

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**FLUXOS DE ÓXIDO NITROSO, N MINERAL E FRAÇÕES DE
CARBONO NO SOLO CULTIVADO COM MILHO EM SUCESSÃO A
PLANTAS DE COBERTURA**

VIVIAN GALDINO DA SILVA

TESE DE DOUTORADO EM AGRONOMIA

BRASÍLIA/DF

MAIO/2020



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**FLUXOS DE ÓXIDO NITROSO, N MINERAL E FRAÇÕES DE
CARBONO NO SOLO CULTIVADO COM MILHO EM SUCESSÃO A
PLANTAS DE COBERTURA**

VIVIAN GALDINO DA SILVA

ORIENTADORA: PROFESSORA DOUTORA MARIA LUCRÉCIA GEROSA RAMOS
CO-ORIENTADORA: DOUTORA ARMINDA MOREIRA DE CARVALHO

PUBLICAÇÃO: /2020

BRASÍLIA/DF
MAIO/2020



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**FLUXOS DE ÓXIDO NITROSO, N MINERAL E FRAÇÕES DE
CARBONO NO SOLO CULTIVADO COM MILHO EM SUCESSÃO A
PLANTAS DE COBERTURA**
VIVIAN GALDINO DA SILVA

**TESE DE DOUTORADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGRONOMIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO
DO GRAU DE DOUTOR EM AGRONOMIA.**

APROVADA POR:

MARIA LUCRECIA GEROSA RAMOS,
Ph.D/ Universidade de Brasília/ lucrecia@unb.br

ALESSANDRA MONTEIRO DE PAULA,
Doutora/ Universidade de Brasília/ alessandramp@unb.br

ALEXSANDRA DUARTE DE OLIVEIRA,
Doutora/ Embrapa Cerrados/ alexsandra.duarte@embrapa.br

ADRIANA RODOLFO DA COSTA,
Doutora/Universidade Estadual de Goiás–
Campus de Santa Helena de Goiás/adriana.costa@ueg.br

BRASÍLIA/DF, 22 DE MAIO DE 2020

FICHA CATALOGRÁFICA

Silva, Vivian Galdino da

Fluxos de óxido nitroso, N mineral e frações de carbono no solo cultivado com milho em sucessão a plantas de cobertura/ Vivian Galdino da Silva; orientação de Maria Lucrecia Gerosa Ramos; co-orientação de Arminda Moreira de Carvalho. - Brasília, 2020.

123 p.

Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade de Brasília / Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2020

1. Cerrado. 2. *Cajanus cajan*. 3. *Crotalaria juncea*. 4. *Raphanus sativus*. 5. *Mucuna aterrima*. I. Ramos, Maria Lucrecia Gerosa, orient. II. Carvalho, Arminda Moreira de, co-orient. III. Título.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SILVA, V. G. DA. Fluxos de óxido nitroso, N mineral e frações de carbono no solo cultivado com milho em sucessão a plantas de cobertura. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2020, 123 p. Tese de Doutorado.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Vivian Galdino da Silva

TÍTULO DA TESE: Fluxos de óxido nitroso, N mineral e frações de carbono no solo cultivado com milho em sucessão a plantas de cobertura

GRAU: Doutor ANO: 2020

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta tese de doutorado para única e exclusivamente propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva para si os outros direitos autorais, de publicação. Nenhuma parte desta tese de doutorado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor. Citações são estimuladas, desde que citada à fonte.

Nome: Vivian Galdino da Silva

Email: vivian_galdino@hotmail.com

A Deus,
N. Sra. Virgem Maria, por fé.
Aos meus pais e familiares, por todo apoio que me deram.
DEDICO.

AGRADECIMENTOS

À Deus por me guiar sempre por bons caminhos, aos meus pais, irmã e cunhado, por todas orações, apoio e incentivo. Aos meus sobrinhos e filho, Heloísa, Miguel, Helena e Heitor pelo amor e alegria diários. E a nossa mascote Sophia.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de Doutorado referente ao Edital CAPES/ EMBRAPA- 15/2014, projeto número 76. A Universidade de Brasília e à Embrapa Cerrados, pelo suporte técnico, científico e de infraestrutura.

A minha orientadora e co-orientadora Dr^a. Maria Lucrécia e Dr^a. Arminda, que foram fundamentais na construção da tese, pelas quais tenho grande admiração e respeito, obrigada pelo exemplo, paciência, oportunidade de trabalho no projeto e crescimento pessoal, aprendizado, apoio e conhecimento técnico propiciado.

