatilizado (Figura 3.6).

Além da influência das condições climáticas, deve-se destacar também a utilização das fontes sulfato de cálcio, sulfato de magnésio e bórax para complementar os nutrientes contidos na fonte N de liberação gradual, que podem ter interferido na época em que ocorreu a taxa diária máxima de volatilização N-NH_3 . Há relatos na literatura sobre a influência de que a utilização de misturas de outros minerais (S, Ca, K, Mg) com uréia tenha proporcionado redução nas perdas de N-NH_3 por volatilização (Fenn & Richards, 1986; Sengik & Kiehl, 1995). Entretanto, a efetividade dessa prática no aumento da eficiência do uso de N da uréia não é consistente (Oliveira, 2001; Vitti et al., 2001, Francisco, 2008).

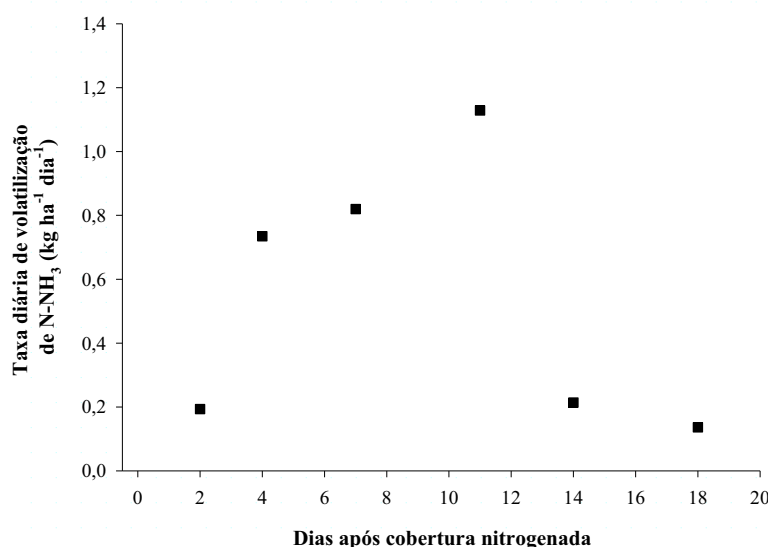


Figura 3.6. Taxa diária de volatilização de N-NH_3 do solo cultivado com feijoeiro em razão das épocas de avaliação. Santo Antônio de Goiás, 2009

As fontes e doses de N, assim como suas interações influenciaram significativamente a volatilização acumulada de N-NH_3 ($p < 0,01$). Na Tabela 3.2 e Figura 3.7 observa-se que houve diferença significativa entre as fontes nitrogenadas na dose de 150 kg ha^{-1} de N, em que, a utilização de uréia proporcionou uma volatilização de N-NH_3 , de $36,78 \text{ kg ha}^{-1}$. As fontes N liberação gradual e uréia + NBPT não diferiram entre si na dosagem de 150 kg ha^{-1} de N, com um total de volatilização de $14,27$ e $6,77 \text{ kg ha}^{-1}$ de N-NH_3 , respectivamente.

O aumento crescente das doses de N em cobertura resultou em um aumento linear na volatilização acumulada de N-NH₃, para as fontes N liberação gradual e uréia + NBPT. A equação de regressão que melhor se ajustou para liberação de N-NH₃ utilizando como fonte a uréia foi a exponencial (Figura 3.7). Seguindo o mesmo comportamento observado nas taxas diárias de volatilização de N-NH₃ (Figura 3.5).

Tabela 3.2. Volatilização acumulada de amônia (N-NH₃ kg ha⁻¹), até aos 18 dias após adubação nitrogenada de cobertura, do solo cultivado com feijoeiro adubado em cobertura com três fontes e quatro doses de N. Santo Antônio de Goiás, GO, 2009

Tratamentos	Doses N (kg ha ⁻¹) ⁽¹⁾			
	0	50	100	150
Fontes				
Uréia	3,973 a	6,422 a	10,059 a	36,785 a
Uréia + NBPT	5,510 a	5,963 a	6,169 a	6,770 b
N liberação gradual	5,198 a	8,870 a	12,529 a	14,272 b
DMS		10,348		
C.V. (%)		24,77		

Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05). ⁽¹⁾ Dados originais.

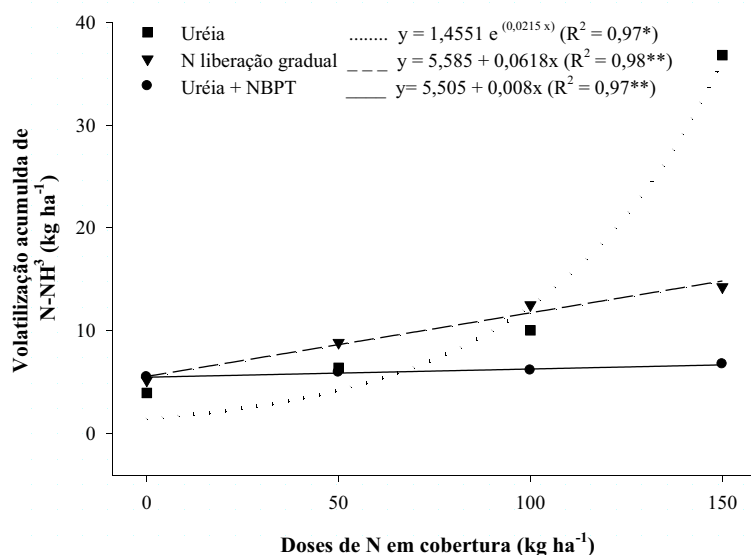


Figura 3.7. Volatilização acumulada de amônia até aos 18 dias após adubação de cobertura em razão das fontes e doses de N aplicado em cobertura no feijoeiro. Santo Antônio de Goiás, GO, 2009

É interessante destacar que nas parcelas testemunha, sem aplicação de N, houve uma volatilização média acumulada de N-NH₃ de 4,894 kg ha⁻¹ aos 18 dias após

adubação de cobertura (Tabela 3.2), isto ocorre em razão da mineralização de resíduos vegetais, em que o N-orgânico é convertido em N-NH₃, e esta fica propensa à volatilização ou se equilibra no solo com água formando NH₄⁺, que é absorvido ou sofre nitrificação (Moreira & Siqueira, 2006).

Na Tabela 3.3 estão apresentadas as porcentagens de perdas de N-NH₃ por volatilização do total aplicado, descontando-se a quantidade volatilizada nas parcelas não tratadas com N, tomando-se como base a quantidade de amônia produzida, provavelmente, pela decomposição dos resíduos vegetais e da matéria orgânica nativa do solo. A utilização da uréia com NBPT (inibidor de urease) proporcionou menores perdas de N nas diferentes doses, sendo que, na dose de 150 kg ha⁻¹ a porcentagem de redução de perdas comparada à uréia foi de 96 %, comprovando sua eficiência na redução de N-NH₃ volatilizada. As porcentagens de perdas com a utilização de uréia nas doses de 50 e 100 kg ha⁻¹ foram menores do que as obtidas com a utilização de N de liberação gradual nas mesmas dosagens, entretanto, quando se utilizou a dosagem de 150 kg ha⁻¹ de uréia foram observadas maiores perdas percentuais de N por volatilização (21,87 %).

Tabela 3.3. Perdas totais percentuais de amônia por volatilização em razão da utilização de três fontes e quatro doses de N. Santo Antônio de Goiás, GO, 2009

Tratamentos	Doses N (kg ha ⁻¹)			
	0	50	100	150
Fontes	 % perda do N aplicado			
Uréia	-	4,90 a	6,09 a	21,87 a
Uréia + NBPT	-	0,91 a	0,66 a	0,84 b
N liberação gradual	-	7,34 a	7,33 a	6,05 b
DMS		12,88		
C.V. (%)		117,25		

Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Observa-se na Tabela 3.4 que a atividade da enzima urease no solo não foi influenciada significativamente (p>0,05) pela utilização das diferentes fontes e doses de N aplicadas no feijoeiro, diferente dos dados obtidos na literatura que indicam influência de doses de N na atividade de urease. Naves & Vinhal-Freitas (2010) avaliaram a atividade de urease com aplicação de doses de N num Latossolo Vermelho-Amarelo e concluíram que houve aumento linear da atividade de urease com as doses crescentes de N (0 a 100 mg N por kg solo). Dash et al. (1981) , também, constataram que a atividade da urease correlacionou-se positivamente com teor de N total no solo, confirmando o aumento da

hidrólise da uréia, verificado pela maior atividade da urease com relação às doses de N aplicadas no solo. Entretanto, vários autores destacam o decréscimo da atividade da enzima urease com adição de fertilizantes nitrogenados (Dick, 1992; Bandick & Dick, 1999; Ajwa et al., 1999; Aon & Colaneri, 2001). É interessante observar que a influência de doses crescentes de N inorgânico na atividade de urease tem gerado resultados contraditórios na literatura.

Houve diferença significativa na atividade de urease entre as épocas de avaliação ($p < 0,01$). Antes da aplicação do N em cobertura a atividade média da enzima urease foi de $7,4 \mu\text{g N-NH}_4^+ \text{ kg}^{-1} \text{ solo } 2 \text{ h}^{-1}$. Após a aplicação do N observou-se aumento na atividade de urease, com atividade máxima de $16,9 \mu\text{g N-NH}_4^+ \text{ kg}^{-1} \text{ solo } 2 \text{ h}^{-1}$, aos quatro dias após aplicação, sendo que após esse período houve decréscimo na atividade da enzima (Figura 3.8). Os valores de atividade de enzima urease são difíceis de serem comparados, devido à diferentes metodologias utilizadas. Carneiro et al. (2009) obtiveram valores de atividade de urease para um Latossolo Vermelho que variaram de $3,8 \mu\text{g N-NH}_4^+ \text{ g solo}^{-1} \text{ h}^{-1}$ em área cultivada com nabo em SPD e de $22,5 \mu\text{g N-NH}_4^+ \text{ g solo}^{-1} \text{ h}^{-1}$ em área sob Cerrado.

Tabela 3.4. Atividade de urease no solo cultivado com feijoeiro adubado em cobertura com três fontes e quatro doses de N. Santo Antônio de Goiás, GO, 2009

Tratamentos	Urease ($\mu\text{g N-NH}_4^+ \text{ kg}^{-1} \text{ solo } 2 \text{ h}^{-1}$)
Fontes	
Uréia	10,078 a
Uréia + NBPT	10,746 a
N liberação gradual	10,949 a
D.M.S. (5%)	1,777
C.V.(%)	49,27
Doses (kg ha^{-1})	
0	11,097
50	10,881
100	9,346
150	11,040
Média geral	10,590

Médias seguidas de letras iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Observa-se na Figura 3.8 que houve maior atividade de urease no quarto dia após a cobertura nitrogenada, não coincidindo com a máxima volatilização diária de N-NH_3 , que ocorreu no décimo primeiro dia. A atividade da enzima urease pode ter

contribuído mais para mineralização de compostos nitrogenados heterocíclicos (Monreal et al., 1998) que para volatilização de N-NH_3 (Vargas et al., 2005).

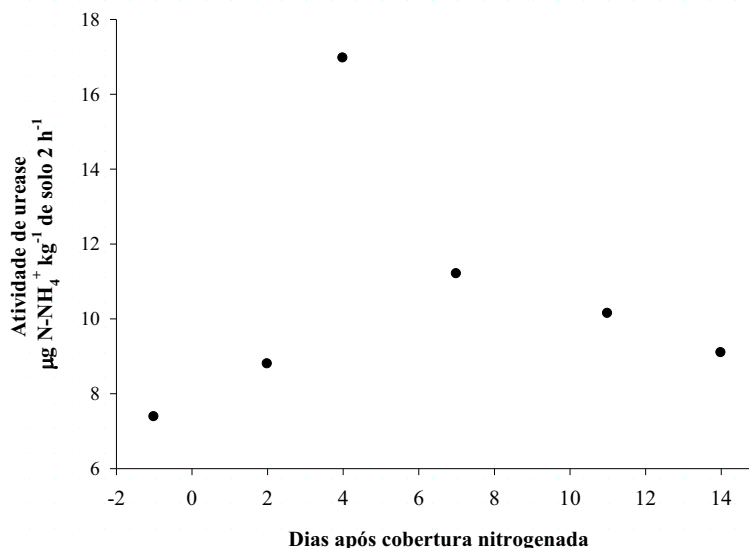


Figura 3.8. Atividade da enzima urease no solo em razão dos dias após adubação nitrogenada no feijoeiro. Santo Antônio de Goiás, GO, 2009

Aos quatorze dias após a adubação nitrogenada em cobertura, o pH do solo não foi influenciado significativamente pela utilização das diferentes fontes nitrogenadas, no entanto, as doses de N influenciaram ($p < 0,01$). As doses crescentes de N proporcionaram uma diminuição no valor de pH do solo em 0,7 unidades, entre as doses de 0 a 150 kg ha^{-1} de N (Tabela 3.5; Figura 3.9).

Inicialmente, a aplicação da uréia ou fertilizantes amoniacais ao solo pode induzir a variação de pH, pois a amônia formada pela hidrólise da uréia é imediatamente hidrosalisada, produzindo OH^- , e, ao redor do grânulo do fertilizante, o pH pode atingir valores próximos a 10. Entretanto, quando o amônio (NH_4^+) é oxidado a nitrato (NO_3^-) no processo de nitrificação, há produção líquida de 2H^+ , para cada unidade de amônio, resultando no abaixamento do pH do solo, causando, conseqüentemente, acidificação do solo e interferindo na ecologia microbiana na rizosfera (Moreira & Siqueira, 2006). Barbosa Filho et al. (2005) testaram uréia e sulfato de amônio (0, 60, 90, 120 e 150 kg ha^{-1} de N) em cobertura no feijoeiro, e obtiveram ao final do experimento, na camada de 0-10 cm de profundidade, diferença de pH entre as duas fontes de 0,8 unidades, sendo que o

sulfato de amônio e a uréia reduziram em 1,0 (de 5,9 para 4,9) e 0,3 (6,0 para 5,7) unidades de pH, respectivamente, entre a dose zero e 150 kg ha⁻¹ de N.

Tabela 3.5. Valores de pH do solo cultivado com feijoeiro adubado em cobertura com três fontes e quatro doses de N. Santo Antônio de Goiás, GO, 2009

Tratamentos	pH
Fontes	
Uréia	5,32 a
Uréia + NBPT	5,42 a
N liberação gradual	5,42 a
D.M.S. (5%)	0,237
C.V. (%)	5,07
Doses (kg ha ⁻¹)	
0	5,78
50	5,36
100	5,30
150	5,12
Média geral	5,40

Médias seguidas de letras iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

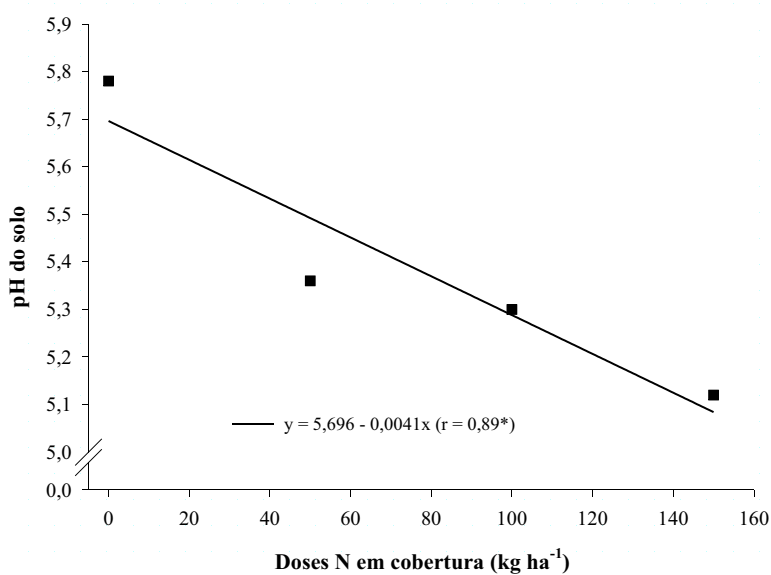


Figura 3.9. Valores de pH do solo em razão das doses de N aplicadas em cobertura no feijoeiro. Santo Antônio de Goiás, GO, 2009

Não houve correlação entre as variáveis volatilização de N-NH₃ e atividade de urease aos 2, 4, 7, 11 e 14 dias após cobertura nitrogenada, como também, não houve correlação do pH com volatilização de N-NH₃ e atividade de urease aos 14 dias após adubação de cobertura (Tabela 3.6). Estes resultados indicam que uma maior atividade de

urease no solo não vai influenciar, instantaneamente, na taxa de volatilização diária de N-NH_3 . Embora a hidrólise da uréia possa resultar em aumento do pH ao redor do grânulo (Rochette et al., 2009), aos quatorze dias após aplicação do N observou-se uma redução significativa no pH do solo.

Tabela 3.6. Coeficientes de correlação de Pearson (r) entre taxa diária de volatilização de N-NH_3 e atividade de urease aos 2, 4, 7, 11 e 14 dias após cobertura nitrogenada, e pH do solo aos 14 dias após cobertura. Cálculo a partir das médias das variáveis fontes e doses de N testadas (n=48).

Variáveis	r
Urease x Volatilização aos 2 DAC	-0,103 ^{n.s.}
Urease x Volatilização aos 4 DAC	0,120 ^{n.s.}
Urease x Volatilização aos 7 DAC	-0,015 ^{n.s.}
Urease x Volatilização aos 11 DAC	-0,016 ^{n.s.}
Urease x Volatilização aos 14 DAC	0,088 ^{n.s.}
Urease x pH aos 14 DAC	0,248 ^{n.s.}
Volatilização x pH aos 14 DAC	0,096 ^{n.s.}

n.s.: não significativo pelo Teste t a 5% de probabilidade.

3.3.2 Índice relativo de clorofila, teor de N total nas folhas e quantidade acumulada de N na parte aérea

O IRC (leituras SPAD) foi influenciado significativamente pelas interações fontes e doses de N, e entre doses de N e épocas de avaliação. Na dose de 50 kg ha^{-1} as fontes uréia + NBPT e N liberação gradual proporcionaram maior teor de clorofila quando comparadas com a uréia comum (Tabela 3.7; Figura 3.10a). Nas dose de 0 e 100 kg ha^{-1} não houve diferenças significativas entre as fontes nitrogenadas. E, na dose de 150 kg ha^{-1} a utilização de uréia proporcionou maior IRC comparada com a fonte uréia + NBPT (Figura 3.10a).

Observa-se na Figura 3.10b, que houve influência positiva das doses de N no IRC a partir dos 41 dias após emergência, ou seja, aos 13 dias após a aplicação da cobertura nitrogenada. Entretanto, Santana et al. (2010) verificaram que o teor relativo de clorofila nas folhas no período de florescimento do feijoeiro, respondeu de forma quadrática ao aumento das doses de N ($0, 30, 60, 120, 240 \text{ kg ha}^{-1}$), corroborando Soratto et al. (2004), que utilizando diferentes doses de N ($0, 35, 70, 140 \text{ e } 210 \text{ kg ha}^{-1}$) em cobertura no feijoeiro obtiveram máximo teor de clorofila na dose estimada de

aproximadamente 165 kg ha^{-1} de N. Contudo, as doses de N utilizadas no presente estudo não foram suficientes para obter-se o máximo IRC no feijoeiro.

Tabela 3.7. Índice relativo de clorofila (leitura SPAD) do feijoeiro em razão das fontes e doses de N. Santo Antônio de Goiás, GO, 2009

Tratamentos	Doses N (kg ha^{-1})			
	0	50	100	150
Fontes				
Uréia	40,37 a	40,65 b	41,75 a	43,35 a
Uréia + NBPT	40,37 a	42,17 a	41,33 a	41,92 b
N liberação gradual	40,94 a	42,32 a	42,18 a	42,7 ab
D.M.S. (5%) Fontes	0,946			
C.V. (%)	3,04			

Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

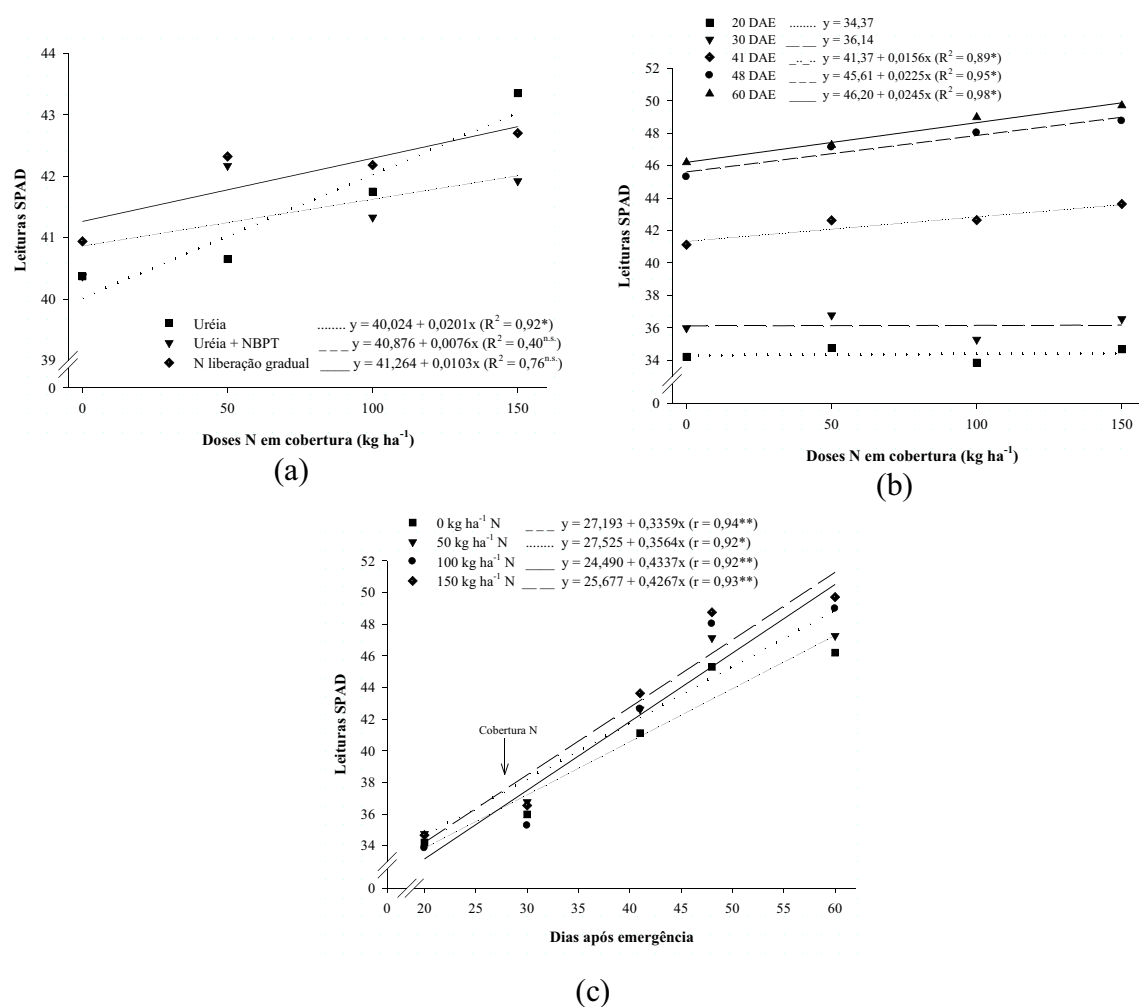


Figura 3.10. Índice relativo de clorofila (SPAD) referente ao desdobramento da interação fontes e doses de N (a), da interação doses de N e épocas de avaliação (b) e da interação épocas de avaliação e doses de N (c). Santo Antônio de Goiás, 2009

As equações de regressão referentes ao IRC para todas as doses de N em razão do desenvolvimento do feijoeiro, podem ser observadas na Figura 3.10c. Houve uma resposta linear positiva, sendo assim, até 60 DAE, não foi possível detectar o máximo IRC, diferentemente dos resultados obtidos por Maia (2011), que estudando o teor relativo de clorofila em duas cultivares de feijão (IAC Alvorada e Pérola), concluíram que este foi crescente até os 50 DAE, época em que a cultura se encontrava no estágio R₇ (formação das vagens), e a partir desta época se estabilizou. Todavia, Silveira et al. (2003) verificaram nas folhas do feijoeiro, cultivar Pérola, valores de IRC crescentes até o estágio R₆ (florescimento pleno), corroborando com os valores observados no presente estudo.

As fontes nitrogenadas utilizadas em cobertura no feijoeiro não influenciaram no teor de N total nas folhas no período de florescimento (Tabela 3.8). Binotti et al. (2009) estudaram o efeito de fontes nitrogenadas (uréia, sulfato de amônio - SA e mistura - ½ N uréia + ½ N SA) no teor de N total nas folhas do feijoeiro, cultivar Pérola, e também concluíram que as diferentes fontes não afetaram a variável estudada. Resultados semelhantes também foram obtidos por Valderrama et al. (2009) com uso de uréia e uréia revestida em cobertura no feijoeiro, e estas não influenciaram no teor de N nas folhas, obtendo em média 35,4 g kg⁻¹.

Tabela 3.8. Teor de N total nas folhas do feijoeiro adubado em cobertura com três fontes e quatro doses de N. Santo Antônio de Goiás, GO, 2009

Tratamentos	Teor de N (g kg ⁻¹)	N (kg ha ⁻¹)
Fontes		
Uréia	44,0 a	63,35 a
Uréia + NBPT	45,4 a	51,96 a
N liberação gradual	44,4 a	66,73 a
D.M.S. (5%)	2,07	23,41
C.V. (%)	5,34	44,46
Doses (kg ha⁻¹)		
0	39,9	42,95
50	44,9	59,86
100	46,7	62,98
150	46,8	76,96
Média geral	44,60	60,68

Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Com o aumento crescente das doses de N houve um aumento significativo no teor de N total nas folhas do feijoeiro no florescimento (Tabela 3.8; Figura 3.11), até a dose estimada de 120,7 kg ha⁻¹, atingindo o valor máximo de 47,2 g de N por kg de massa

seca, com melhor ajuste pelo modelo quadrático. Resultados diferentes foram obtidos por Santana et al. (2010), que testando doses de N até 240 kg ha⁻¹ sobre o de N nas folhas do feijoeiro cultivar BRS Horizonte, no florescimento, obtiveram respostas lineares. Valderrama et al. (2009), também testaram doses de N em cobertura no feijoeiro e verificaram que o teor de N nas folhas aumentou concomitantemente ao acréscimo de N em cobertura, sendo que os teores de N foliar variaram de 31,5 g kg⁻¹ (testemunha) até 39,25 g kg⁻¹ (120 kg ha⁻¹ de N), teores inferiores aos encontrados neste trabalho.

Os teores de N avaliados em todos os tratamentos estão na faixa considerada adequada para a cultura, 30 a 50 g kg⁻¹(folha), de acordo com Malavolta et al. (1997). Mesmo na testemunha, em que não houve aplicação de N em cobertura, o teor de N total das folhas, de 39,9 g kg⁻¹, está dentro da faixa adequada, possivelmente devido ao N aplicado na sementeira, 20 kg ha⁻¹, associado à fixação simbiótica com bactérias nativas fixadoras de N e ao N proveniente da mineralização da matéria orgânica do solo (Binotti et al., 2009).

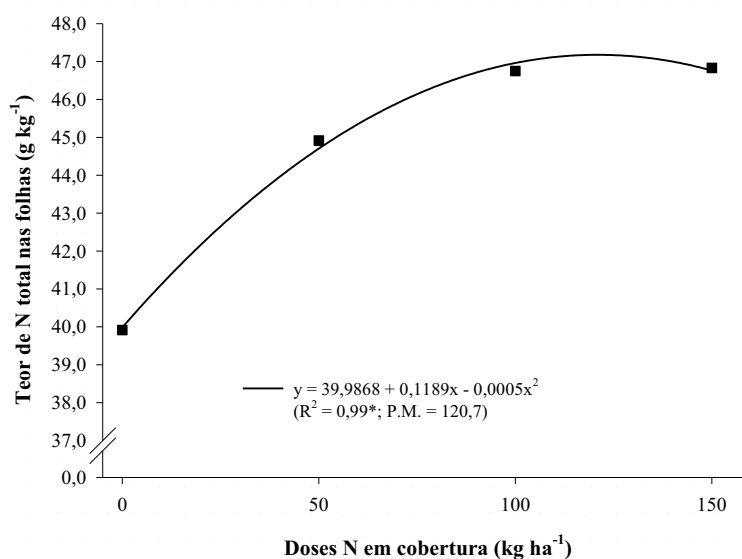


Figura 3.11. Teor de N total nas folhas em razão das doses de N utilizadas em cobertura no feijoeiro. Santo Antônio de Goiás, 2009

O teor acumulado de N no feijoeiro durante o florescimento não foi influenciado pelas fontes utilizadas em cobertura, no entanto, houve incremento significativo com as doses (Tabela 3.8). Observa-se na Figura 3.12 que os valores de teores acumulados de N ajustaram-se de forma linear quanto às doses de N. Estes resultados estão

diretamente relacionados com os resultados dos teores de N total nas folhas do feijoeiro.

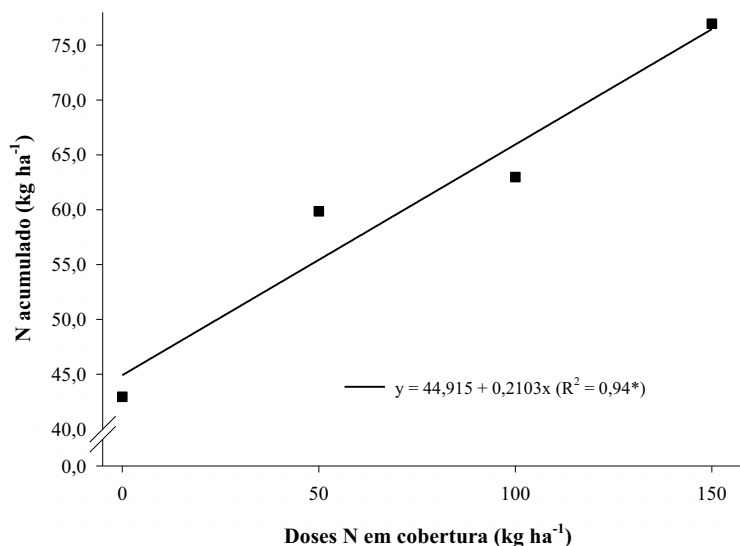


Figura 3.12. Nitrogênio acumulado no feijoeiro no período de florescimento em razão das doses de N utilizadas em cobertura. Santo Antônio de Goiás, 2009

3.3.3 Índice de área foliar e massa de matéria seca da parte aérea

O índice de área foliar (IAF) do feijoeiro não foi influenciado significativamente pelas fontes nitrogenadas utilizadas em cobertura, assim como não houve interações significativas entre as fontes nitrogenadas e as doses de N, entre as fontes e épocas de avaliação, e entre doses de N e épocas de avaliação (Tabela 3.9).

O efeito das doses de N sobre o IAF ajustou-se ao modelo quadrático, sendo de 116 kg ha⁻¹ de N a dose máxima estimada pela equação de regressão para um IAF de 1,86 m²m⁻² (Figura 3.13a). Santos & Fageria (2008), medindo o IAF do feijoeiro, cultivar Pérola, obtiveram valor máximo de 5,32 m²m⁻² utilizando dose de 160 kg ha⁻¹, índice maior que o encontrado no presente estudo. Aumentando-se o IAF, há aumento da interceptação da luz, e, portanto, da fotossíntese, mas essa relação não é contínua indefinidamente, porque o auto-sombreamento provoca uma diminuição na taxa de fotossíntese média por unidade de área foliar (Yoshida, 1972; Murata & Matsushima, 1975).

Observa-se que a evolução temporal do IAF médio dos doze tratamentos para a cultura do feijão, durante seu ciclo vital de desenvolvimento (Figura 3.13b), seguiu o

padrão característico de plantas anuais, com uma fase inicial lenta, seguida de uma fase de rápido crescimento, obtendo-se o ponto máximo de IAF de $3,6 \text{ m}^2\text{m}^{-2}$ aos 68 dias após a emergência, estágio de pleno desenvolvimento. Após este estágio, houve decréscimo do IAF, pois a área foliar verde vai se reduzindo, sobretudo em virtude da senescência das folhas mais velhas. Parizi (2007) obteve IAF (médio de $5,94 \text{ m}^2\text{m}^{-2}$) do feijoeiro, cultivar FT Nobre aos 60 DAE. Portes (1996) relatou valores experimentais de IAF variando de $0,75$ a $2,20 \text{ m}^2\text{m}^{-2}$ e de $0,80$ a $4,0 \text{ m}^2\text{m}^{-2}$, respectivamente, durante o ciclo de cultivares de feijoeiro Carioca e Aporé. Estas variações podem decorrer devido a diferenças de cultivares e também a variações climáticas ocorrentes durante ao desenvolvimento do feijoeiro.