Ao Msc. Juaci pela competência admirável e imenso apoio nas análises estatísticas. À Dr^a. Alexandra pelos ensinamentos e apoio em artigos.

Aos demais colaboradores da Embrapa Cerrados e Universidade de Brasília, pela amizade, momentos de alegria, apoio e companheirismo durante a execução da tese e pela presteza ao ensinar e tirar dúvidas.

À equipe do Laboratório de Biofísica Ambiental da Embrapa Cerrados pela cessão dos dados climatológicos.

Todos os amigos e colegas que me fizeram companhia nesta jornada.

Aos professores da UnB pelo conhecimento que me proporcionaram. À Pós-graduação em Agronomia da FAV/UNB, pela oportunidade e apoio oferecido.

À banca de defesa, pelas últimas sugestões e considerações.

Obrigada a todos!

“Tudo tem o seu tempo determinado, e há tempo para todo o propósito debaixo do céu.”

Eclesiastes 3:1

“Tudo o que sonho ou passo, o que me falha ou finda, é como que um terraço sobre outra coisa ainda. Essa coisa é que é linda.”

Fernando Pessoa

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS	i
LISTA DE FIGURAS	iv
LISTA DE TABELAS	vi
RESUMO GERAL	ix
GENERAL ABSTRACT	xi
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS E HIPÓTESES	3
2.1 Objetivo geral	3
2.2 Objetivos específicos	3
2.3 Hipóteses	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 O Bioma Cerrado	4
3.2 Plantas de cobertura e seus benefícios	5
3.2.1 Nabo-forageiro (<i>Raphanus sativus</i> L.)	8
3.2.2 Crotalária juncea	9
3.2.3 Guandu 'BRS mandarim' [<i>Cajanus cajan</i> (L.) Millsp.]	11
3.2.4 Mucuna-preta (<i>Mucuna aterrima</i> Merr.)	13
3.3 A cultura do milho em Sistema Plantio Direto	13
3.4 Mudanças climáticas globais e gases de efeito estufa na agricultura	15
3.6 Variáveis Edafoclimáticas que influenciam na emissão de N ₂ O no solo	20
3.7 Alterações de C e N no solo	21
3.8 Referências Bibliográficas	22
CAP. 1 – FLUXOS DE ÓXIDO NITROSO NO SOLO CULTIVADO COM MILHO, COM E SEM APLICAÇÕES DE NITROGÊNIO EM COBERTURA, EM SISTEMA PLANTIO DIRETO NO CERRADO	44
RESUMO	44
ABSTRACT	45
4 INTRODUÇÃO	46
4.2 Material e métodos	48

4.2.1	Localização e caracterização do experimento	48
4.2.2	Amostragem e análises dos fluxos de N-N ₂ O no solo.....	52
4.2.3	N-Mineral (N- NO ₃ ⁻ e N-NH ₄ ⁺).....	55
4.2.4	Análise estatística	57
4.3	Resultados e discussão	58
4.4	Conclusão	68
4.5	Referências Bibliográficas.....	68
CAP. 2 – ALTERAÇÕES DO NITROGÊNIO MINERAL NO SOLO CULTIVADO COM MILHO EM SUCESSÃO A PLANTAS DE COBERTURA NO CERRADO		79
RESUMO		79
ABSTRACT		80
5 INTRODUÇÃO.....		80
5.1	Material e métodos	82
5.2	Resultados e discussão	85
5.3	Conclusão	99
5.4	Referências Bibliográficas.....	100
CAP. 3 – FRAÇÕES DE CARBONO NO SOLO CULTIVADO COM MILHO E PLANTAS DE COBERTURA NO CERRADO.....		104
RESUMO		104
ABSTRACT		104
6 INTRODUÇÃO.....		105
6.1	Material e métodos	106
6.2	Resultados e discussão	109
6.3	Conclusão	116
6.4	Referências Bibliográficas.....	116
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS		122