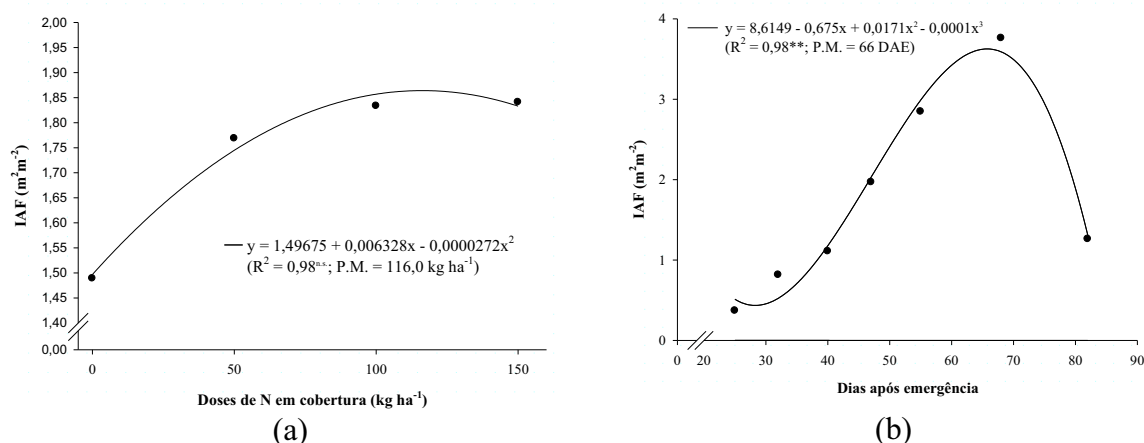


Figura 3.13. Índice de área foliar do feijoeiro em razão das doses de N em cobertura (a) e em razão dos dias após emergência (b). Santo Antônio de Goiás, GO, 2009

Não houve diferença na massa de matéria seca da parte aérea (MSPA) do feijoeiro em razão das fontes nitrogenadas utilizadas em cobertura (Tabela 3.9), coincidindo com o resultado de IAF em que não houve efeito das fontes nitrogenadas. Binotti et al. (2009), também não observaram diferenças na massa de matéria seca do feijoeiro, cultivar Pérola, em relação à utilização de diferentes fontes de N em cobertura (uréia, sulfato de amônio e mistura – $\frac{1}{2}$ de N da uréia + $\frac{1}{2}$ de N do sulfato de amônio). Santos (2009) analisando o efeito das fontes, uréia e Entec[®] 26, em dois anos de estudo, obteve resultados diferentes quanto à influência destas no acúmulo de matéria seca do feijoeiro, cv. Pérola, no florescimento; no primeiro ano não houve efeito das fontes, no entanto, no segundo ano de estudo, a fonte Entec[®] 26 proporcionou um maior acúmulo de MSPA comparada com a uréia (16,3 e 14,2 g por planta, respectivamente).

Também, não houve efeito significativo na MSPA do feijoeiro quando se analisaram as interações entre as fontes nitrogenadas e as doses de N, fontes nitrogenadas e épocas de avaliação e doses de N e épocas de avaliação (Tabela 3.9).

As doses de N proporcionaram aumento significativo da MSPA do feijoeiro (Figura 3.14a). Os dados se ajustaram numa equação quadrática, em que, a máxima produção de MSPA, de 12,37 g planta⁻¹, foi obtida na dose de 140,6 kg ha⁻¹ de N. Resultados semelhantes foram obtidos por Binotti et al. (2009) que verificaram aumento na MSPA do feijoeiro com aumento da dose de N aplicado em cobertura, obtendo máxima MSPA de 12 g planta⁻¹, na dose de 154 kg ha⁻¹. Santana et al. (2008), no primeiro ano de cultivo do feijoeiro, não obtiveram incremento na massa seca total em razão das doses de N durante as épocas de avaliação. Entretanto, os mesmos autores relatam que no segundo ano de cultivo houve diferenças significativas na massa seca total do feijoeiro em razão das doses de N nas avaliações realizadas aos 31, 38, 45, 52 e 66 dias após a emergência (DAE).

Tabela 3.9. Índice de área foliar (IAF) e massa de matéria seca da parte aérea (MSPA) do feijoeiro adubado em cobertura com três fontes e quatro doses de N. Santo Antônio de Goiás, GO, 2009

Tratamentos	IAF (m ² m ⁻²)	MSPA (g planta ⁻¹)
Fontes		
Uréia	1,725 a	11,38 a
Uréia + NBPT	1,664 a	11,41 a
N liberação gradual	1,810 a	11,79 a
D.M.S. (5%)	0,207	1,57
C.V. (%)	37,98	11,53
Doses (kg ha⁻¹)		
0	1,489	10,05
50	1,768	11,67
100	1,833	11,96
150	1,841	12,44
Média geral	1,733	11,53

Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

O acréscimo na dose de N aplicado aumenta sua disponibilidade no solo e, conseqüentemente, incrementa a absorção deste nutriente pelas plantas, elevando assim a produção de massa de matéria seca, uma vez que o N tem influência direta na fotossíntese e crescimento da planta, sendo parte integrante da molécula de clorofila (Taiz & Zeiger, 2009).

Os valores de MSPA do feijoeiro em razão dos dias após emergência ajustaram-se melhor no modelo exponencial $y = 0,0016 * e^{(0,2545x - 0,0016x^2)}$. Observa-se, na Figura 3.14 b, que o crescimento inicial do feijoeiro é lento até aproximadamente 40 DAE, doze dias após a adubação de cobertura, e passa por um período de rápido crescimento com a MSPA máxima estimada aos 77 DAE, de 30 g planta⁻¹. Posteriormente, a planta inicia o processo de senescência, com consequente diminuição da MSPA.

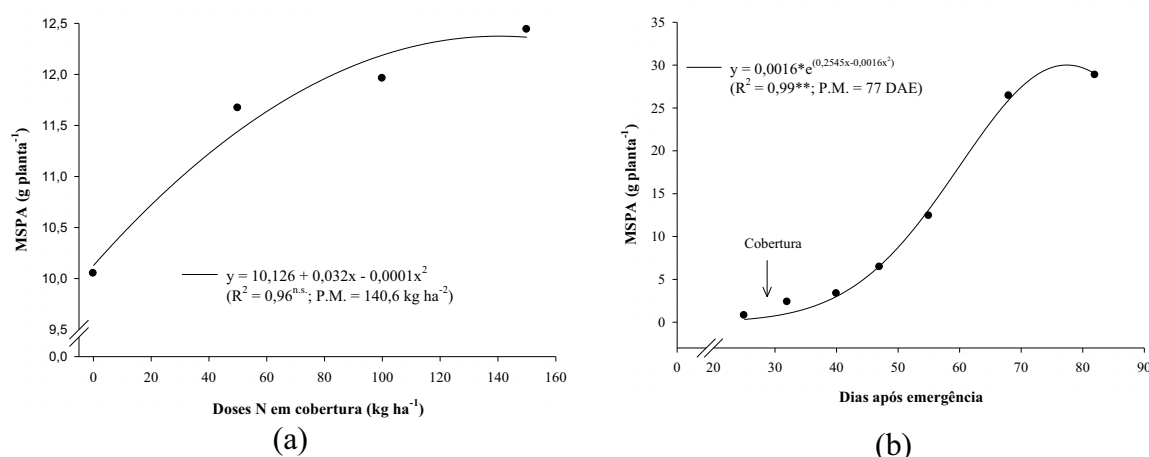


Figura 3.14. Massa de matéria seca da parte aérea (MSPA) do feijoeiro em razão das doses de N em cobertura (a) e MSPA do feijoeiro dias após emergência (b). Santo Antônio de Goiás, GO, 2009

3.3.4 Rendimento do feijoeiro

Não houve efeito significativo das fontes nitrogenadas, e da interação entre fontes e doses de N, para as variáveis estudadas (Tabela 3.10). Concordando parcialmente com Binotti et al. (2010), que avaliaram o uso das fontes nitrogenadas uréia (U), sulfato de amônio (SA) e U+SA (1:1) no feijoeiro, e não obtiveram efeito significativo para as variáveis número de vagem por planta, número de grãos por vagem, massa de 100 grãos e estande final. No entanto, os mesmo autores citaram o efeito destas fontes na produtividade do feijoeiro. Resultados semelhantes também foram obtidos por Souza (2006) que observou que o número de vagens por planta não foi influenciado pelas fontes de N utilizadas, uréia e Entec® 26, aplicadas em diferentes épocas (semeadura, 20 e 36 DAE). Os resultados obtidos neste trabalho também corroboram com os apresentados por Santos (2009) o qual concluiu que as fontes nitrogenadas uréia e Entec® 26 não influenciaram significativamente na produtividade do feijoeiro, em dois anos de avaliação.

Tabela 3.10. Rendimento de grãos, número de vagem por planta, número de grãos por vagem, massa de 100 grãos e estande final do feijoeiro, submetido a três fontes e quatro doses de N em cobertura. Santo Antônio de Goiás, GO, 2009

Tratamentos	Rendimento (kg ha ⁻¹)	Nº vagem planta ⁻¹	Nº de grãos vagem ⁻¹	Massa de 100 grãos (g)	Estande final (plantas m ⁻¹)
Fontes					
Uréia	2.746 a	11,49 a	5,81 a	26,59 a	9,34 a
Uréia + NBPT	2.598 a	10,09 a	5,82 a	27,14 a	9,62 a
N liberação gradual	2.543 a	10,50 a	5,75 a	26,57 a	9,58 a
D.M.S. (5%)	340,70	1,52	0,23	1,24	0,71
CV (%)	14,93	16,36	4,48	5,35	8,59
Doses (kg ha⁻¹)					
0	2.185	9,09	5,82	26,47	9,57
50	2.668	11,39	5,78	26,85	9,35
100	2.778	10,62	5,83	26,65	9,62
150	2.884	11,67	5,73	27,08	9,52
Média geral	2.629,0	10,7	5,79	26,76	9,51

Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

A produtividade aumentou com o incremento das doses de N, sendo que, a produtividade máxima estimada foi de 2.876 kg ha⁻¹, com a dose de 133,6 kg ha⁻¹ de N (Figura 3.15a). Entretanto, Silveira et al. (2003) obtiveram com o cultivo do feijoeiro cultivar Pérola, produtividade máxima de 2.449 kg ha⁻¹ com a dose de 62 kg ha⁻¹ de N em cobertura, menos da metade da dose estimada neste trabalho. Binotti et al. (2010) observaram aumento na produtividade de grãos até a aplicação de 198 kg ha⁻¹ de N, e Kikuti et al. (2005), obtiveram incremento na produtividade de feijoeiro de inverno, com doses de 170 kg ha⁻¹ e 144 kg ha⁻¹, respectivamente, em 2000 e 2002; entretanto, há necessidade de se considerar a viabilidade econômica da aplicação de doses elevadas desse nutriente. Estes resultados indicam que as informações encontradas na literatura a respeito da dose dos fertilizantes nitrogenados na cultura do feijoeiro são controversas, generalizadas e muito influenciadas pelo sistema agrícola empregado. Segundo Rosolem (1996), as condições de resposta ao N estão relacionadas com o solo do local de semeadura (cultura anterior, teor de matéria orgânica, textura do solo e irrigação), como também, em relação a cultivares e variações de clima (Chidi et al., 2002).

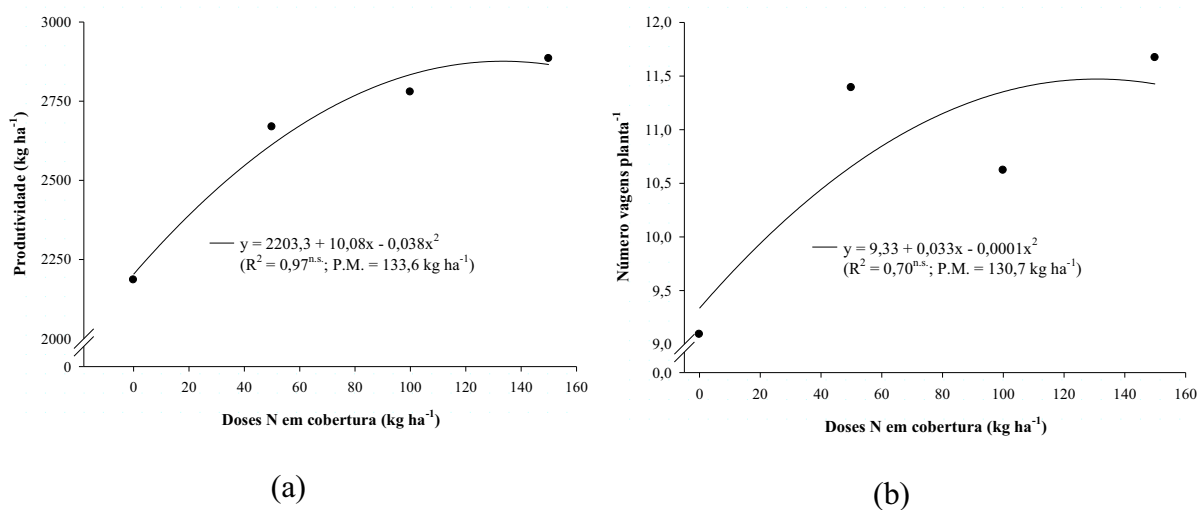


Figura 3.15. Curva de resposta da produtividade de grãos (a) e número de vagens por planta (b) do feijoeiro a fontes e doses de N. Santo Antônio de Goiás, GO, 2009

As doses de N influenciaram no número de vagens por planta e com a dose $130,7 \text{ kg ha}^{-1}$ obteve-se um número máximo de vagens por planta de 11,5 (Figura 3.15b). Esses resultados corroboram com os de Binotti et al. (2010), que também observaram um efeito quadrático das doses de N no número de vagens por planta, com maiores valores sendo obtidos com a utilização de até 160 kg ha^{-1} de N. Alvarez et al. (2005), Arf et al. (2008) e Silva (2010) verificaram incremento linear para número de vagens por planta quando se aumentou as doses de N em cobertura. De acordo com Macedo e Silva et al. (2002), o número de vagens por planta é uma característica bastante variável, podendo ser influenciada pelo ambiente de cultivo.

O número médio de vagens por planta obtida foi de 10,7 (Tabela 3.10); resultados semelhantes foram obtidos por Silveira et al. (2006), que encontraram média máxima de 10,8 vagens por planta em experimento com feijoeiro irrigado, cultivar Pérola, sob diferentes sistemas de preparo de solo e rotação de culturas.

O número de grãos por vagem não foi influenciado significativamente pelas doses de N (Tabela 3.10), concordando com Binotti et al. (2010). Segundo estes autores, o número de grãos por vagem talvez esteja mais relacionado com o cultivar, característica de herdabilidade genética, sofrendo pouca influência das práticas culturais utilizadas na cultura, sendo que estes valores normalmente estão por volta de 4 a 5 grãos por vagem. No entanto, resultados de trabalhos de pesquisa indicam que uma melhor nutrição em N pode aumentar o número de óvulos fertilizados por vagem, com os dados se ajustando a equações lineares crescentes (Arf et al., 2004; Soratto et al., 2006).

A aplicação de doses crescentes de N não propiciou aumento significativo na massa de 100 grãos, resultado semelhante ao obtido por Maia (2011) que não obteve diferença significativa na massa de 100 grãos do feijoeiro, cv. Pérola, em diferentes manejos e doses de N. Meira et al. (2005) também não observaram efeito significativo das doses de N, 0, 40, 80, 120, 160 e 240 kg ha⁻¹, no feijoeiro, cv. IAC Carioca, com relação à massa de 100 sementes. Entretanto, resultados diferentes foram obtidos por Binotti et al. (2010), que obtiveram respostas significativas com aumento da massa de 100 grãos até a dose de 187 kg ha⁻¹ e por Alvarez et al. (2005), Teixeira et al. (2005) e Kaneko et al. (2010), que verificaram incrementos positivos das doses de N na massa de 100 grãos do feijoeiro.

A população final de plantas também não foi influenciada pelas doses crescentes de N em cobertura (Tabela 3.10), ressaltando que na semeadura foram utilizados 20 kg ha⁻¹ de N. Maia (2011) em trabalho com épocas de aplicação de N e doses observou que a maior dose utilizada na semeadura (40 kg ha⁻¹) não foi elevada o suficiente para influenciar no estabelecimento da cultura. Contudo é importante ressaltar que diversos autores obtiveram menor população final de plantas devido ao uso de doses crescentes de N (Kikuti et al., 2005; Teixeira et al., 2005; Alves Júnior, 2007; Binotti et al., 2009) quando aplicado no sulco de semeadura, em decorrência da maior salinização pela aplicação mais elevada do fertilizante.

Através do cálculo de coeficiente de correlação de Pearson entre o teor de N total nas folhas do feijoeiro correlacionou-se positivamente ($r = 0,32^*$) com o IRC (Tabela 3.11). Como o N é constituinte da molécula de clorofila, geralmente existe alta correlação entre o seu teor na planta e as leituras SPAD. No entanto, apesar de significativo o coeficiente de correlação obtido neste trabalho foi baixo, isto, pode ter ocorrido porque se analisou os teores de N de todas as folhas do feijoeiro. Furlani Júnior et al. (1996) e Soratto et al. (2004) obtiveram altas correlações, 0,97 e 0,78, respectivamente, analisando-se o teor de N foliar nas mesmas folhas em que realizou-se as leituras com clorofilmetro. Vários autores têm relatado a viabilidade de se utilizar a avaliação indireta de clorofila como indicativo do estado nutricional em relação ao N (Soratto et al., 2004).

O IRC correlacionou-se com o teor de N acumulado, MSPA e IAF, com valores de r iguais a 0,48, 0,41 e 0,41, respectivamente. As variáveis acúmulo de N, MSPA, índice de área foliar e índice relativo de clorofila no feijoeiro em florescimento e produtividade foram altamente e positivamente relacionados (Tabela 3.11), confirmando a

importância da adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro irrigado; assim como a área foliar torna-se índice determinante na acumulação de matéria seca, no metabolismo vegetal, na capacidade fotossintética e no rendimento de grãos. Soratto et al. (2004) e Santana et al. (2010), também obtiveram correlação positiva entre teor de clorofila e produtividade de feijoeiro.

Tabela 3.11. Coeficientes de correlação (r) entre teor de N total nas folhas, N acumulado na parte aérea, massa de matéria seca da parte aérea (MSPA), índice de área foliar (IAF) e leitura SPAD no florescimento, produtividade e volatilização acumulada de N-NH₃, na cultura do feijoeiro. Cálculo a partir das médias das variáveis nas fontes e doses de N testadas, quatro repetições (n=48)

Variável	Teor N total	Acúmulo de N	MSPA	IAF	SPAD	Prod.	Vol. Ac.
Teor N total	1	-	-	-	-	-	-
Acúmulo de N	0,165 ^{n.s.}	1	-	-	-	-	-
MSPA	0,028 ^{n.s.}	0,988 ^{**}	1	-	-	-	-
IAF	0,005 ^{n.s.}	0,947 ^{**}	0,961 ^{**}	1	-	-	-
SPAD	0,322 [*]	0,477 ^{**}	0,415 ^{**}	0,408 ^{**}	1	-	-
Produtividade	0,287 [*]	0,463 ^{**}	0,421 ^{**}	0,397 ^{**}	0,558 ^{**}	1	-
Vol. Acumulada	0,209 ^{n.s.}	0,029 ^{n.s.}	-0,005 ^{n.s.}	0,018 ^{n.s.}	0,153 ^{n.s.}	0,181 ^{n.s.}	1

n.s.: não significativo. * e **: significativos pelo Teste t a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

Não houve correlação entre volatilização acumulada de N-NH₃ e produtividade. Apesar da utilização de uréia ter proporcionado perdas de 21 % de N-NH₃ por volatilização, estas perdas não propiciaram menores produtividades. Diferentemente do verificado por Lara Cabezas et al. (1997a) que obtiveram correlação negativa entre volatilização N-NH₃ e produtividade, indicando que maiores perdas de N por volatilização correspondem a menor produção relativa; a cada quilograma de N volatilizado, a produção foi diminuída em 19,3 kg ha⁻¹ de grãos. Esses resultados colocam em evidência a grande dificuldade de se associar perdas gasosas à produtividade. É importante ressaltar que a resposta do feijoeiro à adubação nitrogenada em cobertura foi pouco expressiva, visto que, no tratamento sem N em cobertura observou-se uma elevada produtividade (2.185 kg ha⁻¹), resultando em 700 kg ha⁻¹ a menos que as parcelas que receberam 150 kg ha⁻¹ de N. Estes resultados indicam que o solo possuía um bom estoque natural de N e que as condições edafoclimáticas foram propícias à mineralização, minimizando o efeito do N volatilizado na queda de produção.

Vários trabalhos têm citado da eficiência da diminuição da volatilização de N-NH₃ pela utilização de inibidores de urease (NBPT) e nitrificação (DCD ou DMPP), no

entanto, nem sempre estas perdas tem resultado em maiores produtividades das culturas, tais como, os resultados obtidos por Contin (2007) e Barth (2009) em cana-de-açúcar, Scivittaro et al. (2010) em arroz e Fontoura & Bayer (2010) em milho, corroborando com o presente trabalho.

3.4 CONCLUSÕES

Nas condições em que o trabalho foi conduzido, os resultados permitem concluir que:

1. Há menores perdas de N-NH₃ com a utilização de N de liberação gradual e uréia + NBPT na dosagem de 150 kg ha⁻¹ de N;
2. A atividade máxima da enzima urease, ocorre no quarto dia após adubação em cobertura, enquanto a máxima volatilização de N-NH₃ ocorre no 11º dia após adubação em cobertura;
3. A utilização das fontes nitrogenadas uréia, uréia + NBPT e N liberação gradual não proporciona diferenças na produtividade do feijoeiro;
4. A dose estimada de 133 kg ha⁻¹ de N proporciona ao feijoeiro maior rendimento de grãos.

3.5 REFERÊNCIAS

- AJWA, H. A.; DELL, C. J.; RICE, C. W. Changes in enzyme activities and microbial biomass of tallgrass prairie soil as related to burning and nitrogen fertilization. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 31, n. 5, p. 769-777, 1999.
- ALVAREZ, A. C. C.; ARF, O.; ALVAREZ, R. C. F.; PEREIRA, J. C. R. Resposta do feijoeiro à aplicação de doses e fontes de nitrogênio em cobertura no sistema de plantio direto. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 27, n. 1; p. 69-75, 2005.
- ALVES, A. C. **Métodos para quantificar a volatilização de N-NH₃ em solo fertilizado com uréia**. 2006. 41 f. Dissertação (Mestrado em Qualidade e Produtividade Animal) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2006.
- ALVES JÚNIOR, J. **Adubação nitrogenada na cultura do feijoeiro cv. BRS-MG Talismã em plantio direto e convencional**. 2007. 61 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

AON, N. A.; COLANERI, A. C. II. Temporal and spacial evolution of enzymatic activities and physico-chemical properties in an agricultural soil. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 18, n. 3, p. 255-270, 2001.

ARAÚJO, E. da S.; MARSOLA, T.; MIYAZAWA, M.; SOARES, L. H. de B.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R. Calibração de câmara semi-aberta estática para quantificação de amônia volatilizada do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 7, p. 769-776, 2009.

ARF, O.; RODRIGUES, R. A. F.; SÁ, M. E. de; BUZETTI, S.; NASCIMENTO, V. do. Manejo do solo, água e nitrogênio no cultivo de feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 2, p. 131-138, 2004.

ARF, O.; AFONSO, R. J.; ROMANINI JUNIOR, A.; SILVA, M. G.; BUZETTI, S. Mecanismos de abertura do sulco e adubação nitrogenada no cultivo do feijoeiro em sistema plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 2, p. 499-506, 2008.

BANDICK, A. K.; DICK, R. P. Field management effects on soil enzyme activities. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 31, n. 11, p. 1471-1479, 1999.

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

BARTH, G. **Inibidores de urease e de nitrificação na eficiência de uso de adubos nitrogenados**. 2009. 78 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

BINOTTI, F. F. S.; ARF, O.; SÁ, M. E.; BUZETTI, S.; ALVAREZ, A. C.; KAMIMURA, K. M. Fontes, doses e modo de aplicação de N em feijoeiro no sistema plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 2, p. 473-481, 2009.

BINOTTI, F. F. S.; ARF, O.; CARDOSO, E. D.; SÁ, M. E.; BUZETTI, S.; NASCIMENTO, V. do. Fontes e doses de nitrogênio em cobertura no feijoeiro de inverno irrigado no sistema plantio direto. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 5, p. 770-778, 2010.

BOYER, E. W.; GOODALE, C. L.; JAWORSKI, N. A.; HOWART, R. N. Anthropogenic nitrogen sources and relationships to riverine nitrogen export in the northeastern USA. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 57-58, n. 1, p. 137-169, 2002.

CANTARELLA, H. Uso de inibidor da urease para aumentar a eficiência da uréia. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. **Informações recentes para otimização da produção agrícola**. Piracicaba: IPNI, 2007. p. 1-4. (Informações Agronômicas, 117)

CANTARELLA, H.; MARCELINO, R. Fontes alternativas de nitrogênio para a cultura do milho. In: ABDALLA, S. R. S.; PROCHNOW, L. I.; FANCELLI, A. L. **Simpósio discute como utilizar insumos e recursos para otimizar a produtividade do milho**. Piracicaba, IPNI, 2008. p. 12-14. (Informações Agronômicas, 122)

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O.; CONTIN, T. L. M.; DIAS, F. L. F.; ROSSETTO, R.; MARCELINO, R.; COIMBRA, R. B.; QUAGGIO, J. A. Ammonia volatilization from urease inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 65, n.4, p.397-401, 2008.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D. de; REIS, E. F. dos; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. de. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 147-157, 2009.

CHIDI, S. N.; SORATTO, R. P.; SILVA, T. R. B.; ARF, O.; SÁ, M. E.; BUZETTI, S. Nitrogênio via foliar e em cobertura em feijoeiro irrigado. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1391-1395, 2002.

CONTIN, T. L. M. **Uréia tratada com o inibidor da urease NBPT na adubação de cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo**. 2007. 69 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, 2007.

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

CUNHA, P. C. R. da; SILVEIRA, P. M. DA; ALVES JR., J.; NASCIMENTO, J. L. Doses e formas de aplicação de uréia comum e aditivada no feijoeiro irrigado cultivado em plantio direto. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 2008, Campinas - SP. **Anais...** CONAFE, 9. Campinas, SP: Instituto agrônomo de Campinas, 2008.

DASH, M. C.; MISHURA, P. C.; MOHANTY, R. K.; BHATT, N. Effects of specific conductance and temperature on urease activity in some Indian soils. **Soil biology and Biochemistry**, v. 13, n. 1, p. 73-74, 1981.

DICK, R. P. A review: long-term effects of agricultural systems on soil biochemical and microbiological parameters. **Agricultural Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 40, n. 1, p. 25-36, 1992.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

FANCELLI, A. L.; TSUMANUMA, G. M. Nitrogênio e enxofre nas culturas de milho e feijão. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. e; VITTI, G. C. (Ed.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: IPNI, 2007. p. 190-249.

FENN, L. B.; RICHARDS, J. Ammonia loss from surface applied urea-acid products. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 9, p. 265-275, 1986.

FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Científica Symposium**, Lavras, v. 6, n. 2, p. 36-41, 2008.

FONTOURA, S. M. V.; BAYER, C. Ammonia volatilization in no-till system in the south-central region of the state of Paraná, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 5, p. 1677-1684, 2010.

FRANCISCO, A. D. M. **Eficiência de fontes de nitrogênio e enxofre na composição químico-bromatológica e algumas características agronômicas da cultura do milho (*Zea mays* L.) em sistema de plantio direto**. 2008. 129 f. Dissertação (Mestrado em Qualidade e Produtividade Animal) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos - Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2008.

FURLANI JÚNIOR, E.; NAKAGAWA, J.; BULHÕES, L. J.; MOREIRA, J. A. A.; GRASSI FILHO, H. Correlação entre leituras de clorofila e níveis de nitrogênio aplicados em feijoeiro. **Bragantia**, Campinas, v. 55, n. 1, p. 171-175, 1996.

HALL, W. Benefits of enhanced-efficiency fertilizers for the environment. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON ENHANCED-EFFICIENCY FERTILIZERS, Frankfurt, 2005. **Proceedings**: Paris, International Fertilizer Industry Association, 2005. 1 CD-ROM.

HARPER L. A.; SHARPE R. R. Nitrogen dynamics in irrigated corn: Soil-plant nitrogen and atmospheric ammonia transport. **Agronomy Journal**, Madison, v. 87, n. 4, p. 669-675, 1995.

KANDELER, E.; GERBER, H. Short-term assay of soil urease activity using colorimetric determination of ammonium. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 6, n. 1, p. 68-72, 1988.

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

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

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928. Wall-map 150 cm x 200 cm.

LARA CABEZAS, W. A. R.; KORNDORFER, G. H.; MOTTA, S. A. Volatilização de N-NH₃ na cultura de milho: I. Efeito da irrigação e substituição parcial da uréia por sulfato de amônio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n. 3, p.481-487, 1997a.

LARA CABEZAS, W. A. R.; KORNDORFER, G. H.; MOTTA, S. A. Volatilização de N-NH₃ na cultura de milho: II. Avaliação de fontes sólidas e fluidas em sistema de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n. 3, p. 489-496, 1997b.

MACEDO E SILVA, G. de; STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A. Manejo da adubação nitrogenada no feijoeiro irrigado sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 32, n. 1, p. 1-5, 2002.

MAIA, S. C. M. **Uso do clorofilômetro portátil na determinação da adubação nitrogenada de cobertura em cultivares de feijoeiro**. 2011. 86 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

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

MARTHA JÚNIOR, G. B. **Produção de forragem e transformações do nitrogênio do fertilizante em pastagem irrigada de capim Tanzânia**. 2003. 149 f. Tese (Doutorado em Ciência dos Animais e Forragens) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

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

MONREAL, C. M.; DINEL, H.; SCHNITZER, M.; GAMBLE, D. S.; BIEDERBY, V. O. Impact of carbon sequestration on functional indicators of soil quality as influenced by management in sustainable agriculture. In: LAL, R.; KIMBLE, J. M.; FOLLETT, R. F.; STEWART, B. A. (Ed.). **Soil processes and the carbon cycle**. Boca Raton: CRC, 1998, 435-458 p.

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

MURATA, Y.; MATSUSHIMA, S. Rice. In: EVANS, L.T. (Ed.). **Crop physiology**. London: Cambridge Univ. Press, 1975. p. 73-99.

NAVES, M. G.; VINHAL-FREITAS, I. C. Influência do nitrogênio e fósforo na atividade da urease em Latossolo. XXIX Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, XIII Reunião Brasileira sobre Micorrizas, XI Simpósio Brasileiro de Microbiologia do Solo VIII Reunião Brasileira de Biologia do Solo, **Anais...** Guarapari – ES, Brasil, 13 a 17 de setembro de 2010. Centro de Convenções do SESC

OLIVEIRA, P. P. A. **Manejo da calagem e da fertilização nitrogenada na recuperação de pastagens degradadas de *Brachiaria* sp. em solos arenosos**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, 2010. 110 f. Tese (Doutorado) - Centro de Engenharia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

PARIZI, A. R. **Efeito de diferentes estratégias de irrigação sob as culturas de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e milho (*Zea mays* L.) na região de Santiago**. 2007. 124 f. Dissertação (Mestrado) - Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

PEREIRA, H. S.; LEÃO, A. F.; VERGINASSI, A.; CARNEIRO, M. A. C. Ammonia volatilization of urea in the out-of-season corn. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1685-1694, 2009.

PORTES, T. A. Ecofisiologia. In: ARAUJO, R. S.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M. J. O., **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafos, 1996. p. 101-137.

PRIMAVESI, O.; CORRÊA, L. A.; PRIMAVESI, A. C.; CANTARELLA, H. **Adubação com uréia em pastagem rotacionada de *Cynodon dactylon* cv. Coastcross**: Eficiência e perdas. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2001. 42 p. (Circular Técnica, 30)

RAWLUK, C. D. L.; GRANT, C. A.; RACZ, G. J. Ammonia volatilization from soils fertilized with urea and varying rates of urease inhibitor NBPT. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 81, n. 2, p. 239-246, 2001.

ROCHETTE, P.; MacDONALD, J. D.; ANGERS, D.; CHANTINI, M. H.; GASSER, M.; BERTRAND, N. Banding urea increased ammonia volatilization in a dry acidic soil. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 38, n. 4, p. 1383-1390, 2009.

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

SANTANA, E. V. P.; SILVEIRA, P. M. da. Crescimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) influenciado por doses de nitrogênio em cobertura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 38, n. 2, p. 134-140, 2008.

SANTANA, E. V. P.; SANTOS, A. B.; SILVEIRA, P. M. da. Adubação nitrogenada na produtividade, leitura SPAD e teor de nitrogênio em folhas de feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 4, p. 491-496, 2010.

SANTOS, A. R.; VALE, F. R.; SANTOS, J. A. G. Avaliação de parâmetros cinéticos da hidrólise da uréia em solos do sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, p. 309-313, 1991.

SANTOS, A. B. dos; FAGERIA, N. K. Características fisiológicas do feijoeiro em várzeas tropicais afetadas por doses e manejo de nitrogênio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 1, p. 23-31, 2008.

SANTOS, T. E. B. dos. **Comunidade microbiana do solo e produtividade do feijoeiro, com e sem inoculação com rizóbio, associado a fontes e épocas de aplicação de nitrogênio**. 2009. 97 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2009.

SAS INSTITUTE. **Statistical analysis system**: user's guide. Cary: SAS, 2000.

SCIVITTARO, W. B.; GONÇALVES, D. R. N.; VALE, M. L. C. do; RICORDI, V. G. Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia e resposta do arroz irrigado à aplicação de uréia tratada com o inibidor de urease NBPT. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 6, p. 1283-1289, 2010.