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

%	porcentagem
µg	micrograma
Al	alumínio
ANOVA	Análise de variância
Ca	Cálcio
cmol _c	centimol de carga
C	carbono
CO ₂	dióxido de carbono
°C	Grau Celsius
CH ₄	metano
CJ	Crotalária Júncea
Conab	Companhia Nacional de Abastecimento
Cu	Cobre
DF	Distrito Federal
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPSA	Espaço poroso saturado por água
FDA	fibra em detergente ácido
FDN	fibra em detergente neutro
g	gramas
GEEs	Gases efeito estufa
GU	guandu

h	Hora
H ₂ O	Água
ha	hectare
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
K	potássio
KCL	Cloreto de potássio
Km ²	quilômetros quadrados
M	molar
m ²	metros quadrados
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
Mg	magnésio
mg	miligrama
mL	mililitro
mm	milímetro
Mn	manganês
Mo	molibdênio
MOS	Matéria orgânica do solo
MP	mucuma preta
MS	Matéria seca
mBar	milibar
N ₂	Nitrogênio elementar
N	nitrogênio
N ₂ O	óxido nitroso

NF	Nabo forrageiro
NH_4^+	amônio
NH_3	amônia
NO_3^-	nitrato
NO_2^-	nitrito
NO	Monóxido de nitrogênio
ONU	Organização das Nações Unidas
O	oxigênio
O_2	gás oxigênio
O_3	ozônio
P	fósforo
P	pressão
PC	plantio convencional
PCs	plantas de cobertura
PD	plantio direto
pH	Potencial hidrogeniônico
s	segundos
SPD	Sistema plantio direto
t	tonelada
TFSA	Terra fina seca ao ar
UR	Umidade relativa
Zn	Zinco
ZnSO_4	sulfato de zinco

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Planta de cobertura: Nabo-forrageiro.....	08
Figura 2	Planta de cobertura: Crotalária juncea.....	10
Figura 3	Planta de cobertura: Guandu.....	12
Figura 4	Planta de cobertura: Mucuna-preta.....	13
Figura 5	Ciclo do nitrogênio resumido.....	17
Figura 6	Localização da área experimental das coletas de N ₂ O no solo em Sistema Plantio Direto.....	48
Figura 7	Croqui de distribuição dos tratamentos no campo experimental.....	50
Figura 8	Câmaras estáticas para realização da coleta de N ₂ O no solo.....	53
Figura 9	Modelo de câmaras estáticas e sequência utilizada para realização da coleta de N ₂ O do solo. (1) Bomba de vácuo; (2) Bases inseridas no campo; (3) Câmaras estáticas; (4) Vials e (5) Cromatógrafo gasoso.....	54
Figura 10	Etapas para realização da coleta e extração do solo.....	57
Figura 11	Fluxos de N-N ₂ O, concentrações de nitrato e amônio na camada de 0-10 cm de solo, EPSA e temperatura média do solo sob cultivo de milho em sucessão às plantas de cobertura e Cerrado nativo. As setas indicam aplicação de N em cobertura no solo via fertilizantes.....	60
Figura 12	Precipitação pluviométrica (mm) e temperatura média do ar (°C) referente ao período de novembro de 2015 a março de 2016 coletada na Estação Climatológica da Embrapa, Planaltina, DF.....	62
Figura 13	Emissões acumulados de N ₂ O (kg ha ⁻¹), sob cultivo de milho em sucessão às plantas de cobertura, Planaltina, DF.....	66

Figura 14	Precipitação pluviométrica e temperatura no período de abril a novembro de 2016 na área experimental, Embrapa Cerrados, Planaltina-DF.....	83
Figura 15	Teores (mg kg^{-1}) de N-NH_4^+ e N-NO_3^- em diferentes profundidades do solo sob espécies vegetais Com Nitrogênio (CN) A – no final do período chuvoso e B - no início do período chuvoso; Sem Nitrogênio (SN) C - no final do período chuvoso e D - no início do período chuvoso - Planaltina-DF.....	92