SENGIK, E.; KIEHL, J. C. Controle da volatilização de amônia em terra tratada com uréia e turfa pelo emprego de sais inorgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, n. 3, p. 455-461, 1995.

SILVA, S. C. da; SANTANA, N. M. P. de; PELEGRINI, J. C. **Informações Meteorológicas para Pesquisa e Planejamento Agrícola, Referente ao Município de**

Santo Antônio de Goiás, GO, 2003 - Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2004. 34 p. (Documentos, 163)

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

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

SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A. Métodos de irrigação e uniformidade de aplicação de água. In: SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. **Irrigação do feijoeiro**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2001. p. 79-138.

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

SILVEIRA, P. M.; SILVEIRA NETO, A. N.; STONE, L. F.; OLIVEIRA, L. F. C. Produtividade do feijoeiro irrigado sob diferentes sistemas de preparo do solo e de rotação de culturas. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 22, n. 1, p. 45-52, 2006.

SOMMER, S. G.; FRIIS, E.; BACH, A.; SCHJIRRING, J. K. Ammonia volatilization from pig slurry applied with trail hoses or broadcast to winter wheat: effects of developmental stage, microclimate, and leaf ammonia absorption. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 26, n. 4, p. 1153-1160, 1997.

SORATTO, R. P.; CARVALHO, M. A. C.; ARF, O. Teor de clorofila e produtividade do feijoeiro em razão da adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 9, p. 895-901, 2004.

SORATTO, R.P.; CARVALHO, M.A.C. de; ARF, O. Nitrogênio em cobertura no feijoeiro cultivado em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 259-266, 2006.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; SILVA, L. M.; LEMOS, L. B. Aplicação tardia de nitrogênio no feijoeiro em sistema de plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 2, p. 211-218, 2005.

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

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4ª ed. Artmed, Porto Alegre, 2009. 820 p.

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

THOMPSON, R. B.; PAIN, B. F.; LOCKYER, D. R. Ammonia volatilization from cattle slurry following surface application to grassland - II: influence of application rate, wind speed and applying slurry in narrow bands. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 125, n. 1, p. 119-128, 1990.

VALDERRAMA, M.; BUZETTI, S.; BENETT, C. G. S.; ANDREOTTI, M.; ARF, O.; SÁ, M. E. de. Fontes e doses de nitrogênio e fósforo em feijoeiro no sistema plantio direto **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, n. 3, p. 191-196, 2009.

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.

VITTI, G. C.; TAVARES JÚNIOR, J. E.; LUZ, P. H. C.; COSTA, M. C. G.; FAVARIN, J.L. Características físicas e químicas da mistura entre uréia e sulfato de amônio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 18, Londrina, 2001. **Anais...** Londrina, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2001. p. 312.

WATSON, C. J.; POLAND, P.; ALLEN, M. B. D. The efficacy of repeated applications if the urease inhibitor N-(n-butyl) thiophosphoric triamide (nBTPT) for improve the efficiency of urea fertiliser utilization on temperate grassland. **Grass and Forage Science**, Oxford, v. 53, n. 2, p. 137-145, 1998.

YADAVA, U. L. A rapid and nondestructive method to determine chlorophyll in intact leaves. **HorScience**, Alexandria, v. 21, n. 6, p. 1449-1450, 1986.

YOSHIDA, S. Physiological aspects of grain yield. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 23, p. 437-464, 1972.

ZAVASCHI, E. **Volatilização de amônia e produtividade do milho em função da aplicação de uréia revestida com polímeros**. 2010. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

4 FONTES DE NITROGÊNIO NO FEIJOEIRO CULTIVADO SOB DIFERENTES QUANTIDADES DE PALHADA DE TIFTON

RESUMO

A presença de resíduos vegetais na superfície do solo pode propiciar maiores perdas de nitrogênio por volatilização de amônia (NH_3), em razão da aplicação de uréia sem incorporação, isto devido a maior presença da enzima urease nestes resíduos, e, por estes diminuírem o contato do adubo com o solo. A utilização de adubos com liberação gradativa de N visam diminuir as perdas de N no sistema, e consequentemente aumentar a disponibilidade deste nutriente para as culturas. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes quantidades de palhada de tifton (Capim *Cynodon* spp. cv. Tifton 85), na superfície do solo, e da aplicação em cobertura de uréia e N liberação gradual sobre as perdas de N por volatilização de NH_3 e seu reflexo no desenvolvimento e produtividade do feijoeiro irrigado (*Phaseolus vulgaris* L.). O experimento foi conduzido na safra de inverno de 2009, em um Latossolo Vermelho distrofico de textura argilosa, na Embrapa Arroz e Feijão, em Santo Antônio de Goiás, GO. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, no esquema fatorial 2×4 , com quatro repetições. Foram utilizadas duas fontes nitrogenadas em cobertura (uréia e N liberação gradual) e quatro quantidades de palhada de tifton na superfície do solo, 0, 5, 10 e 20 Mg ha^{-1} . A fonte N de liberação gradual não proporcionou menor volatilização acumulada de N- NH_3 . A presença de 20 Mg ha^{-1} de palha resultou em menor volatilização acumulada e maior umidade do solo. A utilização das fontes nitrogenadas, uréia e N de liberação gradual, não influenciou as variáveis: teor de N total nas folhas, N acumulado na parte aérea, índice relativo de clorofila, massa de 100 grãos, número de vagens por planta, número de grãos por vagem e rendimento de grãos do feijoeiro irrigado. As quantidades crescentes de palhada de tifton utilizadas como cobertura do solo teve efeito negativo sobre a produtividade, massa de 100 grãos, número de vagens por planta e número de grãos por vagem do feijoeiro.

Palavras-chave: urease, volatilização de N- NH_3 , liberação lenta, Cerrado.

ABSTRACT

BEHAVIORS OF NITROGEN SOURCES IN IRRIGATED COMMON BEANS AS AFFECTED BY TIFTON GRASS STRAW

The crop residue on the soil surface can provide greater nitrogen by ammonia (NH_3) volatilization losses, through the application of urea without incorporation, this is due to increased presence of urease enzyme in these wastes, and minimize contact by these

the fertilizer with the soil. The use of fertilizers containing slow release N aim to reduce the losses of N in the system, thereby increasing the availability of this nutrient for crops. The objective of this study was to evaluate the effect of different amounts of straw tifton (*Cynodon* spp. Cv. Tifton 85), on the soil surface, and the topdressing application of urea and gradual release N fertilizer of N losses by NH_3 volatilization and its reflection in the development and productivity of irrigated common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). The experiment was conducted in the winter crop of 2009 in an dystrophic Dark Red Latosol at Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, Goiás State, Brazil. The experimental design was randomized blocks, in a 2 x 4 factorial design, with four replications. We used two sources of nitrogen fertilizer topdressing (urea and gradual release N fertilizer) and four amounts of straw on the soil surface tifton, 0, 5, 10 and 20 Mg ha^{-1} . The gradual release N fertilizer did not provide lower cumulative volatilization of N-NH_3 , however, the presence of 20 Mg ha^{-1} resulted in less accumulated N-NH_3 volatilization and greater cumulative soil moisture. The use of sources of nitrogen fertilizer, urea and gradual release N fertilizer did not influence the variables: leaf N content, N accumulated in shoots, relative chlorophyll index, mass of 100 grains, number of pods per plant, number of grains per pod and grain yield of irrigated common beans. Increasing amounts of straw tifton used as ground cover have a negative effect on common beans yield, mass of 100 grains, number of pods per plant and number of grains per pod beans.

Key words: urease, N-NH_3 volatilization, slow release, Cerrado.

4.1 INTRODUÇÃO

Com uma área cultivada maior que 113 mil hectares em Goiás, na safra 2009/10 (Conab, 2011), o feijoeiro está entre as culturas de maior importância econômica na região do Cerrado, sendo que, vem crescendo a área cultivada por esta cultura em sistema plantio direto (SPD) nos últimos anos. Neste sistema, a manutenção de resíduos vegetais na superfície do solo tem demonstrado eficiência no controle da erosão, no aumento da disponibilidade de nutrientes (Alvarenga, 1996), no fornecimento de N pela decomposição da matéria orgânica, na maior quantidade de água disponível no solo (Fageria & Stone, 2004), entre outros. Um dos fatores imprescindíveis e um dos principais obstáculos para a introdução e manutenção deste sistema é a presença constante de cobertura vegetal para proteção do solo. Entretanto, como o solo abaixo dessa camada apresenta menor temperatura e maior umidade que o solo do preparo convencional, há influência sobre a seleção de microorganismos adaptados e desenvolvimento de doenças (Costamilan, 2005).

Sá et al. (2007) estudaram o efeito da quantidade de palha (sem palha, 5 e 10 Mg ha^{-1}) sobre a produtividade de 13 genótipos de milho, e observaram que quando se

comparou o efeito da quantidade de palha sobre a produtividade média, por tratamento, não foram observadas diferenças significativas. Todavia, a comparação entre genótipos dentro de cada tratamento revelou diferenças significativas, indicando o comportamento diferenciado de genótipos em relação à quantidade de palha na superfície do solo.

Os restos culturais sobre a superfície do solo, podem alterar toda a dinâmica do nitrogênio (N) no solo, principalmente, em razão do aumento da matéria orgânica (Sá, 1993) e da manutenção da cobertura morta com conseqüente aumento da atividade biológica (Ballota et al., 1996). O N é um componente fundamental na produtividade das culturas. Várias pesquisas têm sido realizadas com intuito de minimizar as perdas de N no sistema, seja por volatilização, lixiviação ou desnitrificação, e conseqüentemente, prolongar o tempo de disponibilidade de N para as plantas. A uréia tem sido o adubo mais utilizado para o fornecimento de N na cultura do feijoeiro em cobertura, no entanto, a utilização deste adubo, em condições adversas, tem propiciado altas perdas por volatilização de amônia (NH_3), podendo chegar a 70 % do N aplicado (Lara & Trivelin, 1990; Martha Junior et al., 2004). A aplicação do fertilizante na superfície do solo coberto com resíduos vegetais tende a aumentar as taxas de perdas de N em razão da barreira formada pelos resíduos, entre o grânulo do fertilizante e o solo, da manutenção da umidade do solo na camada superficial por períodos mais prolongados e da maior atividade da enzima urease (Mattos Junior et al., 2007).

Contudo, visando diminuir as perdas de N pela aplicação de adubos nitrogenados, têm-se como alternativas disponíveis no mercado, fertilizantes menos susceptíveis a perdas, tais como: adubos de liberação lenta e adubos estabilizados. Estes atrasam a disponibilidade inicial dos nutrientes ou incrementam a sua disponibilidade no tempo por meio de diferentes mecanismos, como exemplo: uréia-formaldeído, produtos revestidos por películas de enxofre ou polímeros de natureza diversa; uréia com inibidor de urease, uréia com inibidor de nitrificação. Normalmente são produtos diferenciados, e, portanto, com custos mais elevados. Trabalhos em campo com estes tipos de produtos, ainda são escassos no Brasil.

Zavaschi (2010) concluiu que a aplicação de uréia revestida não influenciou as taxas de volatilização de amônia e produtividade de grãos de milho, em relação à aplicação da uréia convencional. Santos et al. (2009) observaram que a utilização de fontes com maiores tecnologias agregadas, como Super N[®] e Sulfammo[®], proporcionaram boa produtividade do algodão em caroço, numericamente superiores à obtida com a uréia, no

entanto, de acordo com os autores, o preço relativamente elevado dessas tecnologias pode inviabilizar economicamente a utilização das mesmas.

Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito de diferentes quantidades de palhada de tifton (Capim *Cynodon* spp. cv. Tifton 85) na superfície do solo, e da aplicação, em cobertura, de uréia e N liberação gradual sobre as perdas de N por volatilização de amônia (N-NH_3) e seu reflexo no desenvolvimento e produção do feijoeiro irrigado (*Phaseolus vulgaris* L.).

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido, na Embrapa Arroz e Feijão, no município de Santo Antônio de Goiás, GO (16°29'17"S, 49°17'57"W e 823 m altitude). O solo, classificado como Latossolo Vermelho distrófico (Embrapa, 2006), apresentou composição granulométrica média de 554 g kg⁻¹ de argila, 111 g kg⁻¹ de silte e 335 g kg⁻¹ de areia, e os seguintes atributos químicos na camada de 0,0-0,2 m, antes da semeadura do feijoeiro: 5,53 de pH_{água}; 1,1 cmol_c dm⁻³ de Ca; 0,46 cmol_c dm⁻³ de Mg; 20,88 mg dm⁻³ de P; 113,60 mg dm⁻³ de K; 20 g dm⁻³ de M.O.

Na Figura 4.1 estão apresentados os valores de irrigação (mm), precipitação pluvial (mm), temperaturas de máxima e mínima (°C) e umidade relativa do ar (%) da área de cultivo durante o desenvolvimento do experimento.

Foi empregado delineamento experimental em blocos casualizados, em esquema fatorial 4x2, totalizando oito tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por diferentes quantidades de palhada sobre o solo (0,0; 5,0; 10,0 e 20,0 Mg ha⁻¹ de palhada de tifton), e duas fontes de adubo nitrogenado aplicados em cobertura (Uréia e N de liberação gradual). As parcelas foram constituídas por 5 linhas da cultura com 6 m de comprimento, e espaçadas em 0,45 m. A área da parcela onde foram realizadas as avaliações correspondia às três linhas centrais descartando-se 0,5 m iniciais e finais das mesmas.

A área experimental foi conduzida durante quatro anos em sistema plantio direto (SPD), e, antes da implantação do experimento, na safra de verão 2008/09, foi cultivado milho (*Zea mays* L.). Após a colheita deste, foi aplicado o herbicida glifosato (1,9 kg ha⁻¹ do i.a.), e, posteriormente, o solo foi arado. No dia 19 de junho de 2009, antes

da sementeira, as sementes do feijoeiro, cultivar Perola, foram tratadas com carboxina + tiram e tiametoxam (75 g, 75 g e 140 g i.a. em 100 kg de sementes, respectivamente), e, em seguida realizou-se a sementeira mecanizada utilizando uma sementeira-adubadora, na densidade de 288.888 plantas ha⁻¹. Na adubação de sementeira foram aplicados 400 kg ha⁻¹ da fórmula 5-30-15, de forma a fornecer 20 kg ha⁻¹ de N, 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 60 kg ha⁻¹ de K₂O.

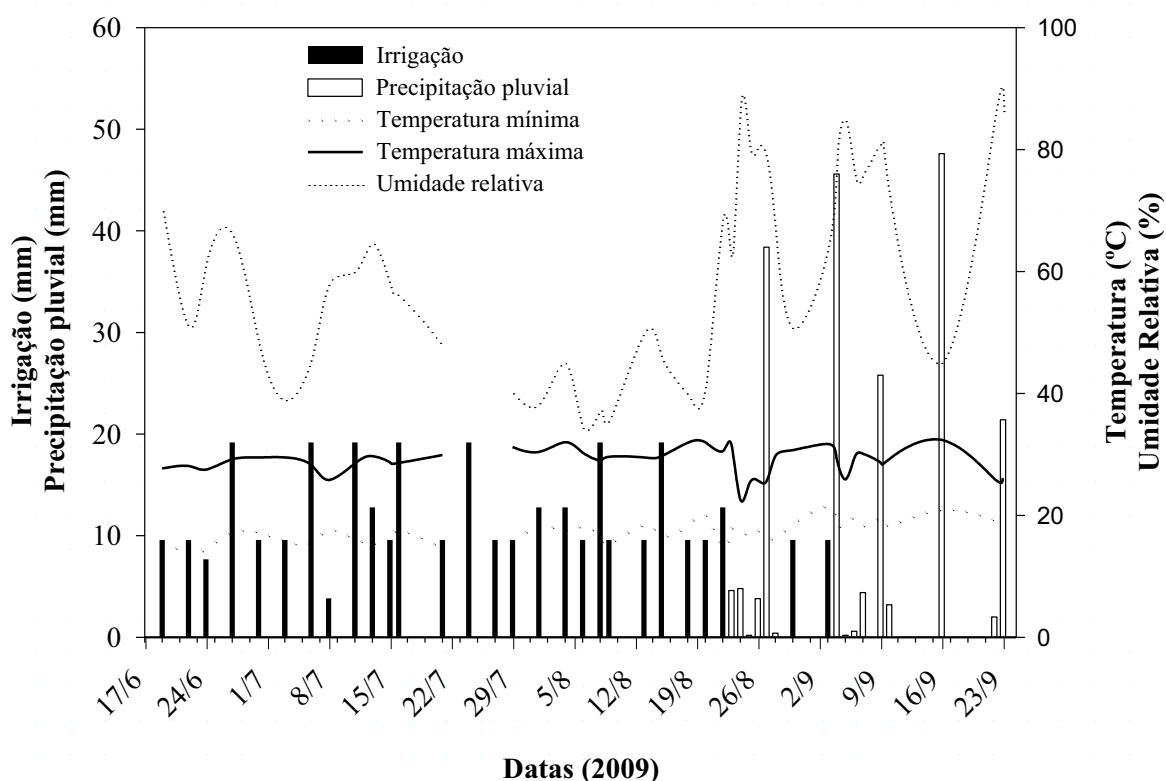


Figura 4.1. Irrigação (mm), precipitação pluvial (mm), umidade relativa média do ar (%) e temperatura máxima e mínima (°C) ocorridos no período de junho a setembro de 2009, registradas na Estação Meteorológica da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO

Após a sementeira do feijoeiro foi distribuída a palhada de feno de capim-tifton (Capim *Cynodon* spp. cv. Tifton 85) adquirida no comércio. Esta foi pesada de acordo com cada tratamento e distribuída uniformemente nas parcelas (Figura 4.2). O Tifton-85 é uma cultivar do gênero *Cynodon* que destaca-se por apresentar alta produção de massa seca, elevado teor nutritivo e rápida taxa de crescimento. Apresenta teores médios de nutrientes de 41,3; 2,2; 11,1; 4,8; 3,5 g kg⁻¹, respectivamente, de N, P, K, Ca e Mg na massa seca da parte aérea (Erthal et al., 2010; Ribeiro & Pereira, 2011).

A adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro foi realizada no dia 16 de julho, aos 20 dias após emergência, na quantidade de 80 kg ha^{-1} de N. Como fonte de N de liberação gradual foi utilizado o produto comercial Sulfammo[®] (26-00-00 + cálcio 5%, enxofre 9%, magnésio 2% e boro 0,3%) que é um fertilizante fornecedor de nitrogênio nas formas amídica e amoniacal, associado ao carbonato de cálcio marinho. Pressupõem que o carbonato de cálcio marinho revestindo as moléculas de N diminui a dissolução do N, impedindo a entrada de água em seu interior. Durante a adubação de cobertura adicionou-se à uréia os nutrientes contidos na formulação do Sulfammo[®], utilizando como fontes o sulfato de cálcio, sulfato de magnésio e ácido bórico. O adubo foi aplicado em toda a parcela, manualmente, a lanço, no final da tarde. Em seguida, foram instaladas as câmaras para medir a volatilização, sendo uma câmara por tratamento, colocada próxima da planta. Foi aplicada uma lâmina de 19 mm de água para evitar as perdas por volatilização. A irrigação por aspersão foi realizada via pivô central, com a irrigação e precipitação pluvial totalizando 543 mm. Todas as práticas culturais, controle fitossanitário e de plantas daninhas, foram aquelas normalmente empregadas para a cultura.

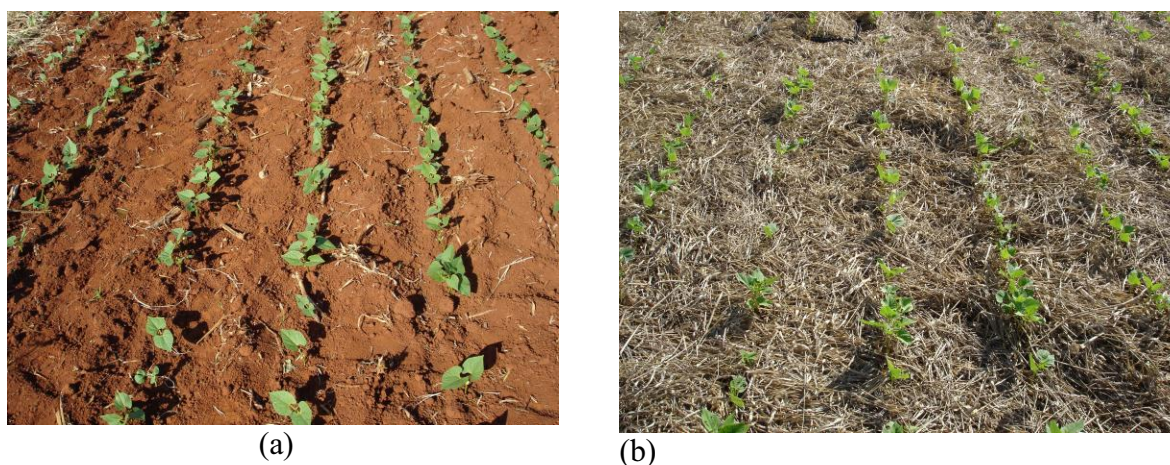


Figura 4.2. Parcelas experimentais sem palhada (a) e com 20 Mg ha^{-1} de palhada de tifton na superfície do solo. Santo Antônio de Goiás, GO, 2009

Durante a condução do experimento para o monitoramento do conteúdo de umidade do solo foram coletadas amostras de solo em sete épocas de avaliação. As coletas foram realizadas sempre um dia antes da área ser irrigada, no mesmo horário, das 9:00 às 10:30 horas, sendo tomadas três amostras por parcela experimental, na profundidade de 0-10 cm. Estas amostras foram homogeneizadas, para obtenção do peso úmido (P_u) e peso

seco (P_s), com estes dados foi calculada a umidade gravimétrica, através da formula $U_{(g/g)} = (P_u - P_s) * 100/P_s$ (Embrapa, 1997).

A avaliação das perdas de N por volatilização de N-NH₃ foi realizada até os 25 dias após a aplicação da adubação de cobertura, num total de oito coletas em campo. Foi utilizado um sistema semi-aberto estático adaptado por Araújo et al. (2009), que consta de câmaras confeccionadas a partir de frascos de plástico transparentes tipo PET de dois litros. No interior do frasco, foi inserida uma fatia de espuma, suspensa, de 0,3 cm de espessura, 2,5 cm de largura e 25 cm de comprimento umedecida com solução de ácido sulfúrico (1,5 mol L⁻¹) e glicerina (4%), acondicionada no frasco de 80 mL. Esta espuma era substituída a cada coleta de campo. A amônia retida nas espumas foi extraída mediante lavagem com água destilada e deionizada, agitando-se durante 15 minutos. Na sequência retirou-se duas alíquotas de 20 mL e procedeu-se à destilação em destilador de arraste de vapores, e posterior titulação com ácido sulfúrico (H₂SO₄) 0,0025 mol L⁻³. Para estimar a real taxa de volatilização de N-NH₃ no solo, utilizou-se o fator de correção de 1,74, conforme Araújo et al. (2009).

Foram coletados solos para quantificação da atividade da urease aos 0, 2, 7, 11 e 15 dias após adubação de cobertura, e análise de pH, aos quinze dias após adubação de cobertura, na profundidade de 0-10 cm. O solo foi mantido em refrigeração a 4 °C, até análise de urease e posteriormente secados, para análise de pH conforme metodologia descrita pela Embrapa (1997). A atividade de urease foi determinada de acordo com Kandeler & Geber (1988), com base na determinação de amônia liberada após a incubação do solo por duas horas.

A leitura do índice relativo de clorofila no feijoeiro foi realizada com o aparelho clorofilômetro (unidades SPAD – Soil Plant Analysis Developement) modelo Minolta SPAD – 502, aos 20, 30, 41, 48 e 60 dias após emergência (DAE), em vinte folhas por parcela.

No estágio de pleno florescimento (aos 48 DAE) foram coletadas três plantas de feijoeiro para análise da massa de matéria seca aérea da parte aérea (MSPA) e teor de N total nas folhas. As folhas foram lavadas e secadas em estufa a 65°C, até massa constante, e, posteriormente, pesada e moída. A determinação do teor de N total foi realizada por digestão-destilação pelo método Kjeldahl. Com esses resultados, foi estimado o N total acumulado (kg ha⁻¹) na parte aérea do feijoeiro.

Por ocasião da colheita, realizada aos 89 dias após a emergência, foram avaliadas as seguintes variáveis: rendimento de grãos (kg ha^{-1}), massa de 100 grãos (g), número de vagens por planta e número de grãos por vagem. Para avaliação da produtividade de grãos e massa de 100 grãos, foram colhidos seis metros de cada parcela experimental, descartando-se a bordadura. E, para número de vagens por planta e número de grãos por vagem foram colhidas três plantas na área útil da parcela. A umidade dos grãos foi corrigida para 13%.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e, quando significativo as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, e a análise de regressão, conforme o tratamento. Foram determinados os coeficientes de correlação de Pearson para as variáveis de interesse. Para normalização do erro experimental, os dados de volatilização diária e acumulada foram transformados em raiz quadrada de $x+0,5$.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 Umidade gravimétrica e pH do solo

Na primeira avaliação de umidade gravimétrica do solo, realizada no dia 08/07, não houve influência significativa da quantidade de palhada de tifton na superfície (Figura 4.3). No entanto, nas outras seis avaliações realizadas observou-se que houve diferença significativa ($p < 0,05$) da umidade do solo em razão das quantidades de palhada sobre o solo, e que, em geral houve maior umidade no solo conforme as quantidades crescentes de palhada. Estes resultados condizem com a literatura sobre a importância da manutenção de palhada na superfície do solo e os efeitos no armazenamento da água, devido a diminuição das perdas por evaporação, como também, a redução da temperatura do solo (Bragagnolo & Mielniczuk, 1990; Bortoluzzi & Eltz, 2000).

Observa-se (Figura 4.3) que não houve diferença significativa, em todas as épocas avaliadas, entre quantidades de palhada de 10 e 20 Mg ha^{-1} . Observa-se, também, que houve maiores variações de umidade do solo no tratamento sem palhada sobre a superfície do solo. Bragagnolo & Mielniczuk (1990) avaliaram efeito da cobertura do solo com resíduos culturais na umidade do solo, através da aplicação de quatro doses de palha

de trigo (0,0; 2,5; 5,0 e 7,5 Mg ha⁻¹), e concluíram que a aplicação de 7,5 Mg ha⁻¹ de palha contribuiu para armazenar 10% a mais de água do que o solo descoberto.

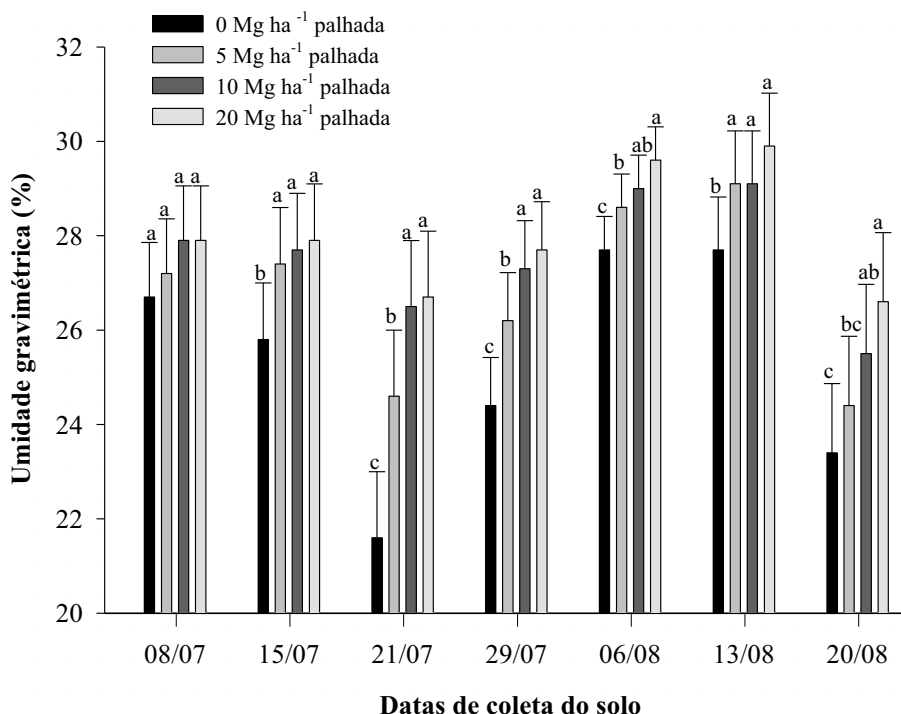


Figura 4.3. Umidade do solo em razão da quantidade de palhada na superfície do solo (0; 5; 10 e 20 Mg ha⁻¹), em sete épocas de avaliação, sob cultivo com feijoeiro, Santo Antônio de Goiás, GO, 2009. Letras iguais, entre as quantidades de palhada, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Aos 15 dias após a adubação nitrogenada em cobertura, o pH do solo não foi influenciado significativamente ($p < 0,05$) em razão das fontes nitrogenadas e das quantidades de palhada de tifton na superfície do solo, assim como, não houve interação entre estes tratamentos. Entretanto, é possível verificar o aumento do pH com o aumento crescente das quantidades de palhada (Tabela 4.1).

Sousa & Silva (2009) avaliaram o efeito de fontes nitrogenadas no pH de um Latossolo Vermelho Distroférrico, e obtiveram que aos 30 e 45 dias após aplicação destas não houve diferença significativa do pH entre as fontes uréia e Sulfammo[®], corroborando os resultados deste trabalho, entretanto, houve diferença destas fontes com a utilização de sulfato de amônio. Porém, quando estes autores avaliaram aos 60 dias após aplicação obtiveram efeito significativo no pH do solo, havendo uma maior acidificação promovida pela aplicação de sulfato de amônio, seguido pela utilização do Sulfammo[®] e uréia, com valores de pH em água de 5,06, 5,45 e 5,57, respectivamente.

Tabela 4.1. Valores de pH do solo cultivado com feijoeiro, em razão das fontes nitrogenadas e da quantidade de palhada na superfície do solo. Santo Antônio de Goiás, GO, 2009

Tratamentos	pH
Fontes	
Uréia	5,37 a
N liberação gradual	5,21 a
D.M.S. (5%)	0,22
C.V. (%)	5,81
Quantidade de palhada	
0 Mg ha ⁻¹	5,20
5 Mg ha ⁻¹	5,22
10 Mg ha ⁻¹	5,24
20 Mg ha ⁻¹	5,49
Média geral	5,29

Médias seguidas de letras iguais, entre as fontes, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

4.3.2 Atividade de urease e volatilização de amônia

A atividade da enzima urease no solo não foi influenciada significativamente pela aplicação das fontes nitrogenadas e pelas quantidades de palhada de tifton sobre o solo, assim como, não houve interações entre estes tratamentos (Tabela 4.2). Resultados diferentes foram obtidos por Lanna et al. (2010) que obtiveram maior atividade de urease no solo cultivado com feijoeiro sobre palhada de capim-mombaça, aproximadamente 6,5 mg N-NH₄⁺ kg solo⁻¹ 2 h⁻¹, quando comparada com o sorgo, 4,0 mg N-NH₄⁺ kg solo⁻¹ h⁻¹, os quais apresentaram quantidade de matéria seca da parte aérea de 16,1 Mg ha⁻¹ e 5,5 Mg ha⁻¹, respectivamente. Segundos os autores, essa maior atividade de urease no solo pode estar relacionada a uma maior disponibilidade de N-orgânico oriundo de exsudados de raízes e dos próprios resíduos radiculares deixados por essa espécie vegetal. Entretanto, esses resultados podem estar relacionados além da quantidade de palhada, ao tipo de material orgânico (liberação de exsudados e produção da enzima urease), sendo importante ressaltar que estas espécies foram cultivadas, diferindo do presente trabalho, em que, as quantidades de palhada foram adicionadas na superfície do solo. De acordo com Gianfreda & Bollag (1996), a atividade microbiana e enzimática costuma ser promovida pela adição de fertilizantes e resíduos orgânicos ao solo, no entanto, estes últimos podem também conter poluentes (metais pesados, componentes orgânicos tóxicos), que dependendo da concentração podem reduzir as atividades de enzimas no solo.

Tabela 4.2. Atividade da enzima urease no solo cultivado com feijoeiro, em razão das fontes nitrogenadas e da quantidade de palhada na superfície do solo. Santo Antônio de Goiás, GO, 2009

Tratamentos	Urease ($\mu\text{g N-NH}_4^+ \text{ g solo}^{-1} 2 \text{ h}^{-1}$)
Fontes	
Uréia	13,702 a
N liberação gradual	14,007 a
D.M.S. (5%)	1,727
C.V. (%)	39,86
Quantidade de palhada	
0 Mg ha^{-1}	13,710
5 Mg ha^{-1}	12,664
10 Mg ha^{-1}	14,805
20 Mg ha^{-1}	14,244
Média geral	13,850

Médias seguidas de letras iguais, entre as fontes, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Houve diferença significativa ($p < 0,01$) da atividade de urease no solo entre as épocas avaliadas, no entanto, não houve interação destas épocas com as fontes e quantidades de palhada sobre o solo. Pode-se observar na Figura 4.4 que os valores de atividade de urease ajustaram-se ao modelo quadrático, em que a máxima atividade estimada foi de $16,07 \mu\text{g N-NH}_4^+ \text{ g solo}^{-1} 2 \text{ h}^{-1}$ aos quatro dias após adubação em cobertura. Lanna et al. (2010) concluíram que o pico de atividade de urease, de aproximadamente $6,2 \text{ mg N-NH}_4^+ \text{ kg solo}^{-1} \text{ h}^{-1}$, ocorreu entre o sétimo e oitavo dia após a aplicação de uréia, independentemente das espécies de cobertura e do preparo do solo sob cultivo irrigado do feijoeiro comum.

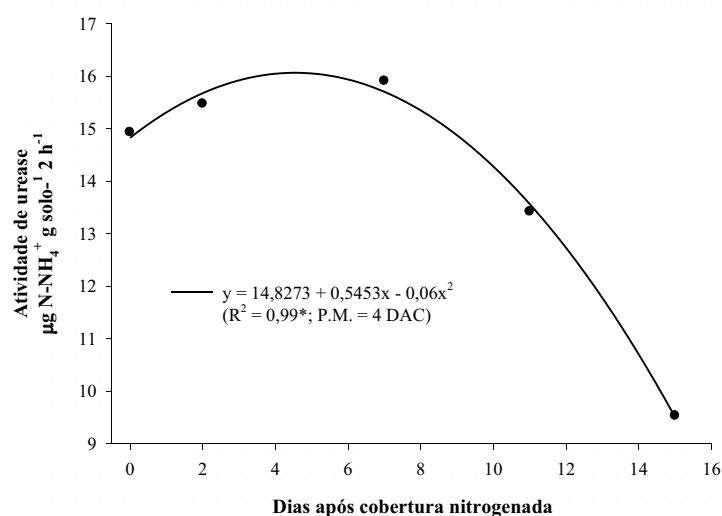


Figura 4.4. Atividade da enzima urease no solo cultivado com feijoeiro, em razão das épocas de avaliação (dias após cobertura nitrogenada - DAC). Santo Antônio de Goiás, GO, 2009

Houve influência significativa na taxa diária de volatilização de N-NH_3 em razão das interações entre: fontes nitrogenadas e quantidade de palhada de tifton ($p < 0,01$); fontes nitrogenadas e épocas de avaliação ($p < 0,01$) e, quantidade de palhada e épocas de avaliação ($p < 0,05$).

As perdas diárias de N-NH_3 em razão da quantidade de palhada sobre o solo em função do tempo estão representadas na Figura 4.5. Observa-se que a taxa diária de volatilização de N-NH_3 comportou-se de forma semelhante em razão das quantidades de palhada, havendo um aumento crescente a partir do segundo dia após adubação nitrogenada de cobertura (DAC), com os picos de máxima taxa ocorrendo no sétimo DAC, se estabilizando a partir do décimo primeiro DAC (Figura 4.5). Este padrão temporal de perdas de N por volatilização de N-NH_3 foi semelhante ao determinado por outros autores (Freney et al., 1995; Scivittaro et al., 2010). Em todos os tratamentos, a volatilização de N-NH_3 teve início já nos primeiros dias, confirmando observações anteriores de que a hidrólise da uréia no solo se dá com relativa rapidez (Byrnes, 2000).

A taxa diária de volatilização de N-NH_3 foi influenciada pela quantidade de palhada sobre a superfície do solo somente aos sete DAC (Figura 4.5), em que, a quantidade de 5 Mg ha^{-1} de palhada diferiu estatisticamente dos outros tratamentos, proporcionando uma taxa diária máxima, de $1,113 \text{ kg ha}^{-1}$ de N-NH_3 por dia. Os tratamentos sem palhada, 10 Mg ha^{-1} e 20 Mg ha^{-1} de palhada na superfície do solo não diferiram estatisticamente entre si, proporcionando uma taxa de $0,652 \text{ kg ha}^{-1}$ de $\text{N-NH}_3 \text{ dia}^{-1}$, $0,352 \text{ kg ha}^{-1}$ de $\text{N-NH}_3 \text{ dia}^{-1}$ e $0,394 \text{ kg ha}^{-1}$ de $\text{N-NH}_3 \text{ dia}^{-1}$, respectivamente (Figura 4.5). Neste trabalho, é importante ressaltar que aos 20 DAE, quando se realizou a adubação nitrogenada de cobertura, nas parcelas com 5 Mg ha^{-1} de palhada tinha-se muito pouca palhada na superfície do solo. Estes resultados indicam uma maior taxa diária de volatilização de N-NH_3 nas parcelas com menos palhada da superfície do solo. Corroborando com este trabalho, Duarte (2007) obteve maiores perdas de volatilização de N-NH_3 do solo descoberto comparado com solo coberto com palhada de amendoim forrageiro, milho e cana-de-açúcar. O mesmo autor obteve pico máximo de volatilização no décimo segundo dia após a aplicação do adubo nitrogenado. Segundo o autor isto, possivelmente, se justificaria pelo aumento da temperatura ambiente ocorrida entre o quinto e décimo quinto dia.

É difícil de prever as perdas de N-NH_3 por volatilização em razão da presença dos resíduos culturais. Alguns autores citam que estes resíduos podem aumentar a

concentração e a atividade da urease, o que aumentaria a volatilização de N-NH_3 (McInnes et al., 1986; Moal et al., 1995), no entanto, a presença destes resíduos culturais na superfície do solo diminuem a temperatura e a perda de umidade por evaporação (Bragagnolo & Mielniczuk, 1990), além de aumentar a CTC do solo (Souza & Alves, 2003), o que poderia diminuir a volatilização de N-NH_3 (Ceretta, 1997).

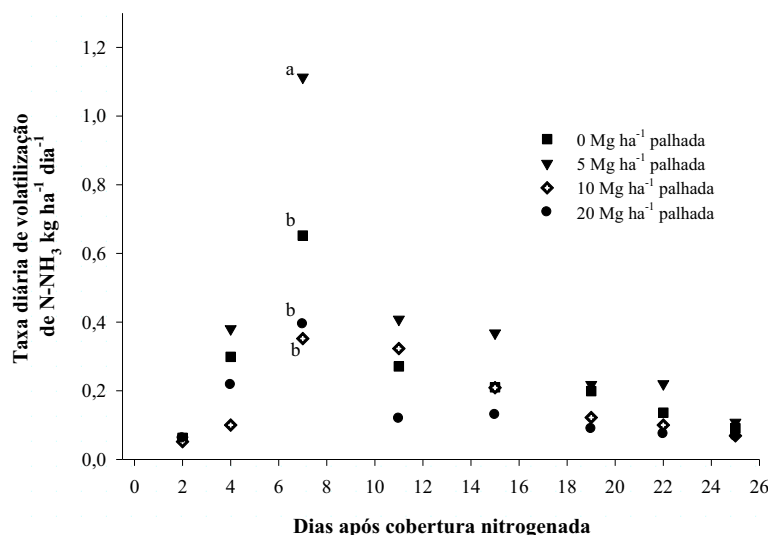


Figura 4.5. Taxa diária de volatilização de N-NH_3 do solo cultivado com feijoeiro, em razão interação quantidade de palhada na superfície do solo x épocas de avaliação. Santo Antônio de Goiás, GO, 2009. Letras iguais, entre as quantidades de palhada, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Houve maior taxa diária de volatilização de N-NH_3 com a utilização da fonte N de liberação gradual quando aplicada sobre as quantidades de palhada de 0 Mg ha^{-1} , 5 Mg ha^{-1} e 20 Mg ha^{-1} , de $0,355$, $0,519$, $0,189 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ de N-NH_3 , respectivamente (Figura 4.6). Entretanto, somente na quantidade de palhada de 10 Mg ha^{-1} a taxa diária de volatilização de N-NH_3 foi maior com a utilização de uréia comparada com N de liberação gradual, de $0,213$ e $0,119 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ de N-NH_3 . A taxa diária de volatilização de N-NH_3 aplicando uréia sobre as quantidades de palhada se ajustou numa equação quadrática, com taxa máxima de $0,215 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ de N-NH_3 , na quantidade de palhada estimada de $9,3 \text{ Mg ha}^{-1}$.

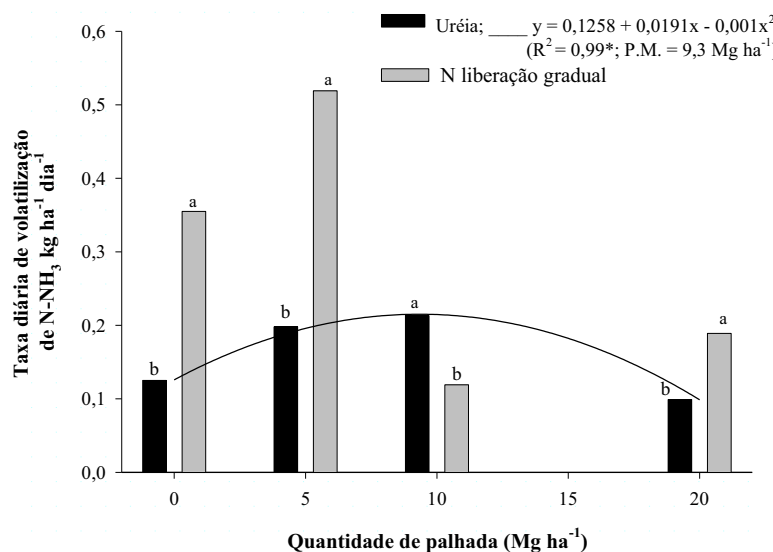


Figura 4.6. Taxa diária de volatilização de N-NH₃ do solo cultivado com feijoeiro, em razão da interação fontes nitrogenadas x quantidade de palhada na superfície do solo. Santo Antônio de Goiás, GO, 2009. Letras iguais, entre as fontes nitrogenadas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Na Figura 4.7 observa-se a taxa diária de volatilização de N-NH₃ em razão da interação entre épocas de avaliação e fontes nitrogenadas. Houve diferença significativa entre as fontes aos quatro e sete dias após a adubação nitrogenada em cobertura, em que a fonte N liberação gradual favoreceu uma maior taxa diária de volatilização de N-NH₃, de 0,435 e 0,904 kg ha⁻¹ dia⁻¹, e a uréia 0,063 e 0,351 kg ha⁻¹ dia⁻¹, respectivamente. Provavelmente, a irrigação de 19 mm de água, logo após a adubação, pode ter favorecido a incorporação da uréia devido a sua alta solubilidade, consequentemente, diminuindo as perdas por volatilização de N-NH₃. Entretanto, a utilização da fonte N liberação gradual, que apresenta uma granulação maior e uma menor solubilização, em comparação com a uréia, não foi eficiente na diminuição da taxa diária de volatilização de N-NH₃.

A volatilização acumulada de N-NH₃ foi influenciada pelas quantidades de palhada ($p < 0,05$), entretanto, não houve influência das fontes nitrogenadas, como também, não houve interação significativa entre quantidade de palhada e fontes nitrogenadas (Tabela 4.3; Figura 4.8). Apesar de não haver diferença significativa da volatilização de N-NH₃ em razão da fonte, observa-se na Tabela 4.3 que a utilização da fonte N liberação gradual favoreceu uma volatilização de N-NH₃ 39% maior comparada com a utilização da uréia. Contudo, conforme citado anteriormente, a lâmina de 19 mm de água pode ter sido suficiente para incorporação da uréia, e, consequentemente, resultando em menores perdas

acumuladas de N-NH_3 . A incorporação da uréia no solo diminui a volatilização em razão de aumentar a probabilidade do amônio formado ser retido pelas cargas elétricas negativas do solo (Rodrigues & Kiehl, 1986), à medida que a NH_3 difunde para a superfície do solo e encontra valores de pH mais baixos do que ao redor dos grânulos do fertilizante.

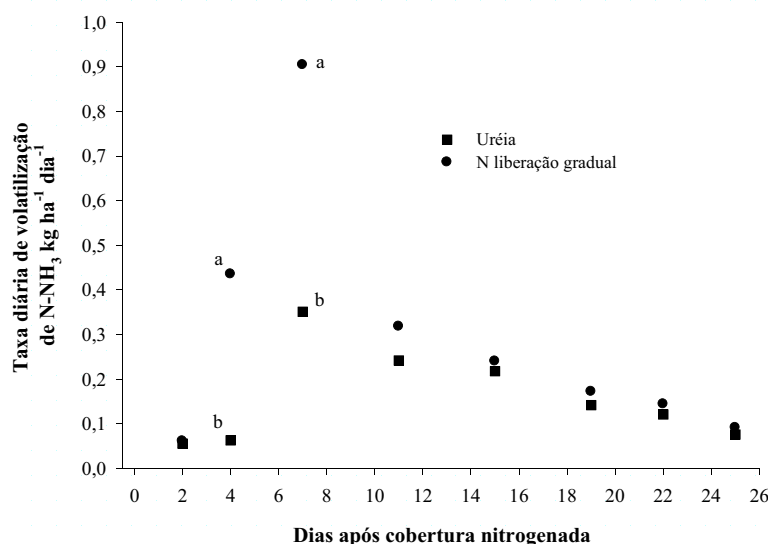


Figura 4.7. Taxa diária de volatilização de N-NH_3 do solo cultivado com feijoeiro, em razão da interação fontes nitrogenadas x épocas de avaliação. Santo Antônio de Goiás, GO, 2009. Letras iguais, entre as fontes nitrogenadas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Tabela 4.3. Volatilização acumulada de N-NH_3 no solo cultivado com feijoeiro, em razão da interação fontes nitrogenadas x quantidades de palhada na superfície do solo. Santo Antônio de Goiás, GO, 2009

Quantidade de palhada	Fontes	
	Uréia	N liberação gradual
	kg ha ⁻¹	
0 Mg ha ⁻¹	2,945	7,627
5 Mg ha ⁻¹	4,918	10,823
10 Mg ha ⁻¹	5,109	2,712
20 Mg ha ⁻¹	2,308	3,851
Médias	3,820 a	6,253 a
C.V. (%)	25,74	

Médias seguidas de mesma letra, minúsculas na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Esperava-se com este trabalho volatilizações de N-NH_3 maiores no solo coberto com 10 e 20 Mg ha⁻¹ de palhada, pois, vários pesquisadores têm observado que a presença de resíduos vegetais na superfície do solo contribui para aumentar as perdas de N-

NH_3 por volatilização após o emprego de uréia, atribuindo-se esse fato à presença da enzima urease nesses resíduos (McInnes et al., 1986; Santos et al., 1991). Segundo Barreto & Westerman (1989), a atividade da urease na presença de resíduos de palha pode ser de 18 a 25 vezes maior do que a de locais sem resíduos, provavelmente devido a esta estar presente nestes resíduos. Entretanto, como já observado por outros autores, o efeito benéfico da palha superficial na diminuição da volatilização de N-NH_3 , provavelmente, se deve à manutenção de maior umidade do solo, a qual favorece a nitrificação e ao mesmo tempo diminui a difusão ascendente de N-NH_3 que ocorre juntamente com a evaporação da água do solo (Bragagnolo & Mielniczuk, 1990; Al-Kanani et al., 1991). Outro aspecto a se considerar, é que a imobilização de N inorgânico pelos microrganismos durante a decomposição dos resíduos pode resultar em redução das perdas de N-NH_3 .

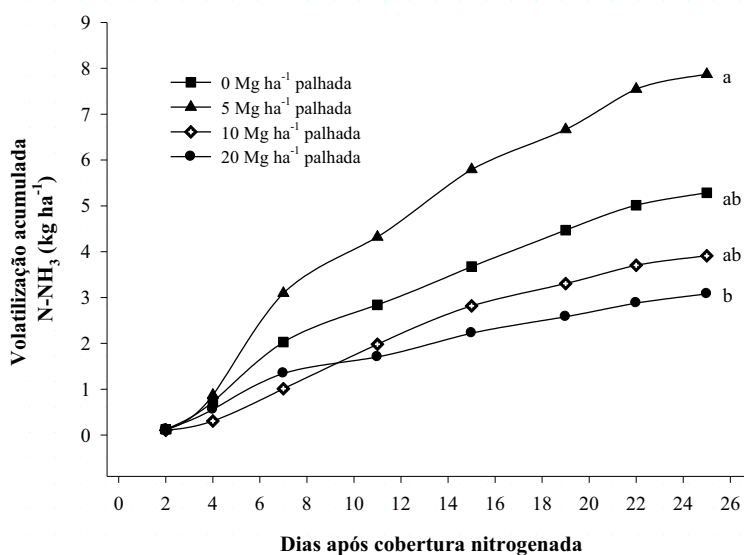


Figura 4.8. Volatilização acumulada N-NH_3 aos 25 dias após cobertura nitrogenada, no solo cultivado com feijoeiro, em razão da quantidade de palhada na superfície do solo. Santo Antônio de Goiás, GO, 2009. Letras iguais, entre as fontes nitrogenadas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Da Ros et al. (2005) avaliaram o efeito da presença e ausência de resíduos culturais de aveia preta, dispostos na superfície do solo, nas perdas de N por volatilização de N-NH_3 , com aplicação de uréia no milho, e observaram que na cobertura nitrogenada houve maiores perdas de volatilização de N-NH_3 do solo descoberto e, segundo os autores, este resultado pode ser explicado pela menor umidade do solo neste tratamento.

Sangoi et al. (2003) avaliaram em condições de laboratório a volatilização de N-NH_3 em duas classes de solo, com palhada (aveia preta) e sem palhada, e verificaram

que no solo argiloso (Nitossolo Vermelho) a volatilização foi maior quando o solo estava descoberto; entretanto, no solo Neossolo Quartzarênico o resultado foi o oposto. Provavelmente, o baixo teor de água existente no solo arenoso não foi suficiente para promover o arraste ascendente de grandes quantidades de N-NH_3 , como observado no solo argiloso sem resíduos na superfície.

A maior volatilização acumulada de $7,87 \text{ kg ha}^{-1}$ de N-NH_3 no solo com 5 Mg ha^{-1} de palhada (Tabela 4.3), representou menos de 10% do total de N aplicado em cobertura, de 80 kg ha^{-1} . Portanto, as perdas de N por volatilização de N-NH_3 , obtidas neste trabalho, em razão das fontes e das quantidades de palhada sobre o solo foram relativamente baixas, comparadas aos valores encontrados com aplicação de uréia em superfície em outros trabalhos (Lara Cabeza et al, 1997; Tasca et al, 2011)

A taxa diária de volatilização de N-NH_3 não correlacionou significativamente com a atividade da enzima urease nas cinco datas de avaliação (Tabela 4.4). Estes resultados indicam que outros fatores estão influenciando a volatilização de N-NH_3 além da atividade da enzima. Também, não houve correlação significativa da volatilização de N-NH_3 e atividade da enzima urease com o pH do solo aos 15 dias após adubação de cobertura.

Tabela 4.4. Coeficientes de correlação (r) entre umidade média do solo durante o período avaliado, taxa diária de volatilização de N-NH_3 e atividade de urease aos 0, 2, 7, 11 e 15 dias após cobertura nitrogenada, e pH do solo aos 15 dias após cobertura nitrogenada. Cálculo a partir das médias das variáveis fontes de N e palhada de tifton no solo (n=32).

Variáveis	r
Urease x Volatilização aos 0 DAC	-0,289 ^{n.s.}
Urease x Volatilização aos 2 DAC	0,067 ^{n.s.}
Urease x Volatilização aos 4 DAC	-0,100 ^{n.s.}
Urease x Volatilização aos 11 DAC	0,025 ^{n.s.}
Urease x Volatilização aos 15 DAC	0,168 ^{n.s.}
Urease x pH aos 15 DAC	-0,284 ^{n.s.}
Volatilização x pH aos 15 DAC	-0,277 ^{n.s.}

n.s.: não significativo pelo Teste t a 5% de probabilidade.

4.3.3 Massa de matéria seca da parte aérea, teor de N total nas folhas e N acumulado na parte aérea do feijoeiro

A MSPA do feijoeiro no florescimento foi influenciada pelas fontes nitrogenadas, uréia e N de liberação gradual, utilizadas em cobertura, e, pela quantidade de palhada de tifton sobre o solo (Tabela 4.5). No entanto, não houve interação significativa entre as fontes nitrogenadas e quantidade de palhada sobre o solo.

Houve um maior acúmulo de MSPA do feijoeiro utilizando uréia, como fonte nitrogenada em cobertura, em comparação à fonte N de liberação gradual, de 8,3 e de 6,4 g por planta, respectivamente (Tabela 4.5). Resultados diferentes aos obtidos por Carvalho et al. (2001), Alvarez et al. (2005) e Binotti et al. (2009) que não observaram diferenças na MSPA do feijoeiro em razão da utilização de diferentes fontes nitrogenadas em cobertura.

Tabela 4.5. Massa de matéria seca da parte aérea (MSPA), teor de N total nas folhas e N acumulado do feijoeiro no florescimento, cultivado sob quatro quantidades de palhada na superfície do solo e adubado com duas fontes nitrogenadas. Santo Antônio de Goiás, GO, 2009

Tratamentos	MSPA (g planta ⁻¹)	Teor de N (g kg ⁻¹)	N acumulado (kg ha ⁻¹)
Fontes			
Uréia	8,30 a	41,75 a	75,00 a
N liberação gradual	6,40 b	40,69 a	57,11 a
D.M.S. (5%)	1,85	1,91	19,37
C.V. (%)	34,32	6,31	66,05
Quantidade de palhada			
0 Mg ha ⁻¹	10,80	43,83	103,09
5 Mg ha ⁻¹	8,12	40,98	70,68
10 Mg ha ⁻¹	5,28	40,55	46,80
20 Mg ha ⁻¹	5,14	39,53	43,65
Média geral	7,34	41,22	66,10

Médias seguidas de letras iguais, entre as fontes, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

As quantidades crescentes de palhada sobre o solo influenciaram negativamente na produção de MSPA do feijoeiro (Figura 4.9), e os dados ajustaram-se ao modelo quadrático, obtendo-se uma menor MSPA de 4,72 g por planta, na quantidade de 16 Mg ha⁻¹ de palhada sobre o solo. Oliveira et al. (2002) estudaram o efeito de diferentes palhadas na MSPA do feijoeiro e dentre os resultados obtidos, a utilização de palhada de milheto (14 Mg ha⁻¹) proporcionou maior acúmulo de MSPA do feijoeiro, de 1126,0 kg ha⁻¹, quando comparada com a palhada de sorgo + mucuna preta (9 Mg ha⁻¹) de 558,69 kg ha⁻¹;

entretanto, a MSPA do feijoeiro cultivado sobre a palhada de mucuna (1 Mg ha^{-1}) não diferiu significativamente dos tratamentos citados anteriormente, e foi de $736,79 \text{ kg ha}^{-1}$. Os resultados obtidos por estes autores indicam que a produção de MSPA do feijoeiro está relacionada com a espécie produtora de palha, e não com a quantidade de palhada produzida por estas. Contudo, de acordo com os resultados obtidos neste trabalho, a utilização do capim tifton como palhada pode ter causado efeito alopático na produção de MSPA do feijoeiro, e isso foi intensificado com as quantidades crescentes desta palhada.

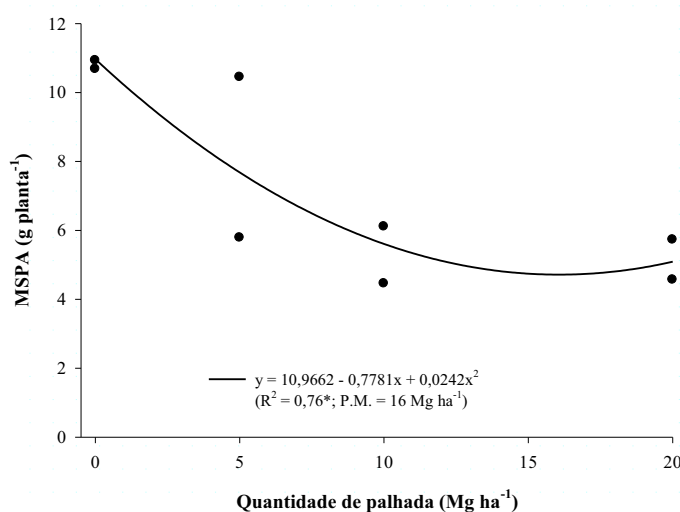


Figura 4.9. Massa de matéria seca da parte aérea (MSPA) do feijoeiro no florescimento, cultivado sob diferentes quantidades de palhada na superfície do solo. Santo Antônio de Goiás, GO, 2009

O teor de N total nas folhas e a quantidade acumulada de N na parte aérea do feijoeiro não foram influenciados pelas fontes nitrogenadas utilizadas em cobertura (Tabela 4.5). Resultados semelhantes foram obtidos por Arf (2010) utilizando uréia, sulfonitrato de amônio (Entec[®] 26) e sulfato de amônio, em adubação nitrogenada no feijoeiro, durante dois anos, e, concluiu que estas fontes não influenciaram no teor de N foliar, obtendo em média 42,3, 43,3 e 42,8 g kg, para as respectivas fontes.

Entretanto, o cultivo do feijoeiro sob as quantidades de palhada de tifton influenciou significativamente no teor de N total nas folhas e na quantidade de N acumulada pela parte aérea do feijoeiro. Na Figura 4.10a podemos observar que os dados se ajustaram ao modelo quadrático, havendo uma diminuição do teor de N total nas folhas, com o aumento da palhada na superfície do solo, até a quantidade estimada de 17 Mg ha^{-1} de palhada, com o teor mínimo de N total nas folhas de $39,5 \text{ g kg}^{-1}$. Contudo, este teor de

N foliar, de $39,5 \text{ g kg}^{-1}$, no feijoeiro no florescimento, é considerado adequado para a cultura de acordo com Malavolta et al. (1997) que citaram valores entre 30 e 50 g kg^{-1} . Ferreira et al. (2009) avaliaram o teor de N de milho cultivado sob diferentes quantidades de palha de aveia-preta (sem palha, 5,16 e $10,32 \text{ Mg ha}^{-1}$), e observaram que o incremento da quantidade de palha na superfície do solo provocou aumento na altura de requeima das folhas pela deficiência de N. Segundo os autores, isso se explica pela imobilização do N mineral do solo (NH_4^+ e NO_3^-) pelos microrganismos, para decomposição do resíduo vegetal, na época de demanda de N pela planta (Sá, 1996), o que justifica os resultados obtidos neste trabalho.

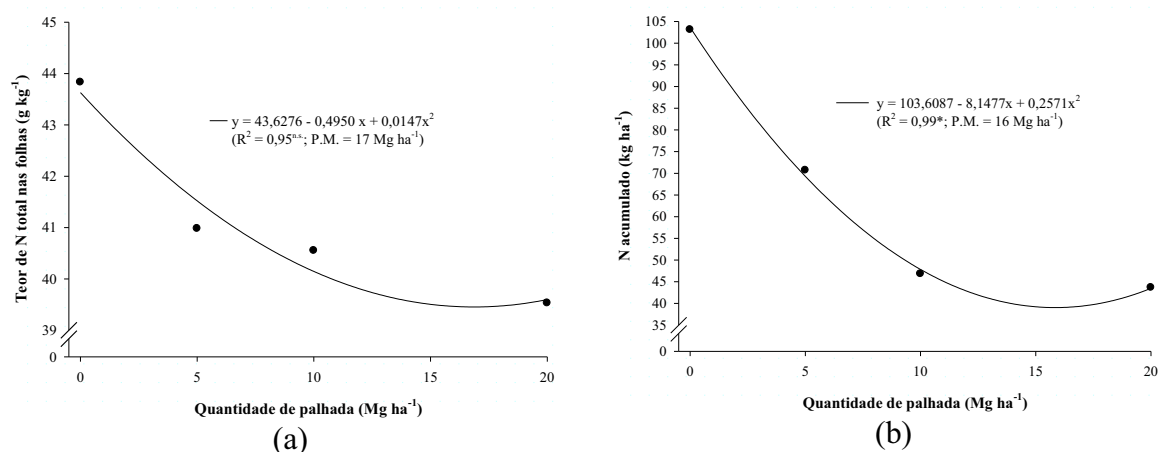


Figura 4.10. Teor de N total nas folhas (a) e N acumulado (b) no feijoeiro cultivado sob diferentes quantidades de palhada na superfície do solo. Santo Antônio de Goiás, GO, 2009

Na Figura 4.10b, observamos que o acúmulo de N na parte aérea do feijoeiro, também, foi influenciado negativamente com as quantidades crescentes de palhada de tifton sobre o solo. Houve um ajuste dos dados ao modelo quadrático, com mínimo acúmulo de N na parte aérea do feijoeiro de $39,0 \text{ kg ha}^{-1}$ na quantidade estimada de palhada de 16 Mg ha^{-1} (Figura 4.10b).

As variáveis produção de MSPA, teor de N total nas folhas e N acumulado na parte aérea do feijoeiro ajustaram ao modelo quadrático em razão das quantidades de palhada de tifton na superfície do solo (Figura 4.9; Figura 4.10). Estes resultados, possivelmente, estão ocorrendo devido a imobilização do N por microrganismo do solo, em razão do aumento da quantidade de palhada.

A utilização de uréia e N de liberação gradual não influenciaram no índice relativo de clorofila do feijoeiro, tendo em média 42,02 e 41,62 unidades SPAD, respectivamente. Resultado diferente aos obtidos por Teixeira Filho et al. (2010) que constatarem diferença significativa entre as fontes de N, no teor de clorofila na folha bandeira de trigo, com maior teor observado com uso do sulfato de amônio em comparação ao uso de uréia e Entec (43,50, 42,02 e 42,03 unidades SPAD, respectivamente). As diferenças nas características das diversas fontes de N avaliadas podem auxiliar no entendimento da variação do índice relativo de clorofila.

Houve interação significativa entre as quantidades de palhada e as épocas de leituras. Observa-se na Figura 4.11a que houve um aumento linear no índice relativo de clorofila do feijoeiro durante o período avaliado, até 60 dias após emergência, nas diferentes quantidades de palhada sobre o solo. Barbosa Filho et al. (2009) ao avaliarem o índice relativo de clorofila, observaram que este foi crescente em razão dos DAE, estabilizando-se a partir dos 51 DAE, época em que as plantas encontravam-se na fase de florescimento.

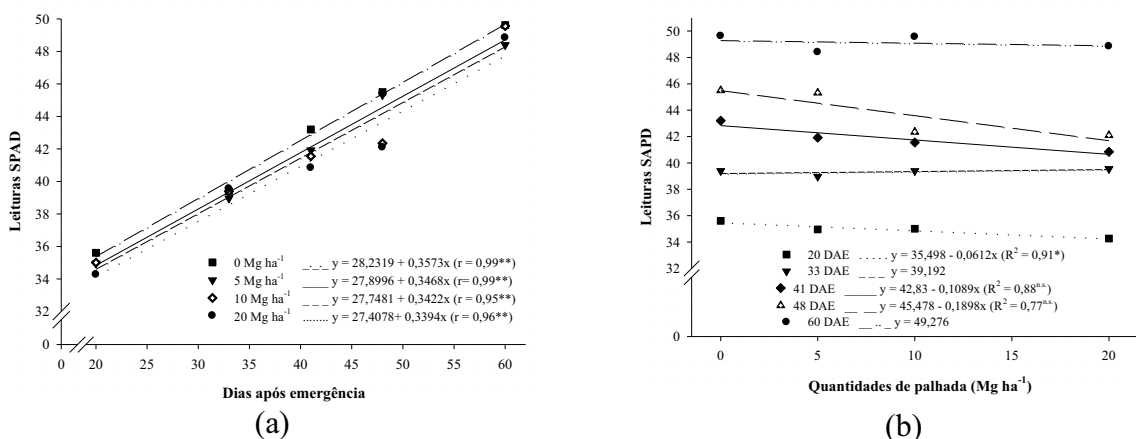


Figura 4.11. Leituras do índice relativo de clorofila (SPAD), em razão da interação quantidade de palhada x épocas de avaliação (a) e épocas de avaliação x quantidades de palhada na superfície do solo (b). Santo Antônio de Goiás, GO, 2009

O índice relativo de clorofila diminuiu com o aumento das quantidades crescente de palhada sobre o solo aos 20, 41 e 48 dias após emergência (Figura 4.11b). No entanto, aos 33 e 60 DAE não houve efeito significativo das quantidades de palhada no índice relativo de clorofila do feijoeiro. Segundo Piekielek & Fox (1992), o fornecimento

de N às plantas pela mineralização da matéria orgânica pode, temporariamente, compensar eventual deficiência de N e aumentar o índice relativo de clorofila nas folhas no momento da tomada de leituras no aparelho. Em áreas de SPD, em que os resíduos são mantidos na superfície do solo, a dinâmica do N no solo é modificada, consequentemente, este pode ficar imobilizado no solo durante um período e poderá ocorrer a liberação temporária de N para a cultura sucessora devido a decomposição e mineralização dos resíduos vegetais e influenciar nas leituras do clorofilômetro.

4.3.4 Rendimento do feijoeiro

A utilização das fontes nitrogenadas, uréia e N de liberação gradual, em cobertura no feijoeiro não influenciaram significativamente no rendimento de grãos e nos componentes de produção (Tabela 4.6), resultados semelhantes foram obtidos por Arf (2010) que avaliando as mesmas variáveis e utilizando como fonte nitrogenada, uréia, sulfonitrato de amônio e sulfato de amônio, não obtiveram diferenças significativas entre estas. A não influência das fontes nitrogenadas no rendimento de grãos do feijoeiro tem sido obtida por outros autores, tais como: Rapassi et al. (2003), Barbosa Filho et al. (2004) e Alvarez et al. (2005).

Este trabalho corrobora com os de vários autores não verificaram diferenças no número de vagens por planta com a utilização de diferentes fontes de N, Arf et al. (1992) e Carvalho et al. (2001) com utilização de uréia e sulfato de amônio, Rapassi et al. (2003) e Alvarez et al. (2005) utilizando uréia e nitrato de amônio, e com Binotti et al. (2009) utilizando uréia (U), sulfato de amônio (SA) e U+SA (1:1).

O número de grãos por vagem não sofreu influência das fontes nitrogenadas, possivelmente devido a esta característica está mais relacionada com a hereditariedade genética da cultura. Alvarez et al. (2005) e Binotti et al. (2009) também não verificaram efeitos das fontes de N nesse componente de produção do feijoeiro.

As quantidades crescentes de palhada de tifton sobre o solo influenciaram negativamente as variáveis rendimento de grãos, massa de 100 grãos, número de vagens por planta e número de grãos por vagem (Tabela 4.6). Observa-se na Figura 4.12 que estas variáveis se ajustaram a equações de regressão linear, em razão das quantidades de palhada.

Tabela 4.6. Rendimento de grãos, número de vagem por planta, número de grãos por vagem e massa de 100 grãos do feijoeiro cultivado sob quatro quantidades de palhada na superfície do solo e adubado com duas fontes nitrogenadas. Santo Antônio de Goiás, GO, 2009

Tratamentos	Rendimento (kg ha ⁻¹)	Nº vagem planta ⁻¹	Nº de grãos vagem ⁻¹	Massa de 100 grãos (g)
Fontes				
Uréia	2.110 a	6,9 a	5,3 a	23,92 a
N liberação gradual	1.913 a	6,1 a	5,2 a	23,77 a
D.M.S. (5%)	470,70	1,36	0,40	2,38
C.V. (%)	31,83	28,52	10,48	13,55
Quantidade de palhada				
0 Mg ha ⁻¹	2.730	7,7	5,7	27,03
5 Mg ha ⁻¹	2.354	8,1	5,4	25,21
10 Mg ha ⁻¹	1.538	5,2	4,9	22,50
20 Mg ha ⁻¹	1.423	4,9	4,8	20,64
Média geral	2.011	6,5	5,3	23,9

Médias seguidas de letras iguais, entre as fontes, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

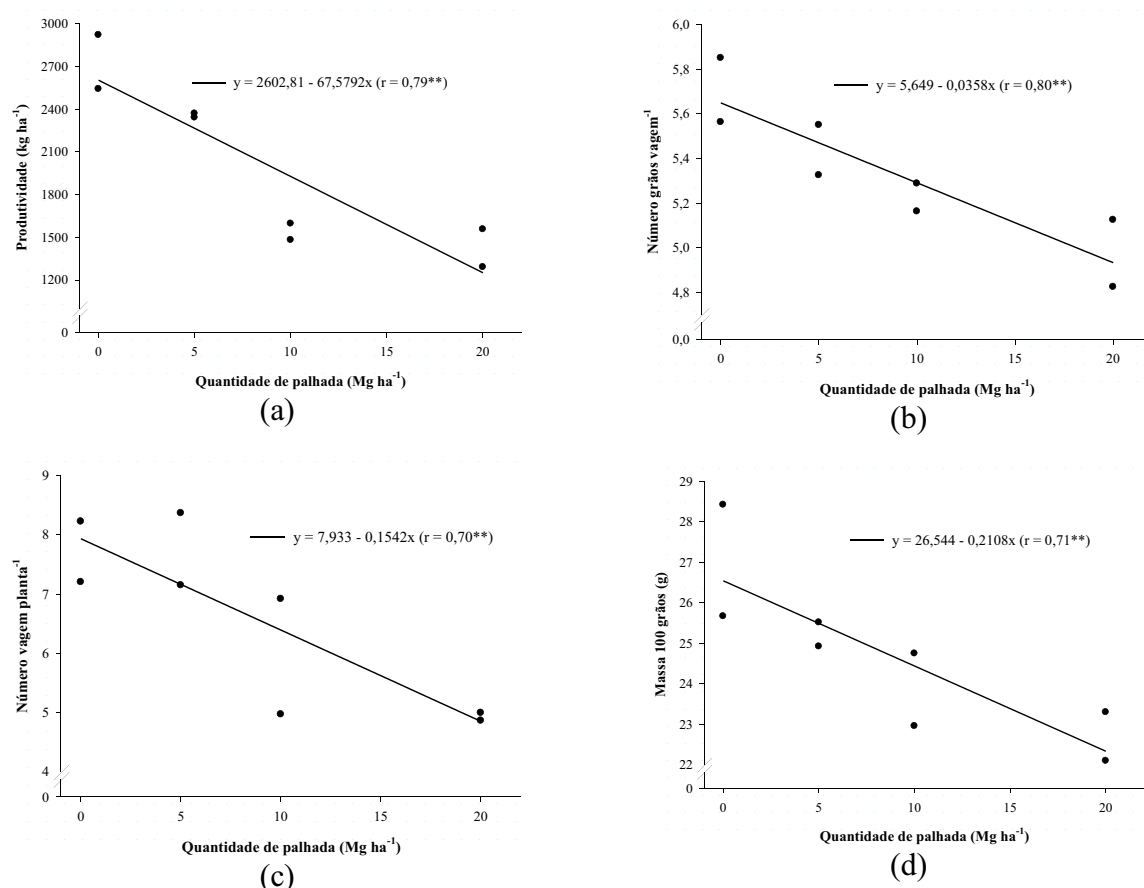


Figura 4.12. Produtividade de grãos (a), número de vagem por planta (b), número de grãos por vagem (c) e massa de 100 grãos (d) do feijoeiro cultivado sob diferentes quantidades de palhada na superfície do solo. Médias das fontes nitrogenadas. Santo Antônio de Goiás, GO, 2009

Resultados diferentes foram obtidos por Mateus et al. (2007) que constataram incremento na produtividade de grãos de soja com a adição de palhada na superfície do solo, atingindo o maior valor na dose calculada de 26 Mg ha⁻¹. Para estes autores este resultado em decorrência do aumento da quantidade de palhada, relaciona-se à adequada absorção de nutrientes pela cultura em virtude, principalmente, da manutenção da umidade disponível no solo. Entretanto, Ferreira et al. (2009) estudaram o efeito da quantidade de palha de aveia-preta (0, 5,16 e 10,32 Mg ha⁻¹) na superfície do solo cultivado com três genótipos de milho, e observaram que estes apresentaram comportamento diferenciado em relação à produtividade de grãos; o genótipo AG 9020 teve produtividade de 10.195 e 10.042 kg ha⁻¹, e o AG 8021 de 10.102 e 9.904 kg ha⁻¹, no tratamento sem palha e com 10,32 Mg ha⁻¹ de palha, respectivamente.

Resultados diferentes dos obtidos neste trabalho foram observados por Nunes et al. (2006), que obtiveram menores produtividades e massa de 100 grãos do feijoeiro, cv. Talismã, cultivado num solo sem palhada quando comparada a um solo com *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk, e *Panicum maximum* cv. Tanzânia (as quais produziram 11 Mg ha⁻¹ de matéria seca). Os mesmos autores não obtiveram influência significativa positiva para as variáveis número de vagens por planta e número de sementes por vagem, utilizando os mesmos tratamentos.

Pinto et al. (2003) obtiveram que as quantidades de 3,43 e 6,86 Mg ha⁻¹ de palha de azevém provocaram reduções no rendimento de grãos de arroz de 8,78 e 17,56% (564 e 1128 kg ha⁻¹), respectivamente em relação ao tratamento sem palha de azevém. Segundo os autores uma das causas da redução do rendimento de grãos do arroz em razão do aumento da quantidade de palha pode ser a liberação de substâncias tóxicas pela decomposição da palha.

Neste trabalho, a umidade mantida durante a condução do experimento pode ter favorecido a liberação de compostos orgânicos da palhada de tifton com algum efeito alelopático no feijoeiro. Segundo Correia & Durigan (2008) os efeitos alelopáticos envolvem a liberação de compostos orgânicos que inibem o desenvolvimento de espécies cultivadas e plantas invasoras.

É importante ressaltar que as mudanças no solo ocasionadas pela presença de palhada sobre a superfície do solo, podem favorecer a disseminação de microrganismos de alta capacidade saprofítica, como *Fusarium solani* e *Rizoctonia solani*, patógenos do feijoeiro, adaptados a temperaturas mais baixas e maior umidade do solo, e, pode restringir

ao desenvolvimento de agentes de controle biológico como *Trichoderma* spp., menos adaptados a solos úmidos e frios (Prado et al., 2008).

Na Tabela 4.7 são apresentados os coeficientes de correlação entre algumas variáveis de interesse. Observa-se que o teor de N total nas folhas correlacionou-se significativamente e positivamente com o índice relativo de clorofila (leitura SPAD), refletindo na MSPA, e no rendimento de grãos do feijoeiro. A relação entre leitura SPAD e teor de N nas folhas é atribuída, principalmente, ao fato de 50 % a 70 % do N total das folhas serem integrantes de compostos associados aos cloroplastos e ao conteúdo de clorofila das folhas (Chapman & Barreto 1997). Piekielek & Fox (1992), Smeal & Zhang (1994), Teixeira Filho et al. (2010) e Cardoso (2011) também constataram que o índice relativo de clorofila da folha se correlaciona positivamente com a produtividade das culturas, evidenciando a importância do nutriente tanto no que se refere ao estado nutricional da planta quanto no rendimento de grãos.

Observa-se que não houve correlação entre a volatilização de N-NH_3 acumulada e o rendimento de grãos do feijoeiro, portanto, conforme Watson et al. (1998) não se pode assumir que a redução das perdas de NH_3 será convertida em aumento de produção de culturas.

Tabela 4.7. Coeficientes de correlação (r) entre teor de N total nas folhas, N acumulado, massa de matéria seca da parte aérea (MSPA), índice relativo de clorofila (SPAD) no feijoeiro em florescimento, rendimento de grãos e volatilização acumulada de N-NH_3 . Cálculo a partir das médias das variáveis nas fontes de N e palhada de tifton no solo testadas (n=32)

Variáveis	r
Teor N total nas folhas x N acumulado	0,725**
Teor N total nas folhas x MSPA	0,669**
Teor N total nas folhas x SPAD	0,464**
Teor N total nas folhas x rendimento de grãos	0,316 ^{n.s.}
N acumulado x MSPA	0,986**
N acumulado x rendimento de grãos	0,659**
SPAD x rendimento de grãos	0,664**
Rend. de grãos x volatilização acumulada	0,291 ^{n.s.}

n.s.: não significativo. **: significativo pelo Teste t a 1% de probabilidade.

4.4 CONCLUSÕES

Os resultados permitem concluir que:

5. A volatilização acumulada de N-NH_3 não foi influenciada pelas fontes nitrogenadas, entretanto, 20 Mg ha^{-1} de palhada de tifton sobre o solo proporciona menor volatilização acumulada quando comparada a 5 Mg ha^{-1} ;
6. Não há diferença na influência das fontes nitrogenadas nas variáveis: teor de N total nas folhas, N acumulado na parte aérea, índice relativo de clorofila, rendimento de grãos, massa de 100 grãos, número de vagens por planta e número de grãos por vagem;
7. As quantidades crescentes de palhada de tifton utilizadas como cobertura do solo têm efeito negativo sobre a produtividade, massa de 100 grãos, número de vagens por planta e número de grãos por vagem do feijoeiro.

4.5 REFERÊNCIAS

- AL-KANANI, T.; MACKENZIE, A. F.; BARTHAKUR, N. N. Soil water and ammonia volatilization relationships with surface-applied nitrogen fertilizer solutions. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 55, n. 6, p. 1761-1766, 1991.
- ALVARENGA, A. P. **Resposta da planta e do solo ao plantio direto e convencional, de sorgo e feijão, em sucessão a milho, soja e crotalária**. 1996. 162 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1996.
- ALVAREZ, A. C. C.; ARF, O.; ALVAREZ, R. C. F.; PEREIRA, J. C. R. Resposta do feijoeiro à aplicação de doses e fontes de nitrogênio em cobertura no sistema de plantio direto. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 27, n. 1; p. 69-75, 2005.
- ARAÚJO, E. da S.; MARSOLA, T.; MIYAZAWA, M.; SOARES, L. H. de B.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R. Calibração de câmara semi-aberta estática para quantificação de amônia volatilizada do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 7, p. 769-776, 2009.
- ARF, O. FERNANDES, F. M.; JACOMINO, A. P.; BUZETTI, S. Comparação de fontes e doses de adubos nitrogenados na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivado no sistema de "Plantio direto". **Cultura Agrônômica**, Ilha Solteira, v. 1, n. 1, p. 21-30, 1992.
- ARF, M. V. **Fontes, doses e épocas de aplicação de nitrogênio em feijoeiro de inverno irrigado no sistema plantio direto**. 2010. 68 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2010.

BALLOTA, E. L.; ANDRADE, D. S.; COLOZZI FILHO, A. Avaliações microbiológicas em sistemas de preparo do solo e sucessão de culturas. In: CONGRESSO BRASILEIRO PLANTIO DIRETO PARA UMA AGRICULTURA SUSTENTÁVEL, 1996, Ponta Grossa. **Resumos expandidos...** Ponta Grossa: IAPAR, 1996, v. 1, p. 9-11.

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

BARBOSA FILHO, M. P.; COBUCCI, T.; FAGERIA, N. K.; MENDES, P. N. Época de aplicação de nitrogênio no feijoeiro irrigado monitorada com auxílio de sensor portátil. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 2, p. 425- 431, 2009.

BARRETO, H. J.; WESTERMAN, R. L. Soil urease activity in winter wheat residue management systems. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 53, n. 5, p. 1455-1458, 1989.

BINOTTI, F. F. S.; ARF, O.; SÁ, M. E.; BUZETTI, S.; ALVAREZ, A. C.; KAMIMURA, K. M. Fontes, doses e modo de aplicação de N em feijoeiro no sistema plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 2, p. 473-481, 2009.

BORTOLUZZI, E. C.; ELTZ, F. L. F. Efeito do manejo mecânico da palhada de aveia preta sobre a cobertura, temperatura, teor de água no solo e emergência da soja em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 449-457, 2000.

BRAGAGNOLO, L.; MIELNICZUK, J. Cobertura do solo por palha de trigo e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, n. 3, p. 369-374, 1990.

BYRNES, B. H. Liquid fertilizers and nitrogen solutions. In: **International Fertilizer Development Center**. Fertilizer manual. Alabama: Kluwer Academic. 2000. p. 20-44,

CARDOSO, S. de M. **Fontes e doses de nitrogênio na nutrição qualidade do feijoeiro**. 2011. 65 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agrônômica, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

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

CERETTA, C. A. Manejo da adubação nitrogenada na sucessão aveia-milho, no sistema plantio direto. In: FRIES, M. R.; DALMOLIN, R. S. D. (Coord.) **Atualização em recomendação de adubação e calagem: ênfase em plantio direto**. Santa Maria: Pallotti, 1997. Cap. 5, p. 112-124.

CHAPMAN, S. C.; BARRETO, H. J. Using a chlorophyll meter to estimate specific leaf nitrogen of tropical maize during vegetative growth. **Agronomy Journal Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 89, n. 4, p. 557-562, 1997.

CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira:** grãos, primeiro levantamento, outubro 2011/Companhia Nacional de Abastecimento. Brasília: Conab, 2011. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_10_11_14_19_05_boletim_outubro-2011.pdf>. Acesso em: 24 novembro, 2011.

CORREIA, N. M.; DURIGAN, J. C. Culturas de cobertura e sua influência na fertilidade do solo sob sistema de plantio direto. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 24, n. 4, p. 20-31, 2008.

COSTAMILAN, L. M. Doenças de soja cultivada em sistema plantio direto. In: SANTOS, H. P. DOS; FONTANELI, R.S., SPERA, S.T.; PIRES, J.L.; TOMM, G. O. **Eficiência de soja cultivada em modelos de produção sob plantio direto**. Passo Fundo: Embrapa trigo, 2005. p. 158-176.

DA ROS, C. O.; AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Volatilização de amônia com aplicação de uréia na superfície do solo, no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 4, p. 799-805, 2005.

DUARTE, D. S. A. **Perdas de amônia por volatilização em solo tratado com uréia, na presença de resíduos culturais**. 2007. 64 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA/SCNLS) – **Manual de métodos de análise de solos**, Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

ERTHAL, V. J. T.; FERREIRA, P. A.; PEREIRA, O. G.; MATOS, A. T. de. Características fisiológicas, nutricionais e rendimento de forrageiras fertirrigadas com água residuária de bovinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 5, p. 458–466, 2010.

FAGERIA, N. K.; STONE, C. F. Produtividade de feijão no sistema plantio direto com aplicação de zinco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 1, p. 73-78, 2004.

FERREIRA, A. de O.; SÁ, J. C. de M.; BRIEDIS, C.; FIGUEIREDO, A. G. de. Desempenho de genótipos de milho cultivados com diferentes quantidades de palha de aveia-preta e doses de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 2, p. 173-179, 2009.

FRENEY, J. R.; KEERTHISINGHE, D. G.; PHONGPAN, S.; CHAIWANAKUPT, P.; HARRINGTON, K. J. Effect of urease, nitrification and algal inhibitors on ammonia loss and grains yield of flooded rice in Thailand. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 40, n. 3, p. 225- 233, 1995.

GIANFREDA, L.; BOLLAG, J. M. Influence of natural and anthropogenic factors on enzyme activity in soil. In: STOTZKY, G.; BOLLAG J. M. (Ed.). **Soil Biochemistry**. New York: Marcel Dekker, 1996. v. 9, p. 123-194.

KANDELER, E.; GERBER, H. Short-term assay of soil urease activity using colorimetric determination of ammonium. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 6, p. 68-72, 1988.

LANNA, A. C.; SILVEIRA, P. M.; SILVA, M. B.; FERRARESI, T. M.; KLIEMANN, H. J. Atividade de urease no solo com feijoeiro influenciada pela cobertura vegetal e sistemas de plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 6, p. 1933-1939, 2010.

LARA CABEZAS, W. A. R.; TRIVELIN, P. C. O. Eficiência de um coletor semi-aberto estático na quantificação de N-NH₃ volatilizado da uréia aplicada ao solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, n. 3, p. 345-352, 1990.

LARA CABEZAS, W. A. R.; KORNDÖRFER, G. H.; MOTTA, S. A. Volatilização de N-NH₃ na cultura de milho: II. Avaliação de fontes sólidas e fluidas em sistema de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n. 3, p. 489-496, 1997.

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

MARTHA JUNIOR, G. B.; CORSI, M.; TRIVELIN, P. C. O.; ALVES, M. C. Nitrogen recovery and loss in a fertilized elephant grass pasture. **Grass and Forage Science**, Exeter, v. 59, n. 1, p. 80-90, mar. 2004.

MATEUS, G. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; BORGHI, E. Efeito da palhada do sorgo de guiné “gigante” na nutrição foliar e produtividade da soja em plantio direto. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 29, n. 4, p. 497-502, 2007.

MATTOS JUNIOR, D.; QUAGGIO, J. A.; CANTEARELLA, H.; BOARETTO, A. E. Nitrogênio e enxofre na cultura dos citros. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. e; VITTI, G. C. (Ed.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: INPI, 2007. p. 413-443.

McINNIS, K. J. K. J.; FERGUSON, R. B.; KISSEL, D. E.; KANEMASU, E. T. Ammonia loss from applications of urea-ammonium nitrate solution to straw residue. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 50, n. 4, p. 969-974, 1986.

MOAL, J. F.; MARTINEZ, J.; GUIZIOU, F.; COSTE, C. M. Ammonia volatilization following surface-applied pig and cattle slurry in France. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 25, n. 2, p. 245-252, 1995.

NUNES, U. R.; ANDRADE JÚNIOR, V. C.; SILVA, E. de B.; SANTOS, N. F.; COSTA, H. A. O.; FERREIRA, C. A. Produção de palhada de plantas de cobertura e rendimento do feijão em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 6, p. 943-948, 2006.

OLIVEIRA, F. H. T.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. F. Fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W.V.; COSTA, L. M. (Ed.) **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. p. 195-276.

PIEKIELEK, W. P.; FOX, R. H. Use of a chlorophyll meter to predict sidedress nitrogen requirements for maize. **Agronomy Journal**, Madison, v. 84, n. 1, p. 59-65, 1992.

PINTO, E. G.; RIGHES, A. A.; MARCHEZAN, E. Rendimento do arroz e manejo da irrigação e da palha de azevém no sistema mix de pré-germinado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 2, p. 227-231, 2003.

PRADO, T. dos S.; BRANDÃO, R. S.; LOBO JUNIOR, M.; SILVEIRA, P. M. da. Distribuição de *Fusarium* spp., *Trichoderma* spp. e *Rhizoctonia solani* no perfil do solo cultivado com feijoeiro comum em plantio direto e convencional. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 2008, Campinas-SP, **Resumos expandidos...** Documentos, IAC, Campinas, 2008. 1043-1046 p.

RAPASSI, R. M. A.; VALÉRIO FILHO, W. V.; SÁ, A. A. B.; SÁ, M. E.; CARVALHO, M. A. C.; BUZETTI, S.; ARF, O. Níveis e fontes de nitrogênio sobre o feijoeiro de inverno. **Cultura Agrônômica**, Ilha Solteira, v. 12, n. 1, p. 103-115, 2003.

RIBEIRO, K. G.; PEREIRA, O. G. Produtividade de matéria seca e composição mineral do capim-Tifton 85 sob diferentes doses de nitrogênio e idades de rebrotação. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 4, p. 811-816, 2011.

RODRIGUES, M. B.; KIEHL, J. C. Volatilização de amônia após emprego de uréia em diferentes doses e modos de aplicação. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v. 10, n. 1, p. 37-43, 1986.

SÁ, J. C. de M. **Manejo da fertilidade do solo no plantio direto**. Castro: Fundação ABC, 1993. 96 p.

SÁ, J. C. de M. **Manejo de nitrogênio na cultura de milho no sistema plantio direto**. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1996. 23 p.

SÁ, J. C. de M.; CARDOSO, E. G.; SANTOS, J. B. Dos; OLIVEIRA, A. F. De; FERREIRA, C. F.; MASSINHAM, A.; SIUTA JUNIOR, D.; SÁ, M. F. M. Manejo de fertilizantes nitrogenados em sistemas de produção envolvendo os cultivos soja/trigo e soja/milho no sistema plantio direto. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. e; VITTI, G. C. (Ed.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: INPI, 2007. p. 567-649.

SANGOI, P. R. E.; RAMPAZZO, V. A. L. C. Volatilização de N-NH₃ em decorrência da forma de aplicação de uréia, manejo de resíduos e tipo de solo, em laboratório. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 4, p.687-692, 2003.

SANTOS, A. R.; VALLE, F. R.; SANTOS, J. A. G. Avaliação de parâmetros cinéticos da hidrólise da uréia em solos do sul de Minas Geria. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v. 15, p. 309-313, 1991.

SANTOS, F. C. dos; ALBUQUERQUE FILHO, M. R. de; FERREIRA, G. B.; CARVALHO, M. da C. S.; SILVA FILHO, J. L. da; PEDROSA, M. B.; BARBOSA, C. A. da S. **Pesquisas com fertilidade do solo em sistemas de cultivo no Oeste da Bahia - safra 2008/2009**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2009. 58 p. (Documentos 89).

SCIVITTARO, W. B.; GONÇALVES, D. R. N.; VALE, M. L. C. do; RICORDI, V. G. Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia e resposta do arroz irrigado à aplicação de uréia tratada com o inibidor de urease NBPT. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 6, p. 1283-1289, 2010.

SMEAL, D., ZHANG, H. Chlorophyll meter evaluation for nitrogen management in corn. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 25, n. 9-10, p. 1495-1503, 1994.

SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C.; Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho Distrófico de Cerrado sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 133-139, 2003.

SOUSA, R. A.; SILVA, T. R. B. Acidificação de um Latossolo Vermelho Distroférico em função da aplicação de nitrogênio oriundo de uréia, sulfato de amônio e sulfammo. **Cultivando o Saber**, Cascavel, v. 2, n. 3, p. 78-83, 2009.

TASCA, F. A.; ERNANI, P. R.; ROGERI, D. A.; GATIBONI, L. C.; CASSOL, P. C. Volatilização de amônia do solo após a aplicação de uréia convencional ou com inibidor de urease. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 2, p. 493-502, 2011.

TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; BUZETTI, S.; ANDREOTTI, M.; ARF, O.; BENETT, C. G. S. Doses, fontes e épocas de aplicação de nitrogênio em trigo irrigado em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 8, p. 797-804, 2010.

WATSON, C. J.; POLAND, P.; ALLEN, M. B. D. The efficacy of repeated applications if the urease inhibitor N-(n-butyl) thiophosphoric triamide (nBTPT) for improve the efficiency of urea fertiliser utilization on temperate grassland. **Grass and Forage Science**, Oxford, v. 53, n. 2, p. 137-145, 1998.

ZAVASCHI, E. **Volatilização de amônia e produtividade do milho em função da aplicação de uréia revestida com polímeros**. 2010. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

5 VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA DE FONTES DE NITROGÊNIO APLICADAS NO FEIJOEIRO IRRIGADO CULTIVADO EM PLANTIO DIRETO

RESUMO

Visando diminuir as perdas de nitrogênio (N) em sistemas agrícolas, novos adubos nitrogenados estão sendo disponibilizados no mercado, entretanto, resultados sobre a eficiência destes nas condições de Cerrado ainda são inconsistentes. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de fontes de N no rendimento de grãos do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto, e quantificar as perdas por volatilização de amônia (NH₃). O experimento foi conduzido na safra de inverno de 2010, na Embrapa Arroz e Feijão, no município de Santo Antônio de Goiás, GO. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, com cinco repetições. Os tratamentos constaram de cinco fontes de N (uréia; uréia + NBPT; uréia + polímero; sulfato de amônio e nitrato de amônio) e um tratamento testemunha (sem N); sendo aplicados 20 kg ha⁻¹ de N na semeadura e 80 kg ha⁻¹ de N em cobertura, aos 26 dias após emergência. Foram avaliados a taxa de volatilização de NH₃, a volatilização acumulada de NH₃, a atividade de urease no solo, o teor de clorofila nas folhas do feijoeiro, o teor de N e a massa de matéria seca da parte aérea (MSPA) do feijoeiro no florescimento, o número de vagem por planta, o número de grãos por vagem, a massa de 100 grãos, o rendimento de grãos e o estande final do feijoeiro. As fontes nitrogenadas não influenciaram na atividade da enzima urease no solo, no teor de N total do feijoeiro. A utilização de nitrato de amônio reduziu significativamente as perdas de N-NH₃ por volatilização, quando comparado com a utilização de uréia, a qual proporcionou perdas de 10% do N aplicado. A utilização da uréia recoberta com polímero e uréia com inibidor de urease, não proporcionou aumentos no número de grãos por vagem, número de vagens por planta, massa de 100 grãos e rendimento de grãos, comparadas com as fontes tradicionais de N, uréia, sulfato de amônio e nitrato de amônio.

Palavras-chave: NBPT, uréia recoberta com polímero, nitrato de amônio, sulfato de amônio, *Phaseolus vulgaris* L.

ABSTRACT

AMMONIA VOLATILIZATION FROM NITROGEN SOURCES IN IRRIGATED COMMON BEANS UNDER ZERO-TILLAGE

Aiming to reduce losses of nitrogen (N) in agricultural systems, new nitrogen fertilizers are available in the market, however, does not have results on the efficiency of

the Cerrado conditions. With that objective of this study was to evaluate the effect of N sources on yield of irrigated common beans in no-tillage system, and quantify the losses due to ammonia (NH_3) volatilization. The experiment was conducted in the winter crop of 2010, at Embrapa Arroz e Feijão, in Santo Antônio de Goiás, State of Goiás, Brazil. The experimental design was randomized blocks, with five replicates. Treatments consisted of five N sources (urea, urea + NBPT, urea + polymer, ammonium sulphate, and ammonium nitrate) and a control (without N) being applied 20 kg ha^{-1} of N at sowing and 80 kg ha^{-1} of N in topdressing, to 26 days after emergence. We evaluated the rate of NH_3 volatilization, NH_3 volatilization accumulated, the urease activity in soil, the chlorophyll content in leaves of common beans, the leaf N content and dry mass weight (MSPA) in the flowering of common beans, the number of pods per plant, number of grains per pod, mass of 100 grains, grain yield and final stand of the common beans. The sources of nitrogen fertilizer did not influence the activity of the enzyme urease in soil, leaf N content, the mass of MSPA and the relative chlorophyll index of common beans. The use of ammonium nitrate significantly reduced N- NH_3 losses by volatilization, compared with the use of urea, which brought losses of 10% of N applied. The use of polymerized urea and urea with urease inhibitor, did not produce increases in the number of grains per pod, number of pods per plant, mass of 100 grains and common beans yield compared to traditional sources of N, urea, ammonium sulfate and ammonium nitrate.

Key words: NBPT, polymer-coated urea, ammonium nitrate, ammonium sulphate, *Phaseolus vulgaris* L.

5.1 INTRODUÇÃO

O feijoeiro é a terceira maior cultura plantada no Brasil, atrás da soja e milho, com estimativa de área plantada de 4,0 milhões de hectares na safra 2010/11 (Conab, 2011). É plantado durante todo o ano em três safras, com uma produtividade média nacional de 945 kg ha^{-1} , média muito aquém do potencial da cultura que é de 4 Mg ha^{-1} . O feijoeiro cultivado em terceira safra na região Centro-Oeste é conduzido com maior nível tecnológico, principalmente com uso de irrigação, visando altas produtividades.

No Bioma Cerrado, a adoção do sistema plantio direto (SPD) é uma alternativa sustentável dos recursos naturais e utilização agrícola do solo. Neste sistema a forma de manejo conservacionista envolve um conjunto de técnicas integradas que visam otimizar o potencial genético de produção das culturas com simultânea melhoria das condições ambientais (água-solo-clima). Porém, dentre as tecnologias indicadas para este sistema de cultivo, a adubação nitrogenada é a que tem gerado maior número de questionamentos. As dúvidas se referem desde mecanismos controladores da disponibilidade do nitrogênio e das reações das diferentes fontes de nitrogênio (N) no solo, até à prática da adubação quanto às doses, métodos e épocas de aplicação (Barbosa Filho et al., 2005).

Dentre os fertilizantes nitrogenados mais comuns, sulfato de amônio (SA), uréia e nitrato de amônio (NA), o mais utilizado no mundo é a uréia, por apresentar maior concentração de N (46% N) e apresenta menor custo por unidade de nutriente. Mas para o N ser utilizado pelas plantas a uréia deve sofrer hidrólise, que é a quebra da uréia pela enzima urease a dióxido de carbono (CO_2) e amônia (NH_3), e, conseqüentemente, o N na forma de NH_3 pode ser perdido por volatilização, quando aplicado principalmente na superfície do solo. Entretanto, o SA e o NA em condições de solos ácidos, como os solos do Cerrado, não sofrem perdas significativas por volatilização de NH_3 , podendo estas ocorrer em solos calcários (Stipp & Prochnow, 2008).

Vários produtos, antigos ou novos, estão sendo vistos com amplo interesse devido a modificações recentes no contexto agrônomo e ambiental; neste último caso porque estes podem assumir um papel de destaque nos cenários de mitigação das emissões de gases de efeito estufa (GEE), como o óxido nitroso (N_2O). Tais insumos diminuíram consideravelmente as perdas de N por volatilização de NH_3 (Contin, 2007; Fontoura & Bayer, 2010).

Com esta finalidade de reduzir as perdas por volatilização e aumentar a eficiência de uso do N, estão sendo testados fertilizantes de liberação lenta ou com solubilidade controlada e os fertilizantes estabilizados, que contêm aditivos ou inibidores da urease (Cantarella, 2007). No entanto, devido aos elevados preço de tais produtos, são utilizados em nichos de mercado de alto valor agregado.

Atualmente, o único inibidor de urease de importância prática comercial é o N–(n-butil) tiofosfórico triamida ou NBPT, cujo efeito permanece cerca de 14 dias (Vitti & Heirinchs, 2007). O atraso na hidrólise reduz a concentração de NH_3 presente na superfície do solo, diminui o potencial de volatilização de NH_3 e permite o deslocamento da uréia para horizontes mais profundos do solo (Christianson et al., 1990). Os benefícios da mistura uréia + NBPT são dependentes das mesmas variáveis que controlam a volatilização da amônia e ainda não se pode assumir que a redução das perdas de NH_3 será convertida em aumento de produção de culturas (Watson et al., 1998). Cantarella et al. (2004) avaliaram a aplicação de fontes de N em milho e obtiveram maior produtividade de grãos e menor perda de volatilização de amônia no tratamento com uréia tratada com NBPT (7.868 kg ha^{-1} e 12,2 %), quando comparada com o tratamento com uréia (6.960 kg ha^{-1} e 62,3%).

O revestimento de uréia pode ser feito com vários produtos, dentre estes a utilização de polímeros. Estes organizam-se na superfície dos grânulos formando uma

proteção e revestimento semipermeável que permite a gradual solubilidade dos nutrientes. Pereira et al. (2009) avaliaram doses e fontes nitrogenada aplicados no milho safrinha e obtiveram que os tratamentos com uréia revestida com polímero e uréia com inibidor de urease reduziram a volatilização de N em torno de 50% em relação a uréia comum, e que o uso destas fontes refletiu em maiores produtividades.

O presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito de fontes de N aplicados em semeadura e cobertura, na volatilização de amônia e na produtividade do feijoeiro irrigado, sob sistema plantio direto, nas condições de Cerrado.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado na Fazenda Capivara, pertencente a Embrapa Arroz e Feijão, localizada no município de Santo Antônio de Goiás, GO, cujas coordenadas do local são: 16°28' de latitude sul e 49°17' de longitude oeste e altitude de 823 metros. O clima da região de acordo com a classificação Köepen & Geiger (1928) é do tipo Aw, com inverno seco, verão chuvoso e com temperatura média anual do ar de 22,6°C, com médias mínimas e máximas de 14,1°C e 31,3°C, respectivamente. Os dados climatológicos durante a condução do experimento são apresentados na Figura 5.1.

O solo é classificado como Latossolo Vermelho distrófico (Embrapa, 2006), de textura argilosa (554 g kg⁻¹ de argila, 111 g kg⁻¹ de silte e 335 g kg⁻¹ de areia). A análise química do solo na camada de 0,0 a 0,2 m, anterior à instalação do experimento, apresentou os seguintes resultados analíticos: pH (H₂O) = 5,1; Ca = 1,23 (cmol_c dm⁻³); Mg = 0,31 (cmol_c dm⁻³); P = 29,2 (mg dm⁻³); K = 0,17 (cmol_c dm⁻³); e matéria orgânica = 23 (g dm⁻³).

Na área experimental, no ano de 2009, em SPD, foi cultivado no inverno feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), sobre palhada de braquiária (*Urochloa ruzizienzis*), e no verão milho (*Zea mays* L.). Em março de 2010 foi aplicado 4 Mg ha⁻¹ de cálcario dolomítico. Posteriormente, no mês de maio, a área foi dessecada com o herbicida glifosato na dose de 2,17 kg ha⁻¹ i.a.. E, aos cinco dias antes da semeadura do feijoeiro, no mês de junho, foi aplicado novamente o herbicida glifosato na dose de 1,92 kg ha⁻¹ i.a.

No dia da semeadura do feijoeiro, 08 de junho de 2010, a massa de matéria seca da palhada sobre o solo foi estimada com a utilização de um quadro de ferro, com

0,25 m² de área interna, retirando-se manualmente toda palhada superficial contida na área interna, evitando-se coletar solo aderido. Foram coletadas 30 amostras na área e encaminhadas ao laboratório de Análises Agroambiental da Embrapa Arroz e Feijão. Estas amostras foram secas em estufa a 65°C, até massa constante, e em seguida foram pesadas e moídas; para análise do N pelo método de Dumas (Kalra, 1998) utilizando-se um analisador elementar PerkinElmer CHNS/O 2400 Série II. O gás N₂ proveniente da amostra é quantificado por meio de um detector de condutividade térmica. Foram estimados 5,3 Mg ha⁻¹ de palhada na superfície do solo, na semeadura do feijoeiro, a qual apresentava em média 40 kg ha⁻¹ de N.

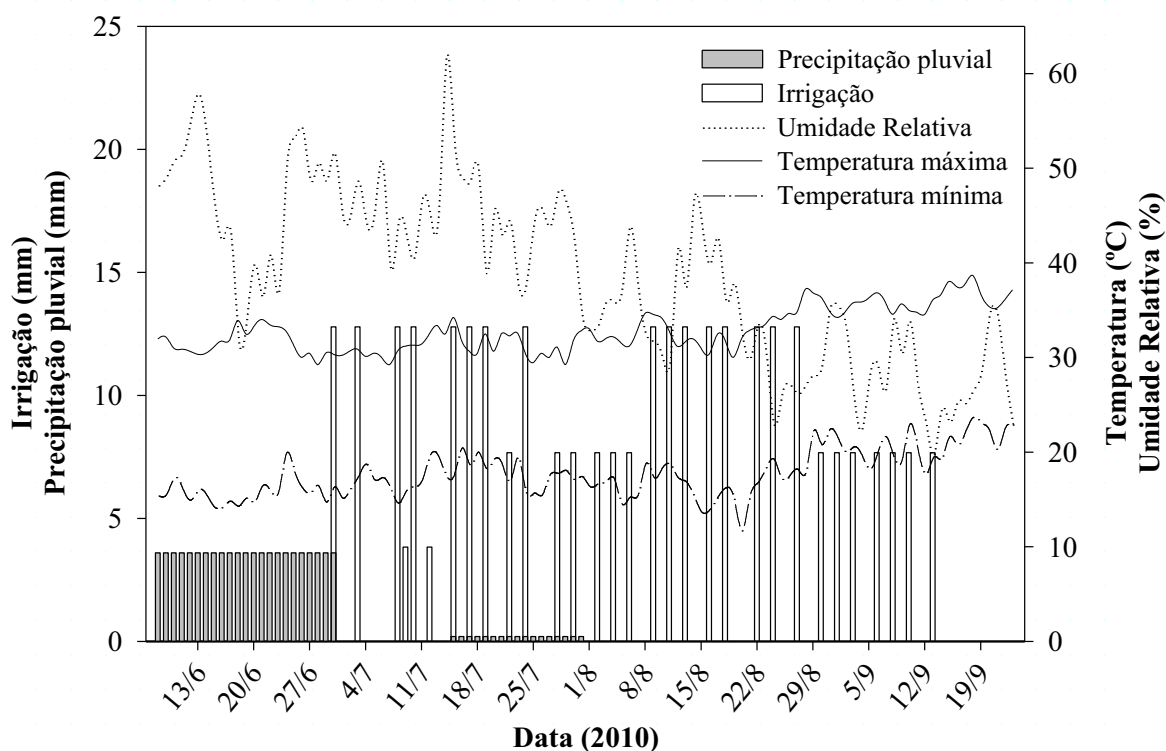


Figura 5.1. Irrigação (mm), precipitação pluvial (mm), umidade relativa média do ar (%) e temperatura máxima e mínima (°C) ocorridos no período de junho a setembro de 2010, registradas na Estação Meteorológica da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO

O delineamento foi de blocos casualizados, com seis tratamentos e cinco repetições, totalizando 30 parcelas. Cada parcela foi constituída por 6 m de comprimento e 5 metros de largura (10 linhas da cultura espaçadas por 0,5 m), com uma área de 30 m² por parcela. Os tratamentos consistiram da aplicação em semeadura e em cobertura das seguintes fontes nitrogenadas:

- (1) Uréia (UR) – 44% N;
- (2) Uréia protegida, tratada com inibidor da urease (UR+NBPT) – 45% N;
- (3) Uréia com polímero (UR+Polímero) – 41% N + 1% cálcio (Ca);
- (4) Sulfato de amônio (S. A.) – 20% N + 22% de enxofre (S);
- (5) Nitrato de amônio (N. A.) – 32% N;
- (6) Testemunha, sem adubação nitrogenada (T).

No tratamento uréia protegida foi utilizado o produto Super N[®] (Figura 5.2A). Este produto utiliza a tecnologia Agrotain[®], no qual, é adicionado à uréia o inibidor da enzima urease NBPT (N-triamida (n-butil) tiofosfórico). O NBPT ocupa o sítio ativo da urease, adiando a ação da enzima para 3-7 dias, após o qual este perde gradativamente o efeito (Cantarella, 2007). Como fonte de uréia revestida com polímero utilizou-se o adubo nitrogenado Kimcoat[®], em que os grânulos do fertilizante são revestidos por três camadas de polímeros (Figura 5.2B).

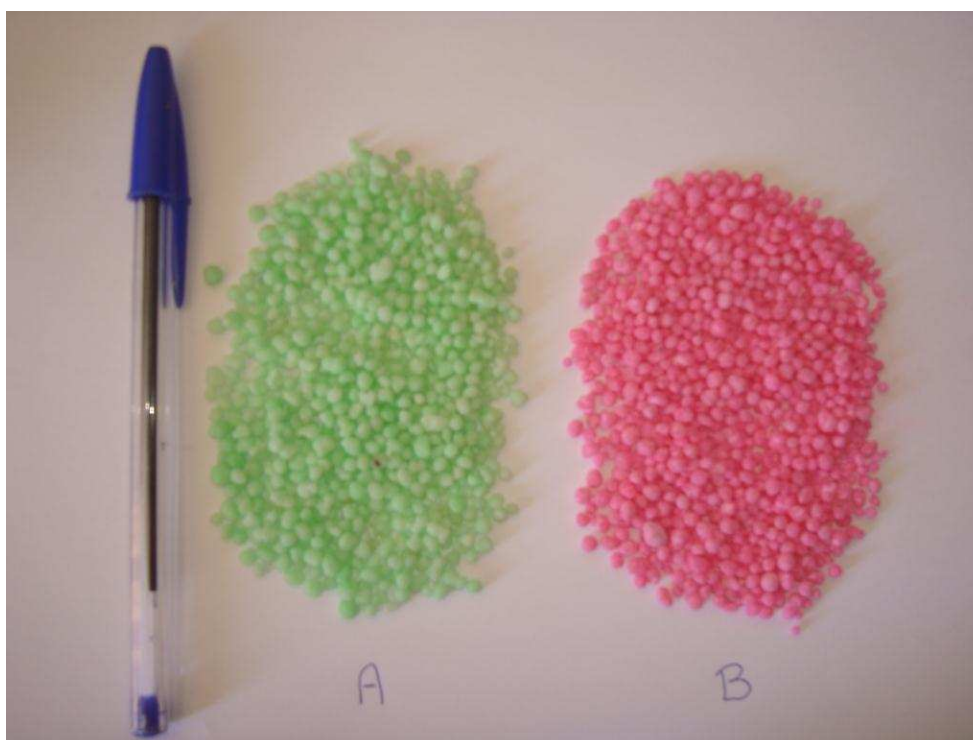


Figura 5.2. Fertilizante nitrogenado uréia + NBPT (A) e uréia revestida com polímero. Santo Antônio de Goiás, GO, 2010

Em junho de 2009, foi aplicado na área experimental 2 Mg ha⁻¹ de gesso agrícola - 15% enxofre (S) e 30% de óxido de cálcio (CaO). Portanto, para este ano

experimental (2010) não foi necessário adicionar às outras fontes nitrogenadas enxofre, devido a presença deste no sulfato de amônio.

As sementes de feijão, cultivar Perola, foram tratadas com carboxina + tiram e tiametoxam (75 g, 75 g e 140 g i.a. 100 kg^{-1} de sementes, respectivamente). A semeadura foi realizada com semeadora-adubadora, no dia 08 de junho. Na adubação de semeadura foram misturados 110 kg ha^{-1} de cloreto de potássio, 260 kg ha^{-1} de superfosfato triplo e 30 kg ha^{-1} de FTE BR 12, totalizando uma mistura de 400 kg ha^{-1} . O adubo nitrogenado, na semeadura, foi aplicado manualmente, na quantidade de 20 kg ha^{-1} de N, de acordo com cada tratamento. A adubação nitrogenada em cobertura, 80 kg ha^{-1} de N, foi realizada em uma única aplicação quando as plantas do feijoeiro atingiram o estágio V4, aos 26 dias após emergência (Figura 5.3). O correspondente fertilizante foi aplicado manualmente a lanço sobre a superfície, sem incorporação. Posteriormente, foi aplicado uma lâmina de 13 mm de água.



Figura 5.3. Adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro, aos 26 dias após emergência das plântulas. Santo Antônio de Goiás, GO, 2010

As irrigações foram realizadas por meio do sistema pivô central, em turnos e quantidades de água de acordo com os estádios fenológicos e necessidade hídrica da cultura; num total de 340,5 mm de água via irrigação e 203,0 mm de água via precipitação pluvial. Aos 25 dias após a semeadura foram aplicados os herbicidas fomesafen $0,25 \text{ kg ha}^{-1}$ i.a. e fluazifop-p-butil $0,188 \text{ kg ha}^{-1}$ i.a., e o inseticida tiametoxam $0,025 \text{ kg ha}^{-1}$ i.a.

As avaliações de perdas de N por volatilização de amônia (NH_3) foram realizadas por câmara semi-aberta livre estática, confeccionada a partir de garrafa de plástico transparente de politereftalato de etileno (PET) de dois litros sem a base, com diâmetro de 10 cm, abrangendo $0,008 \text{ m}^2$ de área. No interior do frasco foi suspenso, com o auxílio de um arame inoxidável, uma fita de espuma de polietileno, com 0,3 cm de espessura, 2,5 cm de largura e 25 cm de comprimento umedecida com solução de H_2SO_4 $1,5 \text{ mol L}^{-1}$ + glicerina 4% (v/v). A fita permanecia todo o tempo em contato com um recipiente contendo 40 mL dessa solução (Araújo et al., 2009).

As câmaras coletoras foram instaladas nas linhas de plantio do feijão imediatamente após a semeadura, sendo uma por parcela, num total de 30 câmaras. As soluções “captura” foram trocadas em intervalos de no máximo 48 horas, após a adubação nitrogenada, durante dez dias consecutivos e duas vezes por semana após esse período, num total de 29 coletas em campo, até o final do ciclo da cultura. No laboratório, procedeu-se a agitação do frasco contendo a espuma e posteriormente retiraram-se duas alíquotas de 20 mL da solução remanescente que foram destiladas e tituladas conforme metodologia descrita por Tedesco et al. (1995). Utilizou-se o fator de correção de 1,74, devido o tipo de sistema coletor (Araújo et al., 2009) para estimar a real taxa de volatilização de amônia no solo.

Para determinação da atividade de urease coletou-se uma amostra de solo por parcela na camada de 0-10 cm, durante 10 dias consecutivos, em intervalos de 48 horas, sempre após adubação nitrogenada e a cada sete dias após esse período, num total de dezoito coletas em campo. As amostras de solos, foram compostas de duas sub-amostra na linha, e quatro na entrelinha (1:2) e, após homogeneização, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, identificadas e encaminhadas ao laboratório de Biologia do Solo da Embrapa Arroz e Feijão, onde foram armazenadas em câmara fria (em torno de 4°C) até a análise. A atividade de urease foi determinada segundo metodologia descrita por Kandeler & Gerber (1988), a qual se baseia na determinação colorimétrica de amônio (NH_4^+), após incubação de amostras de solo com uréia, por 2 h a 37°C . A quantidade de amônio liberado em cada amostra foi estimada a partir de uma curva padrão com cloreto de amônio, com os níveis de 0,5; 1,0; 2,0; 3,0 e $4,0 \mu\text{g de N-NH}_4^+ \text{ mL}^{-1}$. Todos os tratamentos foram feitos em triplicata, sendo a atividade de urease expressa em $\mu\text{g de N-NH}_4^+ \text{ g}^{-1}$ de solo 2 h^{-1} .

Aos 22, 29, 36, 43, 50 e 64 dias após emergência, foram medidos os índices relativos de clorofila com uso do clorofilômetro Minolta SPAD 502 (Soil Plant Analysis Development). As leituras SPAD foram obtidas aleatoriamente em cada parcela experimental, nas três linhas centrais, no último trifólio completamente desenvolvido, evitando-se a nervura central e as margens da folha, num total de vinte leituras por parcela.

Os teores totais de N na parte aérea do feijoeiro comum foram determinados coletando-se três plantas rente ao solo, no estágio de pleno florescimento, em 10 de agosto de 2010. As amostras das plantas foram secas em estufa a 65°C, até massa constante, e em seguida foram pesadas e moídas. Posteriormente, analisou-se os teores de N pelo método de Dumas (Kalra, 1998) utilizando-se um analisador elementar PerkinElmer CHNS/O 2400 Série II.

A emergência do feijoeiro ocorreu aos oito dias após a semeadura, o florescimento pleno do feijoeiro ocorreu aos 55 dias após a emergência (DAE), sendo a colheita realizada aos 99 DAE das plântulas. Nesta, para obtenção do rendimento de grãos (kg ha^{-1}) e da massa de 100 grãos (g), coletou-se quatro linhas de três metros, perfazendo uma área útil de 6 m^2 . Este material foi trilhado e pesado, e corrigiu-se a umidade para 13% (base úmida). O número de plantas finais (estande final) foi avaliado durante a colheita, e, para avaliação do número de vagem por planta e número de grãos por vagem, foram coletadas três plantas ao acaso dentro da área útil da parcela em campo.

As variáveis determinadas foram submetidas à análise de variância, por meio do teste F, e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) com uso do programa Sisvar (Ferreira, 2008). Utilizou-se o software SigmaPlot, para análise de regressão, e os coeficientes de correlação linear de Pearson foram obtidos com o programa SAS (SAS Institute, 2000), para as variáveis de interesse. Os dados de volatilização foram transformados em raiz quadrada de $x+0,5$.

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.3.1 Atividade de urease

Durante o período avaliado, dos 2 aos 86 dias após semeadura (DAS) do feijoeiro, foi verificada uma oscilação da atividade de urease no solo (Figura 5.4), similar

entres as fontes, com valores de mínima e máxima atividade de 4,47 e 39,71 $\mu\text{g N-NH}_4 \text{ g}^{-1} \text{ solo } 2 \text{ h}^{-1}$. Possivelmente, estas oscilações ocorreram devido aos fatores que influenciam a atividade enzimática do solo, dentre eles, destacam-se a concentração do substrato, o nível de umidade, temperatura, pH do solo e produtos químicos xenobióticos (Santos et al., 1991; Sengik et al., 2001; Longo & Melo, 2005; Moreira & Siqueira, 2006).

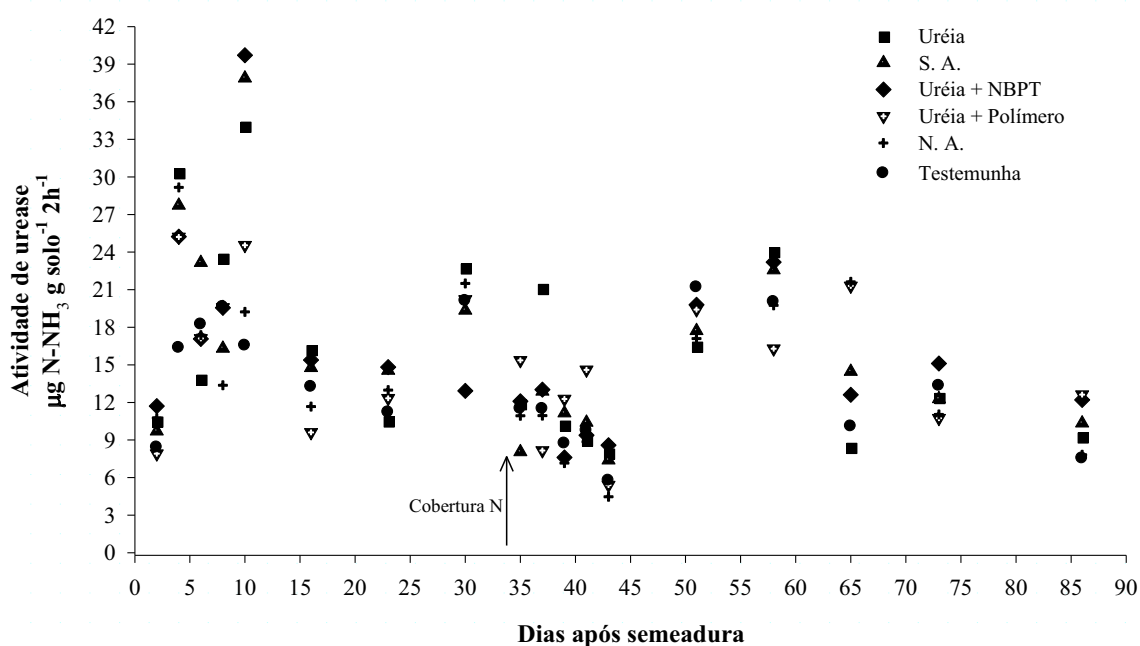


Figura 5.4. Atividade da urease no solo cultivado com feijoeiro em plantio direto, em razão da aplicação de fontes nitrogenadas e épocas de avaliação após semeadura. Santo Antônio de Goiás, GO, 2010

Bandick & Dick (1999) estudando o efeito de fertilizantes e rotações de culturas sobre a atividade enzimática do solo nos Estados Unidos encontraram valores de atividade da urease entre 40 e 270 $\mu\text{g N-NH}_4 \text{ g}^{-1} \text{ solo } 2 \text{ h}^{-1}$. Klose & Tabatabai (1999) trabalhando com solos com grande variação nas características químicas e físicas encontraram valores de atividade entre 23 e 146 $\mu\text{g N-NH}_4 \text{ g}^{-1} \text{ solo } 2 \text{ h}^{-1}$. Silveira (2007) estudou a atividade enzimática de onze solos agrícolas representativos no Estado do Rio Grande do Sul, que se diferenciavam quanto as características químicas e físicas do solo, topografia e condições climáticas, e obteve valores de atividade da urease que variaram de 7 a 140 $\mu\text{g N-NH}_4 \text{ g}^{-1} \text{ solo } 2 \text{ h}^{-1}$ em coletas realizadas entre novembro e dezembro de 2005 e entre 10 e 169 $\mu\text{g N-NH}_4 \text{ g}^{-1} \text{ solo } 2 \text{ h}^{-1}$ nas amostras coletadas entre maio e junho de 2006.

Schmitz (2003) observou em seu estudo em um Argissolo no Rio Grande do Sul que, quanto mais complexo o sistema de manejo, maior a atividade da urease, obtendo em solo descoberto valores de atividade desta enzima de $47 \mu\text{g N-NH}_4 \text{ g}^{-1} \text{ solo } 2 \text{ h}^{-1}$, em SPD de $90 \mu\text{g N-NH}_4 \text{ g}^{-1} \text{ solo } 2 \text{ h}^{-1}$ e chegando a $164 \mu\text{g N-NH}_4 \text{ g}^{-1} \text{ solo } 2 \text{ h}^{-1}$ em campo nativo. Estes resultados apresentados corroboram com Sengik et al. (2001), pois de acordo com estes, fatores do solo como pH, potencial de água, aeração, textura e quantidade de C orgânico influenciam na atividade de urease no solo.

Contudo, as variações ocorridas no presente trabalho, entre 4,47 e $39,71 \mu\text{g N-NH}_4 \text{ g}^{-1} \text{ solo } 2 \text{ h}^{-1}$, podem ser consideradas baixas, já que foram analisadas num mesmo solo e sistema de produção.

A atividade da enzima urease analisada a 1, 3, 5, 7, 9, 15 e 22 dias após adubação nitrogenada de semeadura, não foi influenciada significativamente pelas fontes nitrogenadas. Observa-se na Figura 5.5 que após a adubação de semeadura houve dois picos de atividade de urease, um aos três e o outro maior aos nove. Lanna et al. (2010) obtiveram máxima atividade de urease entre o sétimo e o oitavo dia após a aplicação de uréia (60 kg ha^{-1}) em cobertura no feijoeiro; sendo que esta foi incorporada a 5 cm de profundidade.

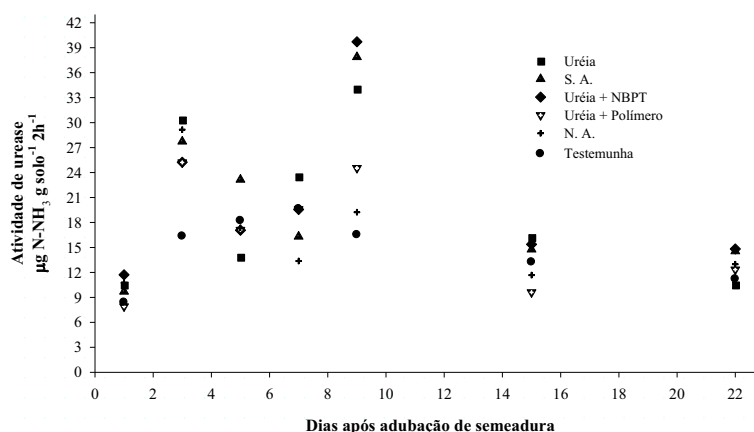


Figura 5.5. Atividade da urease no solo cultivado com feijoeiro em plantio direto, em razão da aplicação de fontes nitrogenadas e épocas de avaliação após adubação de semeadura. Santo Antônio de Goiás, GO, 2010

Não houve influência significativa das fontes nitrogenadas na atividade da enzima urease aos 1, 3, 5, 7, 9, 17, 24 e 31 dias após adubação em cobertura. Pereira et al. (2009) obtiveram diferença na atividade de urease apenas no primeiro dia após adubação

nitrogenada, em que a uréia na dose de 80 kg N ha^{-1} proporcionou maior atividade de $4,2 \mu\text{g N-NH}_4^+ \text{ g solo}^{-1} \text{ h}^{-1}$, em comparação aos tratamentos: testemunha (sem N); uréia 40 $\text{kg ha}^{-1} \text{ N}$; uréia recoberta com polímero 40 $\text{kg ha}^{-1} \text{ N}$, uréia recoberta com polímero 80 $\text{kg ha}^{-1} \text{ N}$; e, uréia com inibidor de urease 80 $\text{kg ha}^{-1} \text{ N}$. Os mesmos autores não obtiveram diferenças significativas no terceiro e quinto dia após a adubação de cobertura.

Observa-se na Figura 5.6 que aos três dias após adubação em cobertura houve um aumento na atividade da urease no solo no tratamento uréia, entretanto, este não diferiu significativamente quando comparado às outras fontes nitrogenadas. Houve um aumento da atividade da urease no solo aos 18 DAC, referente a 51 dias após a semeadura do feijoeiro, este período coincide com o período de florescimento da cultura, em que há alta produção de compostos excretados pelas raízes, podendo explicar este acréscimo (Figura 5.4 e 5.6).

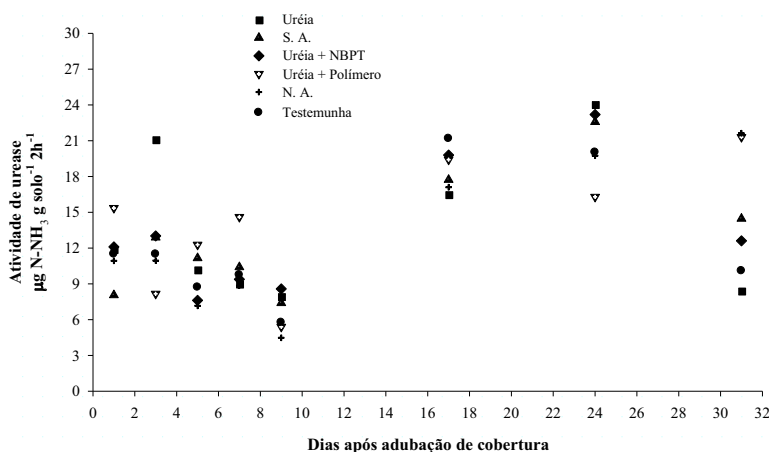


Figura 5.6. Atividade da urease no solo cultivado com feijoeiro em plantio direto, em razão da aplicação de fontes nitrogenadas e épocas de avaliação após adubação em cobertura. Santo Antônio de Goiás, GO, 2010

5.3.2 Volatilização de amônia

As perdas diárias de volatilização de N-NH_3 estão apresentadas na Figura 5.7. Esses resultados permitem avaliar o fluxo de N-NH_3 durante o ciclo da cultura e o efeito dos tratamentos na distribuição dessas perdas. Observa-se na Figura 5.7 que os tratamentos pouco alteram na distribuição das perdas mais elevadas de N-NH_3 , sendo que, foram identificados dois picos de volatilização, um logo após a adubação nitrogenada de semeadura, e o outro após adubação de cobertura.

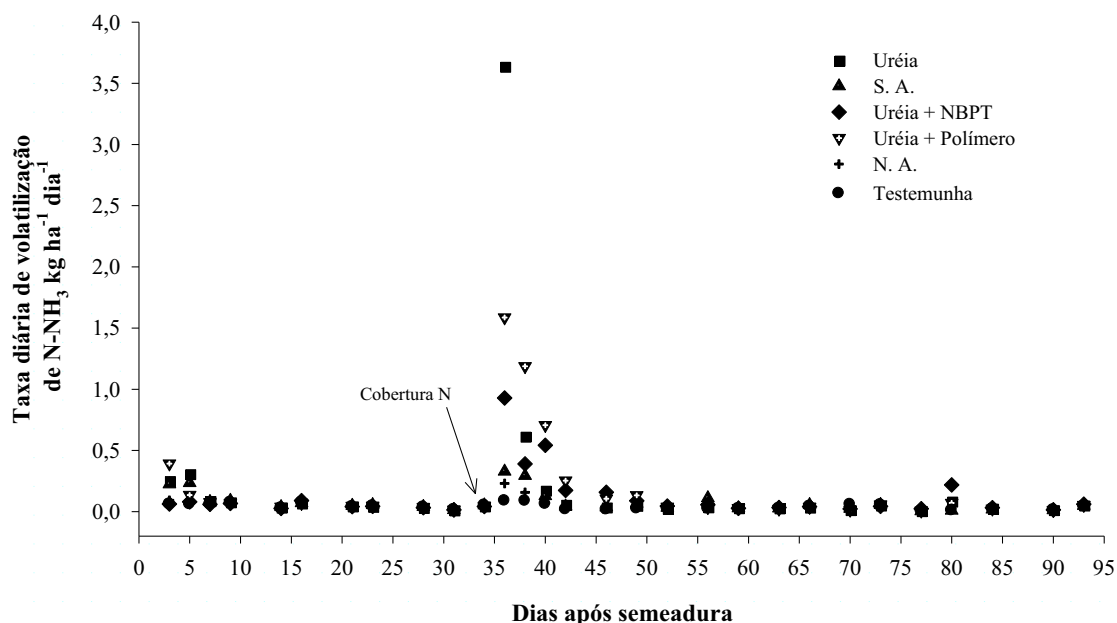


Figura 5.7. Taxa diária de volatilização de N-NH₃ em razão da aplicação de fontes nitrogenadas no feijoeiro em plantio direto aos 93 dias após a semeadura. Santo Antônio de Goiás, GO, 2010

As fontes nitrogenadas influenciou significativamente a taxa diária de volatilização de amônia somente aos seis dias após a semeadura, sendo que, utilização de uréia proporcionou maior taxa de volatilização quando comparada com as fontes uréia + NBPT, nitrato de amônio e do tratamento testemunha (Tabela 5.1). Observa-se na Figura 5.8 uma expressiva redução na taxa diária de volatilização, das fontes uréia + polímero, uréia e sulfato de amônio, passadas 96 horas da aplicação da uréia. Este comportamento pode indicar que a amônia moveu-se para camadas mais profundas do solo, onde o processo de volatilização é reduzido (Rodrigues & Kiehl, 1986 e 1992; Hargrove, 1988).

Houve diferença significativa na taxa diária de volatilização de N-NH₃ em razão das fontes nitrogenadas, aos dois e quatro dias após adubação em cobertura. No entanto, aos 0, 6, 8, 12, 15, 18, 22, 25, 29, 32, 39, 43, 50, 56 e 59 dias após adubação nitrogenada em cobertura, não houve influência das fontes na taxa diária de volatilização de N-NH₃.

A fonte nitrogenada uréia proporcionou maior taxa de emissão de N-NH₃ (3,64 N-NH₃ kg ha⁻¹ dia⁻¹) no segundo dia após a adubação em cobertura, não diferenciando significativamente da fonte uréia + polímero (Figura 5.9). Entretanto, as fontes uréia + NBPT, SA, NA e testemunha não diferenciaram significativamente, entre si, quanto a

influência na taxa diária de volatilização de N-NH_3 . Enquanto que no quarto dia após adubação em cobertura houve diferença significativa na taxa diária de volatilização de N-NH_3 , com a utilização de uréia + polímero em comparação a utilização de NA e testemunha, sem N (Figura 5.9).

As maiores perdas de amônia ocorreram nos primeiros dias após a aplicação dos tratamentos (Figura 5.9), em cobertura, com um pico de máxima volatilização no segundo dia. Pereira et al. (2009) avaliando a volatilização de amônia no solo cultivado com milho, utilizando diferentes fontes nitrogenadas, obtiveram pico máximo de volatilização de amônia no segundo dia após adubação. Estes resultados têm respaldo na literatura (Moal et al., 1995; Sommer et al., 1997; Subair et al., 1999).

Tabela 5.1. Taxa diária de volatilização de amônia ($\text{kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) aos seis dias após adubação de semeadura, em função das fontes nitrogenadas. Santo Antônio de Goiás, GO, 2010

Tratamentos	N-NH_3 ($\text{kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$)
Uréia	0,089 a
Uréia + NBPT	0,060 b
Uréia + Polímero	0,077 ab
S. A.	0,080 ab
N. A.	0,057 b
Testemunha	0,059 b
Média	0,070
D.M.S. (5%)	0,026
C.V. (%)	1,14

Letras iguais na coluna indicam que as médias não diferem entre si, pelo teste Tukey ($P < 0,05$).

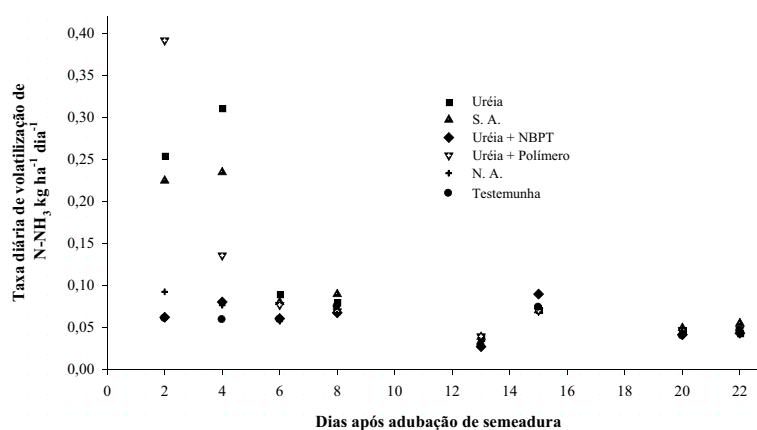


Figura 5.8. Taxa diária de volatilização de N-NH_3 em razão da aplicação de fontes nitrogenadas no feijoeiro em plantio direto e épocas de avaliação após adubação de semeadura. Santo Antônio de Goiás, GO, 2010

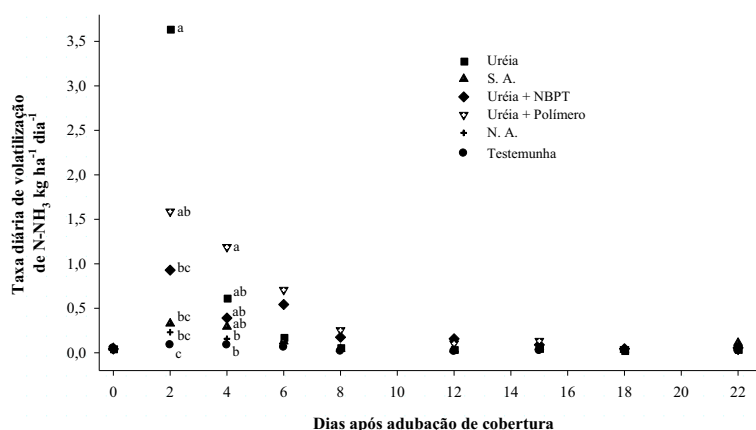


Figura 5.9. Taxa diária de volatilização de N-NH₃ em razão da aplicação de fontes nitrogenadas no feijoeiro em plantio direto, e épocas de avaliação após adubação em cobertura. Santo Antônio de Goiás, GO, 2010. Letras iguais, entre as fontes nitrogenadas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

As maiores emissões de amônia ocorreram até o oitavo dia após a aplicação do fertilizante em cobertura (Figura 5.9), corroborando com Leão (2008) em estudo utilizando uréia, uréia + polímero e uréia + NBPT, na cultura do milho safrinha. Vários autores têm citado na literatura maiores volatilização de amônia ocorrendo na primeira semana após a aplicação de uréia (Lara Cabezas & Trivelin, 1990; Costa et al., 2003; Alves, 2006). De acordo com Leão (2008) este comportamento pode ser explicado pela elevação do pH do solo causado pela hidrólise da uréia, o que favorece as perdas de N-NH₃ (Oliveira, 2001). Após esse período as perdas diminuem, provavelmente, em consequência da queda do pH do solo associada ao consumo de OH durante a volatilização e a nitrificação do amônio (Whitehead, 1995).

A perda acumulada de N-NH₃ teve expressiva influência da aplicação do N em cobertura, aos 34 DAS, como pode ser observado na Figura 5.10. As perdas totais acumuladas de N-NH₃ durante os 93 dias de avaliação foram maiores com a utilização de uréia (13 kg ha⁻¹ de N-NH₃); entretanto, esta diferiu significativamente somente da utilização de N. A. e da testemunha, sem N (Figura 5.10). As perdas acumuladas por volatilização de N-NH₃ em razão das fontes nitrogenadas uréia, uréia + polímero, uréia + NBPT, S. A. e N. A. foram respectivamente de 9,9%, 8,7%, 5,2%, 2,5% e 0,6% do total de N aplicado, que foi de 100 kg ha⁻¹.

A utilização de uréia recoberta com polímero não resultou em menores perdas acumuladas de volatilização de N-NH₃ quando comparada com a uréia comum,

diferentemente dos resultados obtidos por Leão (2008) o qual observou que a uréia recoberta com polímero e a uréia com inibidor de urease reduziram em quase pela metade do N volatilizado, quando comparado com a uréia. Pereira et al. (2009) avaliando a volatilização de N-NH₃ em razão da utilização de fontes nitrogenadas (testemunha, uréia + 40 kg ha⁻¹ de N, uréia 80 kg ha⁻¹ de N, uréia + polímero 40 kg ha⁻¹ de N, uréia + polímero 80 kg ha⁻¹ de N e uréia com inibidor de urease), na cultura do milho, obtiveram maior volatilização de amônia utilizando uréia, e concluíram que a uréia recoberta com polímero e uréia com inibidor de urease são formas eficientes na redução da volatilização de N-NH₃.

As menores perdas por volatilização de N-NH₃ em razão da utilização de nitrato de amônio e sulfato de amônio, são explicadas pelo fato destes não serem fontes de N sujeitas a perdas quando aplicados em solos com pH inferior a sete (Vitti et al., 2002; Costa et al., 2003). Lara Cabezas et al. (1997b) obtiveram menores perdas por volatilização de N-NH₃ quando se utilizou como fonte nitrogenada o nitrato de amônio e o sulfato de amônio, em comparação com a uréia, uran (nitrato de amônio + uréia) e sulfuran (nitrato de amônio + uréia + sulfato de amônio), tanto em SPD como em plantio convencional.

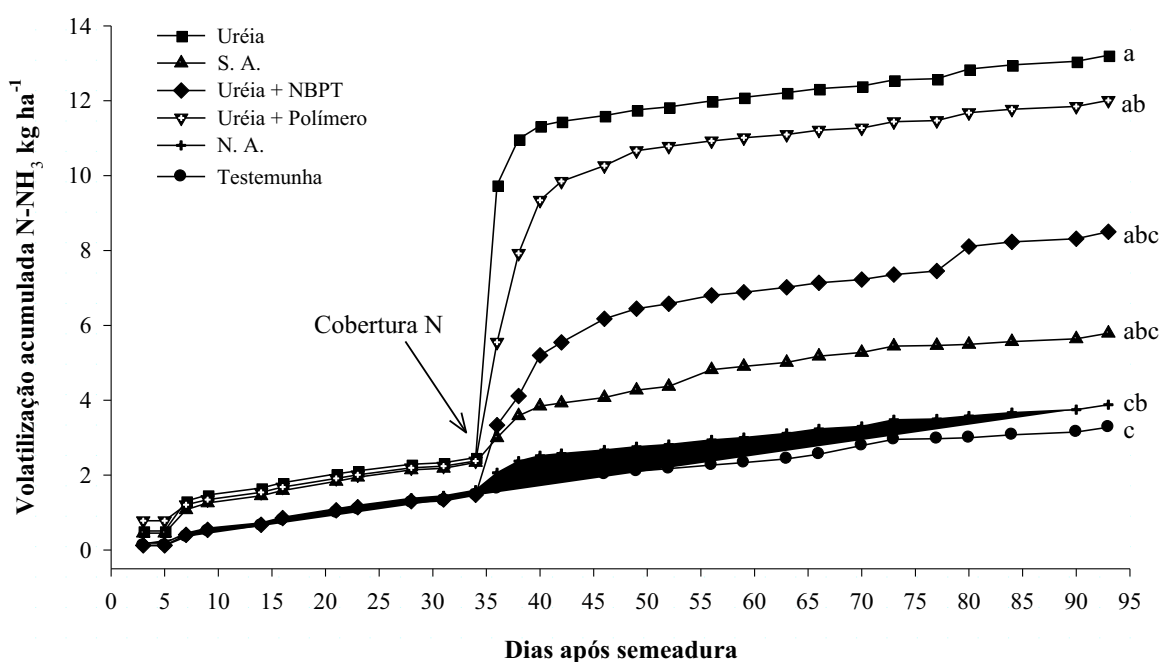


Figura 5.10. Volatilização acumulada N-NH₃ aos 93 dias após adubação nitrogenada em plantio do feijoeiro em plantio direto, e em razão das fontes nitrogenadas. Santo Antônio de Goiás, GO, 2010. Letras iguais, entre as fontes nitrogenadas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Houve volatilização de $3,3 \text{ kg ha}^{-1}$ de N-NH_3 nas parcelas que não foram adubadas com N (testemunha), provavelmente, estas perdas ocorreram devido a mineralização da matéria orgânica.

Os valores de volatilização acumulada obtidos neste trabalho, mesmo com a utilização de uréia sem incorporação em SPD de 9,9 % do total de N aplicado, não foram elevados, já que a literatura cita que estas perdas podem atingir 80% do N aplicado (Bremmer, 1995; Lara Cabezas et al., 1997b; Martha Junior et al., 2004). Segundo Bremmer (1995), o risco de perdas gasosas por volatilização de amônia é particularmente alto em SPD, nos quais a uréia é aplicada superficialmente, como é o caso do local do experimento. Provavelmente, o manejo da irrigação logo após a aplicação do adubo nitrogenado, assim como durante o cultivo do feijoeiro, contribuiu para menores perdas de N por volatilização. A água da chuva ou de irrigação, em quantidade suficiente, faz com que o adubo aplicado na superfície do solo seja incorporado. Segundo Cantarella et al. (1999) a ocorrência de chuvas contribuiu para manter baixo o nível de volatilização, e, estes concluíram que as taxas de perda eram mais acentuadas quando as chuvas não foram suficientes para incorporar a uréia ao solo.

5.3.3 Índice relativo de clorofila, massa de matéria seca da parte aérea, teor e quantidade acumulada de N na parte aérea

O índice relativo de clorofila (IRC) das folhas do feijoeiro foi significativamente influenciado pela interação fontes nitrogenadas e épocas de avaliação. Observa-se na Tabela 5.2 que nas duas primeiras leituras do IRC (aos 22 e 29 dias após emergência - DAE) não houve diferença significativa em razão das fontes utilizadas. Entretanto, aos 36, 43 e 50 DAE os teores de clorofila se diferiram quanto as fontes utilizadas. Aos 36 DAE o tratamento testemunha, sem N, proporcionou menor valor de IRC, aos 43 DAE, as fontes N. A. e uréia + NBPT proporcionaram maior IRC nas folhas do feijoeiro em comparação ao tratamento testemunha. E, aos 50 DAE apenas o S. A. se diferenciou significativamente da testemunha.

Entretanto, na última leitura, realizada aos 64 DAE, os IRC das folhas do feijoeiro não diferiram significativamente entre si, em razão da utilização das diferentes fontes nitrogenadas. Esses resultados são indicativos de que com o passar do tempo houve aumento a disponibilidade de N para as plantas de feijão, nas parcelas sem aplicação de N

mineral, o que pode ter ocorrido em razão da mineralização dos resíduos vegetais na superfície do solo disponibilizando N, e, além disso, como as leituras dos teores de clorofila foram sempre realizadas nas folhas trifolioladas totalmente expandida, com o passar do tempo pode ter ocorrido redistribuição do N das folhas mais velhas para as mais novas, já que o mesmo é móvel na planta (Malavolta et al., 1997), levando à redução na diferença entre os teores de clorofila de todos os tratamentos.

Tabela 5.2. Índice relativo de clorofila (leituras SPAD) do feijoeiro adubado com seis fontes nitrogenadas em seis épocas de avaliação. Santo Antônio de Goiás, GO, 2010

Tratamentos	Épocas de avaliação					
	22 DAE	29 DAE	36 DAE	43 DAE	50 DAE	64 DAE
Fontes						
Uréia	38,2 a	36,6 a	44,6 a	46,6 ab	47,0 ab	47,4 a
Uréia + NBPT	37,8 a	37,0 a	45,8 a	48,0 a	47,4 ab	45,6 a
Uréia + Polímero	39,2 a	37,4 a	44,2 a	47,4 ab	47,4 ab	47,4 a
S. A.	39,2 a	36,4 a	45,2 a	47,4 ab	50,0 a	47,2 a
N. A	38,4 a	35,8 a	44,8 a	48,2 a	48,2 ab	46,4 a
Testemunha	37,0 a	37,0 a	40,6 b	44,6 b	46,4 b	48,6 a
Médias	38,3	36,7	44,2	47,0	47,7	47,1
D.M.S. (5%) Fontes				3,064		
C.V. (%)				3,85		

Letras minúsculas iguais na coluna indicam que as médias não diferem entre si, pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Os IRC das folhas do feijoeiro, com exceção da testemunha, se ajustaram de forma quadrática as fontes nitrogenadas utilizadas; as equações correspondentes para cada fonte podem ser observadas na Figura 5.11. Didonet et al. (2005) e Santana et al. (2010) obtiveram respostas lineares entre o IRC das folhas do feijoeiro e os DAE, entretanto, estes autores avaliaram até aos 43 e 45 DAE, diferindo do presente estudo o qual foi avaliado o IRC até aos 64 DAE.

Nas parcelas que não receberam adubação nitrogenada o IRC das folhas do feijoeiro aumentam linearmente em razão dos DAE. Barbosa Filho et al. (2008) obtiveram que o IRC do feijoeiro do tratamento testemunha (sem aplicação de N), apresentava no florescimento valores próximos aos das parcelas adubadas com N, segundo estes em razão da mineralização do N contido nos resíduos vegetais. Provavelmente, a disponibilização de N devido à mineralização da matéria orgânica do solo justifica o aumento crescente do IRC do feijoeiro das parcelas que não receberam adubação N. É importante ressaltar a

ocorrência da fixação biológica de N no feijoeiro, que também pode estar contribuindo para o aumento linear das leituras SPAD no tratamento sem N.

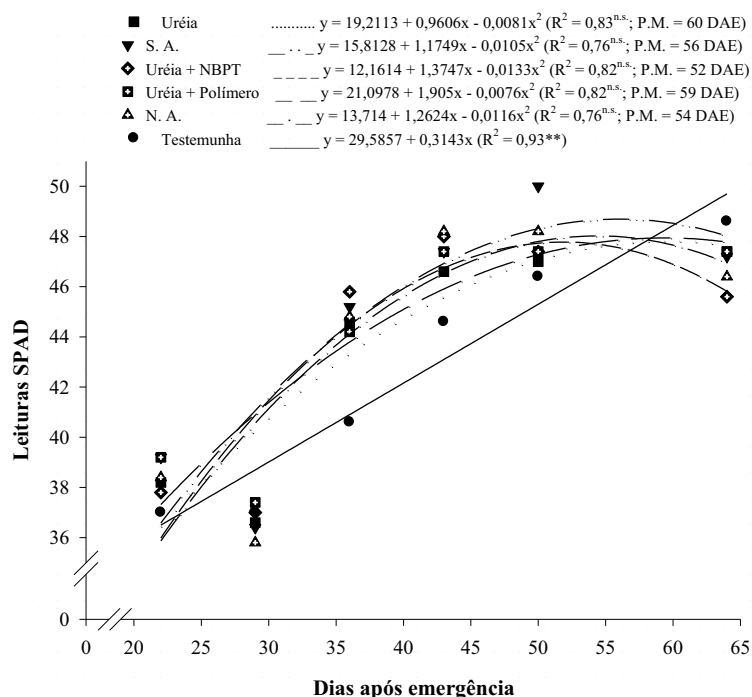


Figura 5.11. Índice relativo de clorofila em folhas do feijoeiro (leituras SPAD) em razão dos dias após emergência e das fontes nitrogenadas utilizadas em plantio e em cobertura. Santo Antônio de Goiás, GO, 2010

Houve diferença significativa ($p < 0,01$) na MSPA do feijoeiro em razão da utilização das fontes nitrogenadas. A utilização de sulfato de amônio, nitrato de amônio e uréia + polímero proporcionou maior MSPA, entretanto, a utilização destas fontes só diferiram significativamente da testemunha, sem nitrogênio (Tabela 5.3).

O teor de N na parte aérea do feijoeiro no florescimento não foi influenciado pelos tratamentos ($p > 0,05$), corroborando com Alvarez et al. (2005) que utilizando uréia e nitrato de amônio em cobertura no feijoeiro, no sistema plantio direto, cultivar “Perola”, não obteve diferença significativa destas no teor de N da parte aérea, durante dois anos de cultivo, 1999 e 2000, com valores médios de $46,7 \text{ g kg}^{-1}$ e $32,4 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente. Na Tabela 5.3 constam os teores de N em razão das fontes nitrogenadas, observa-se que teor médio de $28,06 \text{ g kg}^{-1}$ de N no feijoeiro está na faixa considerada adequada para a cultura, 28 a 60 g kg^{-1} , no tecido foliar, de acordo com Wilcox & Fageria (1976).

Tabela 5.3. Massa de matéria seca da parte aérea (MSPA), teor de N parte aérea (g kg^{-1}) e N acumulado (kg ha^{-1}) no feijoeiro em razão das fontes de N. Santo Antônio de Goiás, GO, 2010

Tratamentos	MSPA (g planta^{-1})	Teor N (g kg^{-1})	N acumulado (kg ha^{-1})
Uréia	10,07 ab	28,62 a	54,38 ab
Uréia + NBPT	10,05 ab	26,36 a	50,00 ab
Uréia + Polímero	11,48 a	30,00 a	66,90 a
S. A.	10,81 a	28,36 a	62,43 a
N. A.	10,64 a	26,30 a	59,54 ab
Testemunha	7,34 b	28,72 a	43,47 b
Média	10,06	28,06	56,07
D.M.S. (5%)	3,06	3,96	18,38
C.V. (%)	15,28	7,09	16,48

Letras iguais na coluna indicam que as médias não diferem entre si, pelo teste Tukey ($P < 0,05$).

A quantidade de N acumulado na parte aérea do feijoeiro, no florescimento, foi influenciada pelos tratamentos ($p < 0,01$). As fontes uréia + polímero e sulfato de amônio, proporcionaram maiores teores de N acumulado, de $66,9 \text{ kg ha}^{-1}$ e $62,4 \text{ kg ha}^{-1}$, respectivamente. No entanto, estas fontes só diferenciaram significativamente da testemunha.

Binotti et al. (2010) estudaram o efeito das fontes de N uréia, S. A., e da mistura ($1/2 \text{ N uréia} + 1/2 \text{ N SA}$), aplicadas em cobertura no feijoeiro, cultivar Pérola, e não obtiveram influência significativa na massa da matéria seca, média $6,07 \text{ g planta}^{-1}$, valor médio inferior ao obtido no presente trabalho de 10 g de MSPA por planta.

5.3.4 Rendimento do feijoeiro

Não houve influência significativa no número de vagem por planta, no número de grãos por vagem, na massa de 100 grãos e no estande final do feijoeiro em razão das fontes nitrogenadas (Tabela 5.4). Estes resultados corroboram com Cardoso (2011) que não obteve diferença significativa no número de vagem por planta, no número de grãos por vagem e na massa de 100 grãos, em razão da aplicação de uréia, SA, nitrato de cálcio, NA e Ajifer, em cobertura no feijoeiro.

Binotti et al. (2009) e Arf (2010) também não observaram efeito significativo de fontes nitrogenadas no número de grãos por vagem, provavelmente, conforme Andrade et al. (1998), esta é uma característica varietal, pouco influenciada pelo ambiente.

Dalastra et al. (2004), utilizando uréia, sulfato de amônio e Entec[®]; Binotti et

al. (2009), utilizando uréia, sulfato de amônio (S.A.) e mistura (1/2 N uréia + 1/2 N S. A.); e, Souza (2006), utilizando uréia e Entec[®]; também não obtiveram efeito destas fontes no estande final do feijoeiro.

Tabela 5.4. Rendimento de grãos, número de vagem por planta, número de grãos por vagem, massa de 100 grãos e estande final do feijoeiro, cv. Perola, em razão das fontes nitrogenadas. Santo Antônio de Goiás, GO, 2010

Tratamentos	Rendimento (kg ha ⁻¹)	Nº vagem por planta	Nº de grãos por vagem	Massa de 100 grãos (g)	Estande final (plantas m ⁻²)
Uréia	2421,0 ab	20,5 a	3,8 a	28,8 a	9,5 a
Uréia + NBPT	1889,0 ab	17,9 a	3,6 a	29,1 a	9,6 a
Uréia + Polímero	2528,0 a	20,5 a	3,7 a	29,3 a	10,9 a
S. A.	2340,0 ab	20,5 a	3,6 a	29,0 a	10,2 a
N.A.	2389,0 ab	14,8 a	3,6 a	29,2 a	10,6 a
Testemunha	1836,0 b	16,1 a	3,4 a	30,6 a	10,3 a
Média	2233,32	18,39	3,58	29,32	10,17
D.M.S. (5%)	665,55	4,37	1,04	2,44	2,02
C.V. (%)	15,0	20,16	14,54	4,19	9,99

Letras minúsculas iguais na coluna indicam que as médias não diferem entre si, pelo teste Tukey (p<0,05).

O rendimento de grãos do feijoeiro foi influenciado significativamente pelas fontes nitrogenadas. A utilização da fonte nitrogenada uréia recoberta com polímero proporcionou maior rendimento de grãos, de 2528,0 kg ha⁻¹, no entanto, a utilização desta fonte só diferiu significativamente da testemunha (sem N).

Fontoura & Bayer (2010), na região Sul do Brasil, testaram seis fontes nitrogenadas (uréia, S. A., N. A., uréia com inibidor de urease, N liberação controlada e uma fonte líquida de N) em cobertura no milho durante quatro anos e obtiveram que as fontes utilizadas não influenciaram na produtividade do milho, diferenciando apenas da testemunha sem nitrogênio. Cardoso (2011), também, não obteve diferença significativa da produtividade do feijoeiro em razão da utilização de uréia, sulfato de amônio, nitrato de cálcio, nitrato de amônio e Ajifer.

Vários autores têm estudado a produtividade das culturas em razão de fertilizantes nitrogenados (Gargantini & Oliveira Filho, 1972; Campos & Tedesco, 1979; Cantarella & Raij, 1986; Lara Cabezas et al., 1997a e 1997b; Binotti et al., 2010) e, em geral, não tem sido encontradas diferenças na eficiência destas fontes sob condições de campo. De forma semelhante, estudos sobre fontes de N de liberação lenta (uréia recoberta), em comparação com formas mais solúveis (uréia e sulfato de amônio), não tem evidenciado diferenças na produtividade. Valderrama et al. (2009) estudando o efeito das

fontes, uréia e uréia revestida, na produtividade do feijoeiro, obtiveram que estas não diferiram entre si. Cunha et al. (2011) em comparação com a uréia comum, a aplicação de uréia aditivada com NBPT em cobertura, no feijoeiro, não foi capaz de promover aumentos significativos de produtividade.

Observou-se na Tabela 5.4, que o rendimento de grãos do feijoeiro no tratamento sem aplicação de N, testemunha, foi de 1.835 kg ha^{-1} . Este resultado destaca a importância do solo no suprimento de N à cultura, que neste caso, ocorreu, provavelmente, devido a mineralização da matéria orgânica. Binotti et al. (2007) observaram que a produtividade média do feijoeiro de inverno em um trabalho com três anos de cultivo foi de 1163 kg ha^{-1} para a testemunha (sem N), utilizando milho como cultura antecessora. É importante a utilização de gramíneas que apresentam um sistema radicular mais agressivo, podendo explorar amplo perfil do solo, extraindo e reciclando grandes quantidades de nutrientes, além de melhoria das propriedades do solo, mostrando assim a vital importância dos estudos na escolha das plantas de cobertura, através de sua adaptação à região, a produção de fitomassa, as condições do solo, a possibilidade de utilização em cultivo comercial e o potencial dessas plantas em serem hospedeiras de pragas e doenças.

O rendimento de grãos não correlacionou significativamente com a volatilização acumulada de N-NH_3 ($r = 0,232^{\text{n.s.}}$), ou seja, apesar das fontes uréia e uréia recoberta com polímero terem proporcionado maiores valores de volatilização acumulada de N-NH_3 , estes resultados não influenciaram no rendimento de grãos.

5.4 CONCLUSÕES

Conclui-se com o presente trabalho que:

8. A utilização de nitrato de amônio reduz significativamente as perdas de N-NH_3 por volatilização, quando comparado com a utilização de uréia;
9. As perdas de N por volatilização de N-NH_3 no cultivo do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto são baixas;
10. A utilização das fontes nitrogenadas, uréia recoberta com polímero e uréia com inibidor de urease, não proporciona aumentos no rendimento de grãos, comparadas com as fontes tradicionais de N, ou seja, uréia, sulfato de amônio e nitrato de amônio.

5.5 REFERÊNCIAS

- ALVAREZ, A. C. C.; ARF, O.; ALVAREZ, R. C. F.; PEREIRA, J. C. dos R. Resposta do feijoeiro à aplicação de doses e fontes de nitrogênio em cobertura no sistema de plantio direto. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 27, n. 1, p. 69-75, 2005.
- ALVES, A. C. **Métodos para quantificar a volatilização de N-NH₃ em solo fertilizado com uréia**. 2006. 41 f. Dissertação (Mestrado em Qualidade e Produtividade Animal) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2006.
- ANDRADE, M. J. B.; DINIZ, A. R.; CARVALHO, J. G.; LIMA, S. F. Resposta da cultura do feijoeiro à aplicação foliar de molibdênio e às adubações nitrogenadas de plantio e cobertura. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 22, n. 4, p. 499-508, 1998.
- ARAÚJO, E. da S.; MARSOLA, T.; MIYAZAWA, M.; SOARES, L. H. de B.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R. Calibração de câmara semi-aberta estática para quantificação de amônia volatilizada do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 7, p. 769-776, 2009.
- ARF, M. V. **Fontes, doses e épocas de aplicação de nitrogênio em feijoeiro de inverno irrigado no sistema plantio direto**. 2010. 68 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2010.
- BANDICK, A. K.; DICK, R. P. Field management effects on soil enzyme activities. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 31, n. 11, p. 1471-1479, 1999.
- BARBOSA FILHO, M. P.; FAGERIA, N. K.; SILVA, O. F. Fontes, doses e parcelamento da adubação nitrogenada em cobertura para feijoeiro comum irrigado. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 1, p. 69-76, 2005.
- BARBOSA FILHO, M. P.; COBUCCI, T.; FAGÉRIA, N. K.; MENDES, P. N. Determinação da necessidade de adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro irrigado com auxílio do clorofilômetro portátil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 7, p. 1843-1848, 2008.
- BINOTTI, F. F. da S.; ARF, O.; ROMANINI JUNIOR, A.; FERNANDES, F. A.; SÁ, M. E. de; BUZETTI, S. Manejo do solo e da adubação nitrogenada na cultura de feijão de inverno e irrigado. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 1, p. 121-129, 2007.
- BINOTTI, F. F. S.; ARF, O.; SÁ, M. E.; BUZETTI, S.; ALVAREZ, A. C.; KAMIMURA, K. M. Fontes, doses e modo de aplicação de N em feijoeiro no sistema plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 2, p. 473-481, 2009.
- BINOTTI, F. F. S.; ARF, O.; CARDOSO, E. D.; SÁ, M. E.; BUZETTI, S.; NASCIMENTO, V. do. Fontes e doses de nitrogênio em cobertura no feijoeiro de inverno irrigado no sistema plantio direto. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 5, p. 770-778, 2010.
- BREMNER, J. M. Recent research on problems in the use of urea as a nitrogen fertilizer. **Fertilizer Research**, The Hague, v. 42, n. 1, p. 321-329, 1995.

CAMPOS, A. X.; TEDESCO, M. J. Eficiência da uréia e do sulfato de amônio na cultura do milho (*Zea mays* L.). **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, v. 15, p. 119-125, 1979.

CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van. Adubação nitrogenada no estado de São Paulo. In: SANTANA, M. B. M. **Adubação nitrogenada no Brasil**. Ilhéus, CEPLAC/SBCS, 1986. p. 47-79.

CANTARELLA, H.; ROSSETO, R.; BARBOSA, W.; PENNA, M. J.; RESENDE, L. C. L. Perdas de nitrogênio por volatilização da amônia e resposta da cana-de-açúcar à adubação nitrogenada, em sistema de colheita de cana sem queima prévia. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB: Álcool subprodutos, 7., 1999, Londrina. **Anais...** Londrina, Embrapa, 1999. p. 82-87.

CANTARELLA, H.; GALLO, P. B.; BOLONHEZI, D.; QUAGGIO, J. A. Inibidor de urease para a produção de milho em plantio direto. In: Fertbio 2004, Reunião Bras. de Fert. do Solo e Nutrição de Plantas, 26., 2004, Lages, SC. **Anais...** Lages: SBCS/SBM, 2004. CD-ROM.

CANTARELLA, H. Uso de inibidor da urease para aumentar a eficiência da uréia. Piracicaba: **Informações Agronômicas**, IPNI, n. 117, 2007.

CARDOSO, S. de M. **Fontes e doses de nitrogênio na nutrição qualidade do feijoeiro**. 2011. 65 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agrônômica, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

CHRISTIANSON, C. B.; BYRNES, B. H.; CARMONA, G. A comparison of the sulfur and oxygen analogs of phosphoric triamide urease inhibitors in reducing urea hydrolysis and ammonia volatilization. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 26, p. 21-27, 1990.

CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, primeiro levantamento, outubro 2011**/Companhia Nacional de Abastecimento. Brasília: Conab, 2011. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_10_11_14_19_05_boletim_outubro-2011.pdf>. Acesso em: 24 novembro, 2011.

CONTIN, T. L. M. **Uréia tratada com o inibidor da urease NBPT na adubação de cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo**. 2007. 69 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, 2007.

COSTA, M. C. G.; VITTI, G. C.; CANTARELLA, H. Volatilização de N-NH₃ de fontes nitrogenadas em cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n.4, p. 631-637, 2003.

CUNHA, P. C. R. da; SILVEIRA, P. M. da; XIMENES, P. A.; SOUZA, R. de F.; ALVES JÚNIOR, J.; NASCIMENTO, J. L. do. Fontes, formas de aplicação e doses de nitrogênio em feijoeiro irrigado sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 80-86, 2011.

DALASTRA, I. M.; GUIMARÃES, V. F.; LOPES, M. C.; ANDREOTTI, M.; SANTOS, W. J. M. M.; BRACHTVOGEL, E. L.; KOLLING, J. A. Produtividade do feijão das águas

em função do modo de aplicação e fontes de adubos nitrogenados em sistema plantio direto. In: **FERTBIO 2004**, Lages, 2004. 1 CD-ROM.

DIDONET, A. D.; BRAZ, A. J. B. P.; SILVEIRA, P. M. Adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro irrigado: uso do clorofilômetro. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 21, n. 3, p. 103-111, 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Científica Symposium**, Lavras, v. 6, n. 2, p. 36-41, 2008.

FONTOURA, S. M. V.; BAYER, C. Ammonia volatilization in no-till system in the south-central region of the state of Paraná, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 5, p. 1677-1684, 2010.

GARGANTINI, H.; OLIVEIRA FILHO, F. S. Efeito de diferentes fertilizantes nitrogenados na produção do trigo em vasos. **Bragantia**, Campinas, v. 31, n. 11, p. 129-135, 1972.

HARGROVE, W. L. Soil, environmental, and management factors influencing ammonia volatilization under field conditions. In: BOCK, B. R.; KISSEL, D. E. (ed.). **Ammonia volatilization from urea fertilizers**. Alabama: NFDC, TVA. 1988. p. 17-36.

KALRA, Y. P. **Handbook of Reference Methods for Plant Analysis**. Boca Raton: CRC Press, 1998. p. 81-82.

KANDELER, E.; GERBER, H. Short-term assay of soil urease activity using colorimetric determination of ammonium. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 6, n. 1, p. 68-72, 1988.

KLOSE, S.; TABATABAI, M. A. Urease activity of the microbial biomass in soils. **Soil Biology Biochemistry**, Oxford, v. 31, p. 205-211, 1999.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928. Wall-map 150 cm x 200 cm.

LANNA, A. C.; SILVEIRA, P. M.; SILVA, M. B.; FERRARESI, T. M.; KLIEMANN, H. J. Atividade de urease no solo com feijoeiro influenciada pela cobertura vegetal e sistemas de plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 6, p. 1933-1939, 2010.

LARA CABEZAS, W. A. R.; TRIVELIN, P. C. O. Eficiência de um coletor semi-aberto estático na quantificação de N-NH₃ volatilizado da uréia aplicada ao solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, n. 3, p. 345-352, 1990.

LARA CABEZAS, W. A. R.; KORNDORFER, G. H.; MOTTA, S. A. Volatilização de N-NH₃ na cultura de milho: I. Efeito da irrigação e substituição parcial da uréia por sulfato de amônio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n. 3, p. 481-487, 1997a.

LARA CABEZAS, W. A. R.; KORNDORFER, G. H.; MOTTA, S. A. Volatilização de N-NH₃ na cultura de milho: II. Avaliação de fontes sólidas e fluidas em sistema de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n. 3, p. 489-496, 1997b.

LEÃO, A. F. **Redutores de volatilização do nitrogênio da uréia na cultura do milho safrinha, utilizando coletores semi-aberto estático**. 2008. 61 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Campus Jataí, Universidade Federal de Goiás, Jataí, 2008.

LONGO, R. M.; MELO, W. J. Atividade da urease em Latossolos sob influência da cobertura vegetal e da época de amostragem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 4, p. 645-650, 2005.

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

MARTHA JUNIOR, G. B.; CORSI, M.; TRIVELIN, P. C. O.; ALVES, M. C. Nitrogen recovery and loss in a fertilized elephant grass pasture. **Grass and Forage Science**, Exeter, v. 59, n. 1, p. 80-90, 2004.

MOAL, J. F.; MARTINEZ, J.; GUIZIOU, F.; COSTE, C. M. Ammonia volatilization following surface-applied pig and cattle slurry in France. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 25, n. 2, p. 245-252, 1995.

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

OLIVEIRA, P. P. A. **Manejo da calagem e da fertilização nitrogenada na recuperação de pastagens degradadas de *Brachiaria* sp. em solos arenosos**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, 2010. 110 f. Tese (Doutorado) - Centro de Engenharia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

PEREIRA, H. S.; LEÃO, A. F.; VERGINASSI, A.; CARNEIRO, M. A. C. Ammonia volatilization of urea in the out-of-season corn. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1685-1694, 2009.

RODRIGUES, M. B.; KIEHL, J. C. Volatilização de amônia após emprego de uréia em diferentes doses e modos de aplicação. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v. 10, n. 1, p. 37-43, 1986.

RODRIGUES, M. B.; KIEHL, J. C. Distribuição e nitrificação da amônia proveniente da uréia aplicada ao solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 16, n. 3, p. 403-408, 1992.

SANTANA, E. V. P.; SANTOS, A. B.; SILVEIRA, P. M. da. Adubação nitrogenada na produtividade, leitura SPAD e teor de nitrogênio em folhas de feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 4, p. 491-496, 2010.

SANTOS, A. R.; VALLE, F. R.; SANTOS, J. A. G. Avaliação de parâmetros cinéticos da hidrólise da uréia em solos do sul de Minas Geria. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v. 15, p. 309-313, 1991.

SAS INSTITUTE. **Statistical analysis system**: user's guide. Cary: SAS, 2000.

SCHMITZ, J. A. K. **Indicadores biológicos de qualidade do solo**. 2003. 234 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

SENGIK, E.; KIEHL, J. C.; SILVA, M. A. G.; PALANGANA, D. C.; LAWDER, M. R. Perdas de amônia em solo e de resíduos orgânicos autoclavados e tratados com uréia. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 23, p. 1099-1105, 2001.

SILVEIRA, A. de O. **Atividades enzimáticas como indicadores biológicos da qualidade de solos agrícolas do Rio Grande do Sul**. 2007. 81 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

SOMMER, S. G.; FRIIS, E.; BACH, A.; SCHJIRRING, J. K. Ammonia volatilization from pig slurry applied with trail hoses or broadcast to winter wheat: effects of developmental stage, microclimate, and leaf ammonia absorption. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 26, n. 4, p. 1153-1160, 1997.

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

STIPP, S. R.; PROCHNOW, L. I. **Maximização da eficiência e minimização dos impactos ambientais da adubação nitrogenada**. Informações agronômicas. Piracicaba: IPNI, 2008. p. 1-7.

SUBAIR, S.; FYLES, J. W.; O'HALLORAN, I. P. Ammonia volatilization fom liquid hog manure amended with paper products in the laboratory. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 28, n. 1, p. 202-207, 1999.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174 p. (Boletim Técnico, 5).

VALDERRAMA, M.; BUZETTI, S.; BENETT, C. G. S.; ANDREOTTI, M.; ARF, O.; SÁ, M. E. de. Fontes e doses de nitrogênio e fósforo em feijoeiro no sistema plantio direto **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, n. 3, p. 191-196, 2009.

VITTI, G. C.; HEIRINCHS, R. Formas tradicionais e alternativas de obtenção e utilização do nitrogênio e do enxofre: uma visão holística. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. e; VITTI, G. C. (Ed.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: INPI, 2007. p. 109-160.

VITTI, G. C.; TAVARES, J. E.; LUZ, P. H. C.; FAVARIN, J. L.; COSTA, M. C. G. Influência da mistura de sulfato de amônio com uréia sobre a volatilização de nitrogênio amoniacal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 663-671, 2002.

WATSON, C. J.; POLAND, P.; ALLEN, M. B. D. The efficacy of repeated applications of the urease inhibitor N-(n-butyl) thiophosphoric triamide (nBTPT) for improve the efficiency of urea fertiliser utilization on temperate grassland. **Grass and Forage Science**, Oxford, v. 53, n. 2, p. 137-145, 1998.

WILCOX, G. E.; FAGERIA, N. K. **Deficiências nutricionais do feijão, sua identificação e correção**. Goiânia: Embrapa/CNPAP, 1976, 22 p. (Boletim técnico, 5)

WHITEHEAD, D. C. Volatilization of ammonia. In: WHITEHEAD, D. C. **Grassland nitrogen**. Wallingford: CAB International, 1995. p. 152- 179.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso das fontes nitrogenadas, uréia, uréia + NBPT, uréia + polímero, nitrato de amônio, sulfato de amônio e N de liberação gradual, proporcionaram perdas de N por volatilização de amônia menor que 22% do N aplicado. Estas perdas foram relativamente baixas, haja vista que a literatura cita perdas de até 80% do N aplicado. Porém, há a necessidade de maiores estudos, quanto a eficiência destes adubos em diferentes condições, tais como: em áreas que a água, via irrigação ou chuva, poderá não ser disponibilizada à cultura após a adubação nitrogenada em cobertura (agricultura de sequeiro), presença ou não de resíduos vegetais na superfície do solo, classe de solo e a não incorporação ao solo.

A utilização de diferentes fontes nitrogenadas não resultam em diferenças na produtividade do feijoeiro irrigado nas condições de Cerrado.

7 APÊNDICES

Apêndice A. Resumo da análise de variância referente à taxa diária de volatilização de N-NH₃ do solo cultivado com feijoeiro adubado em cobertura com três fontes nitrogenadas (uréia, uréia + NBPT e N liberação gradual), quatro doses de N (0, 50, 100 e 150 kg ha⁻¹), e avaliado em seis épocas (aos 2, 4, 7, 11, 14 e 18 dias após cobertura nitrogenada). Santo Antônio de Goiás, GO, 2009

Fonte de Variação	G.L.	Quadrado Médio ¹
Bloco	3	0,416**
Fontes	2	0,576**
Doses	3	1,215**
Épocas avaliação (E.A.)	5	1,625**
Fontes * doses	6	0,594**
Fontes * E.A.	10	0,775 ^{n.s.}
Doses * E.A.	15	0,049 ^{n.s.}
Fontes * doses * E.A.	30	0,040 ^{n.s.}
Erro	213	0,051
C.V. (%) ¹		23,36

¹ - dados transformados raiz quadrada de x + 0,5; n.s. - não significativo; ** - significativo pelo teste de F a 1% de probabilidade.

Apêndice B. Resumo da análise de variância da volatilização acumulada de N-NH₃ do solo, cultivado com feijoeiro adubado em cobertura com três fontes nitrogenadas (uréia, uréia + NBPT e N liberação gradual) e quatro doses de N (0, 50, 100 e 150 kg ha⁻¹). Santo Antônio de Goiás, GO, 2009

Fonte de Variação	G.L.	Quadrado Médio ¹
Bloco	3	4,168**
Fontes	2	3,347**
Doses	3	7,586**
Fontes * Doses	6	3,293**
Erro	33	0,555
C.V. (%) ¹		24,77

¹ - dados transformados raiz quadrada de x + 0,5; ** - significativo pelo teste de F a 1% de probabilidade.

Apêndice C. Resumo da análise de variância das perdas totais percentuais de N-NH₃ por volatilização, em razão da utilização de três fontes nitrogenadas (uréia, uréia + NBPT e N liberação gradual) e três doses de N (50, 100 e 150 kg ha⁻¹). Santo Antônio de Goiás, GO, 2009

Fonte de Variação	G.L.	Quadrado Médio
Bloco	3	159,4 ^{n.s.}
Fontes	2	313,3 ^{**}
Doses	2	102,3 ^{n.s.}
Fontes * Doses	4	129,6 ^{n.s.}
Erro	24	53,2
C.V. (%)		117,25

n.s. - não significativo; ** - significativo pelo teste de F a 1% de probabilidade.

Apêndice D. Resumo da análise de variância da atividade da enzima urease, no solo cultivado com feijoeiro, adubado em cobertura com três fontes nitrogenadas (uréia, uréia + NBPT e N liberação gradual), quatro doses de N (0, 50, 100 e 150 kg ha⁻¹), e avaliada em seis épocas (1 dia antes da cobertura nitrogenada e aos 2, 4, 7, 11 e 14 dias após cobertura – DAC). Santo Antônio de Goiás, GO, 2009

Fonte de Variação	G.L.	Quadrado Médio
Bloco	3	10,49 ^{n.s.}
Fontes	2	19,91 ^{n.s.}
Doses	3	50,19 ^{n.s.}
Épocas avaliação (E.A.)	5	546,70 ^{**}
Fontes * doses	6	23,76 ^{n.s.}
Fontes * E.A.	10	22,80 ^{n.s.}
Doses * E.A.	15	13,13 ^{n.s.}
Fontes * doses * E.A.	30	14,05 ^{n.s.}
Erro	213	29,09
C.V. (%)		50,93

n.s. - não significativo; ** - significativo pelo teste de F a 1% de probabilidade.

Apêndice E. Resumo da análise de variância do pH do solo aos quatorze dias após adubação nitrogenada no feijoeiro com utilização de três fontes nitrogenadas (uréia, uréia + NBPT e N liberação gradual) e quatro doses de N (0, 50, 100 e 150 kg ha⁻¹). Santo Antônio de Goiás, GO, 2009

Fonte de Variação	G.L.	Quadrado Médio
Bloco	3	0,0557 ^{n.s.}
Fontes	2	0,0502 ^{n.s.}
Doses	2	0,9541 ^{**}
Fontes * doses	6	0,0391 ^{n.s.}
Erro	33	0,0745
C.V. (%)		5,07

n.s. - não significativo; ** - significativo pelo teste de F a 1% de probabilidade.

Apêndice F. Resumo da análise de variância do índice relativo de clorofila (leitura SPAD) do feijoeiro adubado em cobertura com três fontes nitrogenadas (uréia, uréia + NBPT e N liberação gradual), quatro doses de N (0, 50, 100 e 150 kg ha⁻¹), e avaliados em sete épocas (aos 20, 30, 41, 48 e 60 dias após emergência – DAE). Santo Antônio de Goiás, GO, 2009

Fonte de Variação	G.L.	Quadrado Médio
Bloco	3	1,73 ^{n.s.}
Fontes	2	8,04 ^{**}
Doses	3	44,20 ^{**}
Época avaliação (E.A.)	4	1881,01 ^{**}
Fontes * doses	6	8,32 ^{**}
Fontes * E.A.	8	2,35 ^{n.s.}
Doses * E.A.	12	8,32 ^{**}
Fontes * doses * E.A.	24	1,76 ^{n.s.}
Erro	177	1,60
C.V. (%)		3,02

n.s. - não significativo; ** - significativo pelo teste de F a 1% de probabilidade.

Apêndice G. Resumo da análise de variância do teor de N foliar e N acumulado no feijoeiro adubado em cobertura com três fontes nitrogenadas (uréia, uréia + NBPT e N liberação gradual) e quatro doses de N (0, 50, 100 e 150 kg ha⁻¹). Santo Antônio de Goiás, GO, 2009

Fonte de Variação	G.L.	Quadrado Médio	
		Teor de N foliar	N acumulado
Bloco	3	4,521 ^{n.s.}	1651,0 ^{n.s.}
Fontes	2	7,895 ^{n.s.}	957,7 ^{n.s.}
Doses	3	126,576 ^{**}	2344,6 [*]
Fontes * doses	6	7,535 ^{n.s.}	1474,4 ^{n.s.}
Erro	33	5,672	727,7
C.V. (%)		5,34	44,46

n.s. - não significativo; * - significativo pelo teste de F a 5% de probabilidade.

Apêndice H. Resumo da análise de variância do índice de área foliar (IAF) e da massa da matéria seca da parte aérea (MSPA) do feijoeiro adubado em cobertura com três fontes nitrogenadas (uréia, uréia + NBPT e N liberação gradual), quatro doses de N (0, 50, 100 e 150 kg ha⁻¹), e avaliados em sete épocas (aos 32, 39, 47, 54, 62, 75 e 89 dias após emergência – DAE). Santo Antônio de Goiás, GO, 2009

Fonte de Variação	G.L.	Quadrado Médio	
		IAF	MSPA
Bloco	3	2,21 ^{**}	241,36 ^{**}
Fontes	2	0,60 ^{n.s.}	5,82 ^{n.s.}
Doses	3	2,31 ^{**}	89,88 [*]
Época avaliação (E.A.)	6	69,74 ^{**}	6513,90 ^{**}
Fontes * doses	6	0,52 ^{n.s.}	21,37 ^{n.s.}
Fontes * E.A.	12	0,17 ^{n.s.}	8,84 ^{n.s.}
Doses * E.A.	18	0,51 ^{n.s.}	21,36 ^{n.s.}
Fontes * doses * E.A.	36	0,49 ^{n.s.}	21,76 ^{n.s.}
Erro	249	0,43	25,26
C.V. (%)		37,58	43,59

n.s. - não significativo; *e ** - significativos pelo teste de F a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente.

Apêndice I. Resumo da análise de variância do rendimento de grãos, do número de vagem por planta, do número de grãos por vagem, da massa de 100 grãos e do estande final do feijoeiro adubado em cobertura com três fontes nitrogenadas (uréia, uréia + NBPT e N liberação gradual) e quatro doses de N (0, 50, 100 e 150 kg ha⁻¹). Santo Antônio de Goiás, GO, 2009

Fonte de Variação	G.L.	Quadrado Médio				
		Rendimento de grãos	Nº vagem planta ⁻¹	Nº de grãos vagem ⁻¹	Massa de 100 grãos	Estande final (plantas m ⁻¹)
Bloco	3	180.366,2 ^{n.s.}	7,05 ^{n.s.}	0,06 ^{n.s.}	0,63 ^{n.s.}	1,51 ^{n.s.}
Fontes	2	177.752,2 ^{n.s.}	8,20 ^{n.s.}	0,02 ^{n.s.}	1,67 ^{n.s.}	0,37 ^{n.s.}
Doses	3	1.144.868,8 ^{**}	16,08 ^{**}	0,02 ^{n.s.}	0,82 ^{n.s.}	0,16 ^{n.s.}
Fontes * Doses	6	211.367,0 ^{n.s.}	1,75 ^{n.s.}	0,14 ^{n.s.}	0,82 ^{n.s.}	0,59 ^{n.s.}
Erro	33	154.126,9	3,06	0,07	2,05	0,67
C.V. (%)		14,93	16,36	4,48	5,35	8,59

n.s. - não significativo; ** - significativo pelo teste de F a 1% de probabilidade.

Apêndice J. Resumo da análise de variância da umidade do solo avaliada em sete épocas num solo cultivado com feijoeiro sob quatro níveis de palhada (0, 5, 10 e 20 Mg ha⁻¹) e adubado com duas fontes nitrogenadas (uréia e N liberação gradual). Santo Antônio de Goiás, GO, 2009

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio						
		08/07	15/07	21/07	29/07	06/08	13/08	20/08
Bloco	3	1,196 ^{n.s.}	1,010 ^{n.s.}	2,875 ^{n.s.}	0,357 ^{n.s.}	0,113 ^{n.s.}	0,365 ^{n.s.}	2,056 ^{n.s.}
Fontes	1	0,000 ^{n.s.}	0,641 ^{n.s.}	1,048 ^{n.s.}	1,357 ^{n.s.}	0,003 ^{n.s.}	1,458 ^{n.s.}	9,768 ^{n.s.}
Palhada	3	2,414 ^{n.s.}	7,106*	45,299*	17,290*	5,022*	6,520*	15,524*
Fontes * Palhada	3	0,307 ^{n.s.}	0,665 ^{n.s.}	0,426 ^{n.s.}	0,838 ^{n.s.}	2,403 ^{n.s.}	0,802 ^{n.s.}	3,285 ^{n.s.}
Erro	21	0,688	0,739	1,005	0,535	0,257	0,647	1,107
C.V. (%)		3,03	3,16	4,03	2,77	1,76	2,78	4,21

n.s. - não significativo; * - significativo pelo teste de F a 5% de probabilidade.

Apêndice K. Resumo da análise de variância do pH do solo aos quinze dias após adubação nitrogenada no feijoeiro com utilização de duas fontes nitrogenadas (uréia e N liberação gradual) e quantidades de palhada (0, 5, 10 e 20 Mg ha⁻¹). Santo Antônio de Goiás, GO, 2009

Fonte de Variação	G.L.	Quadrado Médio
Bloco	3	0,148 ^{n.s.}
Fontes	1	0,211 ^{n.s.}
Palhada	3	0,144 ^{n.s.}
Fontes * Palhada	3	0,082 ^{n.s.}
Erro	21	0,094
C.V. (%)		5,81

n.s. - não significativo pelo teste de F a 5% de probabilidade.

Apêndice L. Resumo da análise de variância da atividade da enzima urease no solo cultivado com feijoeiro sob quatro níveis de palhada (0, 5, 10 e 20 Mg ha⁻¹), adubado com duas fontes nitrogenadas (uréia e N liberação gradual) e cinco épocas de avaliação (0, 2, 7, 11 e 15 dias após cobertura nitrogenada). Santo Antônio de Goiás, GO, 2009

Fonte de Variação	G.L.	Quadrado Médio
Bloco	3	50,54 ^{n.s.}
Fontes	1	3,71 ^{n.s.}
Palhada	3	33,26 ^{n.s.}
Épocas avaliação (E.A.)	4	214,66**
Fontes * Palhada	3	71,52 ^{n.s.}
Fontes * E.A.	4	8,91 ^{n.s.}
Palhada * E.A.	12	12,71 ^{n.s.}
Fontes * Palhada * E.A.	12	24,16 ^{n.s.}
Erro	117	31,14
C.V. (%) ¹		40,28

n.s. - não significativo; ** - significativo pelo teste de F a 1% de probabilidade.

Apêndice M. Resumo da análise de variância da taxa diária de volatilização de N-NH₃ do solo cultivado com feijoeiro, sob quatro níveis de palhada (0, 5, 10 e 20 Mg ha⁻¹), adubado com duas fontes nitrogenadas (uréia e N liberação gradual) e avaliado em sete épocas (0, 2, 4, 7, 11, 15, 19 e 22 dias após cobertura nitrogenada). Santo Antônio de Goiás, GO, 2009

Fonte de Variação	G.L.	Quadrado Médio ¹
Bloco	3	0,017 ^{n.s.}
Fontes	1	0,261 ^{**}
Palhada	3	0,141 ^{**}
Épocas avaliação (E.A.)	7	0,253 ^{**}
Fontes * Palhada	3	0,120 ^{**}
Fontes * E.A.	7	0,067 ^{**}
Palhada * E.A.	21	0,017 [*]
Fontes * Palhada * E.A.	21	0,015 ^{n.s.}
Erro	189	0,010
C.V. (%) ¹		11,89

¹ - dados transformados raiz quadrada de $x + 0,5$; n.s. - não significativo; *e ** - significativos pelo teste de F a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente.

Apêndice N. Resumo da análise de variância da volatilização acumulada de N-NH₃ do solo, cultivado com feijoeiro sob quatro níveis de palhada (0, 5, 10 e 20 Mg ha⁻¹) e duas fontes nitrogenadas (uréia e N liberação gradual). Santo Antônio de Goiás, GO, 2009

Fonte de Variação	G.L.	Quadrado Médio ¹
Bloco	3	0,129 ^{n.s.}
Fontes	1	1,435 ^{n.s.}
Palhada	3	1,271 [*]
Fontes * Palhada	3	0,961 ^{n.s.}
Erro	21	0,335
C.V. (%) ¹		25,74

¹ - dados transformados raiz quadrada de $x + 0,5$; n.s. - não significativo; * - significativo pelo teste de F a 5% de probabilidade.

Apêndice O. Resumo da análise de variância da massa de matéria seca da parte aérea (MSPA), teor de N foliar e N acumulado, do feijoeiro no florescimento, cultivado sob quatro quantidades de palhada (0, 5, 10 e 20 Mg ha⁻¹) e adubado com duas fontes de nitrogenadas (uréia e N liberação gradual). Santo Antônio de Goiás, GO, 2009

Fonte de Variação	G.L.	Quadrado médio		
		MSPA	Teor de N	N acumulado
Bloco	3	0,89	0,36 ^{n.s.}	94,19 ^{n.s.}
Fontes	1	29,82 [*]	9,03 ^{n.s.}	2559,25 ^{n.s.}
Palhada	3	57,73 ^{**}	27,11 [*]	6043,35 ^{**}
Fonte * Palhada	3	7,29 ^{n.s.}	10,13 ^{n.s.}	682,31 ^{n.s.}
Erro	21	6,34	6,77	694,04
C.V. (%)		34,32	6,31	66,05

n.s. - não significativo; * e ** - significativos pelo teste de F a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente.

Apêndice P. Resumo da análise de variância do índice relativo de clorofila (leitura SPAD) do feijoeiro cultivado sob quatro níveis de palhada (0, 5, 10 e 20 Mg ha⁻¹) e adubado com duas fontes nitrogenadas (uréia e N liberação gradual). Santo Antônio de Goiás, GO, 2009

Fonte de Variação	G.L.	Quadrado Médio
Bloco	3	2,44 ^{n.s.}
Fontes	1	6,64 ^{n.s.}
Palhada	3	17,05 ^{**}
Épocas avaliação (E.A.)	4	882,36 ^{**}
Fontes * Palhada	3	1,28 ^{n.s.}
Fontes * E.A.	4	1,75 ^{n.s.}
Palhada * E.A.	12	5,93 ^{**}
Fontes * Palhada * E.A.	12	1,55 ^{n.s.}
Erro	117	1,80
C.V. (%)		3,21

n.s. - não significativo; ** - significativos pelo teste de F a 1% de probabilidade.

Apêndice Q. Resumo da análise de variância do rendimento de grãos, número de vagem por planta, número de grãos por vagem e massa de 100 grãos do feijoeiro cultivado sob quatro níveis de palhada (0, 5, 10 e 20 Mg ha⁻¹) e adubado com duas fontes nitrogenadas (uréia e N liberação gradual). Santo Antônio de Goiás, GO, 2009

Fonte de Variação	G.L.	Quadrado Médio			
		Rendimento de grãos	Nº vagem planta ⁻¹	Nº de grãos vagem ⁻¹	Massa de 100 grãos
Bloco	3	288770,0 ^{n.s.}	2,97 ^{n.s.}	0,30 ^{n.s.}	3,60 ^{n.s.}
Fontes	1	310334,1 ^{n.s.}	5,04 ^{n.s.}	0,02 ^{n.s.}	0,19 ^{n.s.}
Palhada	3	3210434,1 ^{**}	21,84 ^{**}	1,44 ^{**}	64,42 ^{**}
Fontes * Palhada	3	48607,9 ^{n.s.}	1,48 ^{n.s.}	0,51 ^{n.s.}	24,49 ^{n.s.}
Erro	21	409859,6	3,42	0,30	10,45
C.V. (%)		31,83	28,52	10,48	13,55

n.s. - não significativo; ** - significativo pelo teste de F a 1% de probabilidade.

Apêndice R. Resumo da análise de variância da atividade da enzima urease no solo cultivado com feijoeiro adubado com diferentes fontes nitrogenadas (uréia, uréia + NBPT, uréia + polímero, sulfato de amônio, nitrato de amônio e testemunha) em razão dos dias após adubação semeadura (DAS). Santo Antônio de Goiás, GO, 2010

F.V.	G.L.	Quadrado Médio						
		1 DAS	3 DAS	5 DAS	7 DAS	9 DAS	15 DAS	22 DAS
Bloco	3	26,81 ^{n.s.}	175,63 ^{n.s.}	4,28 ^{n.s.}	155,46 ^{**}	164,12 ^{n.s.}	67,03 [*]	6,89 ^{n.s.}
Fontes	5	8,48 ^{n.s.}	100,46 ^{n.s.}	36,51 ^{n.s.}	47,61 ^{n.s.}	391,40 ^{n.s.}	24,84 ^{n.s.}	12,09 ^{n.s.}
Erro	15	12,71	98,05	55,78	27,47	102,02	16,06	18,80
C.V. (%)		36,26	38,57	41,98	28,09	35,25	29,73	34,05

n.s. - não significativo; * e ** - significativos pelo teste de F a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente.

Apêndice S. Resumo da análise de variância da atividade da enzima urease no solo cultivado com feijoeiro adubado com diferentes fontes nitrogenadas (uréia, uréia + NBPT, uréia + polímero, sulfato de amônio, nitrato de amônio e testemunha) em razão dos dias após cobertura (DAC). Santo Antônio de Goiás, GO, 2010

F.V.	G.L.	Quadrado Médio							
		1 DAC	3 DAC	5 DAC	7 DAC	9 DAC	17 DAC	24 DAC	31 DAC
Bloco	3	0,97 ^{n.s.}	41,55 ^{n.s.}	17,44 ^{n.s.}	14,96 ^{n.s.}	15,44 ^{n.s.}	43,93 ^{n.s.}	70,31 ^{n.s.}	512,19 [*]
Fontes	5	21,97 ^{n.s.}	76,36 ^{n.s.}	16,44 ^{n.s.}	18,77 ^{n.s.}	10,43 ^{n.s.}	12,94 ^{n.s.}	33,04 ^{n.s.}	125,46 ^{n.s.}
Erro	15	19,00	33,36	13,55	16,49	4,73	26,94	48,03	117,60
C.V. (%)		37,46	44,66	38,67	39,31	33,00	27,61	33,04	73,52

n.s.- não significativo; * - significativo pelo teste de F a 5% de probabilidade.

Apêndice T. Resumo da análise de variância da taxa de volatilização diária de N-NH₃ do solo cultivado com feijoeiro adubado com diferentes fontes nitrogenadas (uréia, uréia + NBPT, uréia + polímero, sulfato de amônio, nitrato de amônio e testemunha) em razão dos dias após adubação de semeadura (DAS). Santo Antônio de Goiás, GO, 2010

F.V.	G.L.	Quadrado Médio ¹									
		2 DAS	4 DAS	6 DAS	8 DAS	13 DAS	15 DAS	20 DAS	22 DAS	27 DAS	30 DAS
Bloco	4	0,020 ^{n.s.}	0,008 ^{n.s.}	0,00004 ^{n.s.}	0,00008 ^{n.s.}	0,0001 ^{n.s.}	0,0002 ^{n.s.}	0,00009 ^{n.s.}	0,0009 ^{**}	0,00003 ^{n.s.}	0,00008 [*]
Fontes	5	0,030 ^{n.s.}	0,016 ^{n.s.}	0,0004 ^{**}	0,0002 ^{n.s.}	0,00008 ^{n.s.}	0,0001 ^{n.s.}	0,00003 ^{n.s.}	0,00004 ^{n.s.}	0,00001 ^{n.s.}	0,00002 ^{n.s.}
Erro	20	0,008	0,008	0,00007	0,00007	0,00005	0,0002	0,0003	0,0001	0,00002	0,00003
C.V. (%) ¹		11,20	11,27	1,14	1,10	0,99	1,83	0,76	1,62	0,54	0,69

¹ - dados transformados raiz quadrada de x + 0,5; n.s. - não significativo; * e ** - significativos pelo teste de F a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente.

Apêndice U. Resumo da análise de variância da taxa de volatilização diária de N-NH₃ do solo cultivado com feijoeiro adubado com diferentes fontes nitrogenadas (uréia, uréia + NBPT, uréia + polímero, sulfato de amônio, nitrato de amônio e testemunha) em razão dos dias após a cobertura (DAC). Santo Antônio de Goiás, GO, 2010

F.V.	G.L.	Quadrado Médio ¹									
		0 DAC	2 DAC	4 DAC	6 DAC	8 DAC	12 DAC	15 DAC	18 DAC	22 DAC	25 DAC
Bloco	4	0,0002 ^{**}	0,206	0,021 ^{n.s.}	0,018 ^{n.s.}	0,002 ^{n.s.}	0,0014 ^{n.s.}	0,0024 ^{n.s.}	0,0002 ^{n.s.}	0,001 ^{n.s.}	0,00002 ^{n.s.}
Fontes	5	0,00004 ^{n.s.}	0,955 ^{**}	0,156 [*]	0,089 ^{n.s.}	0,016 ^{n.s.}	0,0059 ^{n.s.}	0,0032 ^{n.s.}	0,0002 ^{n.s.}	0,002 ^{n.s.}	0,00004 ^{n.s.}
Erro	20	0,00003	0,102	0,039	0,028	0,006	0,0037	0,0024	0,0004	0,001	0,00007
C.V. (%) ¹		0,72	27,20	20,80	19,46	10,26	8,13	6,51	2,82	5,08	1,16

¹ - dados transformados raiz quadrada de x + 0,5; n.s. - não significativo; * e ** - significativos pelo teste de F a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente.

Apêndice V. Resumo da análise de variância da taxa de volatilização diária de N-NH₃ do solo cultivado com feijoeiro adubado com diferentes fontes nitrogenadas (uréia, uréia + NBPT, uréia + polímero, sulfato de amônio, nitrato de amônio e testemunha) em razão dos dias após cobertura (DAC). Santo Antônio de Goiás, GO, 2010

F.V.	G.L.	Quadrado Médio ¹								
		29 DAC	32 DAC	36 DAC	39 DAC	43 DAC	46 DAC	50 DAC	56 DAC	59 DAC
Bloco	4	0,00006 ^{n.s.}	0,0008 ^{**}	0,0008 ^{n.s.}	0,0001 ^{**}	0,00009 ^{n.s.}	0,016 ^{n.s.}	0,00004 ^{n.s.}	0,00005 ^{**}	0,00002 ^{n.s.}
Fontes	5	0,00004 ^{n.s.}	0,0001 ^{n.s.}	0,0005 ^{n.s.}	0,0008 ^{n.s.}	0,0001 ^{n.s.}	0,010 ^{n.s.}	0,0005 ^{n.s.}	0,000005 ^{n.s.}	0,0001 ^{n.s.}
Erro	20	0,00003	0,0001	0,0004	0,00002	0,0001	0,005	0,00002	0,000006	0,0001
C.V. (%) ¹		0,81	1,42	2,95	0,61	1,41	9,83	0,69	0,34	1,67

¹ - dados transformados raiz quadrada de x + 0,5; n.s. - não significativo; ** - significativo pelo teste de F a 1% de probabilidade.

Apêndice W. Resumo da análise de variância da volatilização acumulada de N-NH₃ do solo cultivado com feijoeiro adubado com diferentes fontes nitrogenadas (uréia, uréia + NBPT, uréia + polímero, sulfato de amônio, nitrato de amônio e testemunha). Santo Antônio de Goiás, GO, 2010

Fonte de variação	G.L.	Quadrado Médio ¹
Bloco	4	0,2135 ^{n.s.}
Fontes	5	2,4686 ^{**}
Erro	20	0,4421
C.V. (%) ¹		24,39

¹ - dados transformados raiz quadrada de $x + 0,5$; n.s. - não significativo; ** - significativo pelo teste de F a 1% de probabilidade.

Apêndice X. Resumo da análise de variância do teor de clorofila (leituras SPAD) do feijoeiro em seis épocas de avaliação (22, 29, 36, 43, 50 e 64 DAE). Santo Antônio de Goiás, GO, 2010

Fonte de variação	G.L.	Quadrado médio
Bloco	4	0,380 ^{n.s.}
Fontes	5	11,699 ^{**}
Épocas	5	701,405 ^{**}
Fonte * Épocas	25	6,427 ^{**}
Erro	140	2,801
C.V. (%)		3,85

n.s. - não significativo; ** - significativo pelo teste de F a 1% de probabilidade.

Apêndice Y. Resumo da análise de variância massa de matéria seca da parte aérea (MSPA), teor de N foliar e N acumulado no feijoeiro em razão das fontes nitrogenadas (uréia, uréia + NBPT, uréia + polímero, sulfato de amônio, nitrato de amônio e testemunha). Santo Antônio de Goiás, GO, 2010

Fonte de variação	G.L.	Quadrado Médio		
		MSPA	Teor N	N acumulado
Bloco	4	3,25 ^{n.s.}	11,80 [*]	116,52 ^{n.s.}
Fontes	5	10,31 ^{**}	10,59 ^{n.s.}	364,57 ^{**}
Erro	20	2,36	3,96	85,43
C.V. (%)		15,28	7,09	16,48

n.s. - não significativo; *e ** - significativos pelo teste de F a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente.

Apêndice Z. Resumo da análise de variância do rendimento de grãos, do número de vagem por planta, do número de grãos por vagem, da massa de 100 grãos, e do estande final do feijoeiro em razão das fontes nitrogenadas (uréia, uréia + NBPT, uréia + polímero, sulfato de amônio, nitrato de amônio e testemunha). Santo Antônio de Goiás, GO, 2010

Fonte de variação	G.L.	Quadrado médio				
		Rendimento de grãos	Nº vagem planta ⁻¹	Nº de grãos vagem ⁻¹	Massa de 100 grãos	Estande final (plantas m ⁻²)
Bloco	4	255229,94 ^{n.s.}	40,26 ^{n.s.}	0,19 ^{n.s.}	1,77 ^{n.s.}	0,76 ^{n.s.}
Fontes	5	435193,81*	31,39 ^{n.s.}	0,09 ^{n.s.}	2,05 ^{n.s.}	1,62 ^{n.s.}
Erro	20	112019,63	13,74	0,27	1,51	1,03
C.V. (%)		15,0	20,16	14,54	4,19	9,99

n.s. - não significativo; * - significativo pelo teste de F a 5% de probabilidade.