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Período de emergência/floração, espaçamento e densidade de semeadura recomendados e relação C:N das plantas de cobertura.....	51
Tabela 2	Matriz de correlação de Pearson entre os fluxos de N-N ₂ O e as covariáveis, nos sistemas de sucessão com e sem N.....	65
Tabela 3	Médias de N ₂ O acumulado no período de novembro de 2015 a março de 2016 (132 dias) emitido para a atmosfera em solo com diferentes plantas de cobertura, com e sem a adição de nitrogênio em cobertura, no cultivo do milho.....	67
Tabela 4	Produção de matéria seca (MS) das PCs	68
Tabela 5	Teor de hemicelulose (HEM), celulose (CEL), lignina (LIG), lignina:N (LIG:N) e nitrogênio (N) das plantas de cobertura, com CN) e sem (SN) adubação de cobertura na cultura do milho.....	86
Tabela 6	Teor (mg kg ⁻¹) de amônio (NH ₄ ⁺) e nitrato (NO ₃ ⁻) no solo sob uso de diferentes plantas de cobertura que receberam aplicação de N em cobertura (CN) e sem aplicação de N em cobertura (SN), após a colheita do milho e após a colheita das plantas de cobertura. Planaltina-DF, 2015/2016.....	87
Tabela 7	Nitrogênio Total (g kg ⁻¹), hemicelulose (g kg ⁻¹), celulose (g kg ⁻¹), lignina (g kg ⁻¹), e lignina:N nos resíduos culturais do milho.	88
Tabela 8	Média dos teores (mg kg ⁻¹) de amônio (NH ₄ ⁺) e nitrato (NO ₃ ⁻) no solo sob uso de diferentes plantas de cobertura que receberam aplicação de N em cobertura (CN) após a colheita do milho no final do período chuvoso (Abril de 2016). Planaltina-DF, 2015/2016.....	94
Tabela 9	Média dos teores (mg kg ⁻¹) de amônio (NH ₄ ⁺) e nitrato (NO ₃ ⁻) no solo sob uso de diferentes plantas de cobertura que não receberam	95

	aplicação de N em cobertura (SN) após a colheita do milho no final do período chuvoso (Abril de 2016). Planaltina-DF, 2015/2016.....	
Tabela 10	Média dos Teores (mg kg^{-1}) de amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-) no solo sob uso de diferentes plantas de cobertura que receberam aplicação de N em cobertura (CN) após o corte das plantas de cobertura, no início do período chuvoso (Novembro de 2016). Planaltina-DF, 2015/2016.	97
Tabela 11	Média dos Teores (mg kg^{-1}) de amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-) no solo sob uso de diferentes plantas de cobertura que não receberam aplicação de N em cobertura (SN) após o corte das plantas de cobertura, no início do período chuvoso (Novembro de 2016). Planaltina-DF, 2015/2016.	98
Tabela 12	Produção de matéria seca (kg ha^{-1}), absorção de N (kg ha^{-1}) nos resíduos culturais e produtividade do milho.....	110
Tabela 13	Carbono orgânico (CO), frações de carbono em ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH), humina (Hum), em g kg^{-1} , relação AH/AF em Latossolo dos resíduos culturais do milho plantado sucessivamente as plantas de cobertura com (CN) e sem (SN) adubação nitrogenada.....	112
Tabela 14	Carbono lábil (CL) em g kg^{-1} e fração do C lábil em relação ao COT (g CL g COT^{-1}) em solo sob cultivo de milho, com (CN) e sem (SN) aplicação de nitrogênio em cobertura, em sucessão a plantas de cobertura, nas camadas de 0-10 e 10-20 cm.....	114
Tabela 15	Frações de ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH), humina (Hum), carbono orgânico particulado (COP), carbono orgânico associado aos minerais (COAM) em relação ao carbono orgânico total (COT) em Latossolo cultivado com milho, com (CN) e sem	115

(SN) aplicação de nitrogênio em cobertura, em sucessão a plantas de cobertura, nas camadas de 0-10 e 10-20 cm.....

RESUMO GERAL

SILVA, Vivian Galdino da. **Fluxos de óxido nitroso, N mineral e frações de carbono no solo cultivado com milho em sucessão a plantas de cobertura.** 2020. 123 p. Tese (Doutorado em Agronomia – Produção Sustentável) - Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil.

O presente trabalho teve como objetivo estudar os fluxos de óxido nitroso e a dinâmica de N no solo cultivado com milho, com e sem fertilização nitrogenada, em sucessão a plantas de cobertura, em sistema plantio direto no Cerrado e suas associações com as frações de carbono e nitrogênio no solo. O experimento foi conduzido na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF (Brasil). O delineamento experimental foi em blocos ao acaso e em parcelas subdivididas com três repetições. As plantas de cobertura representaram as parcelas, e a aplicação de N em cobertura no milho, as subparcelas. As seguintes espécies de plantas de cobertura foram cultivadas em sucessão ao milho (híbrido 30F53VYHR): guandu 'BRS mandarim' [*Cajanus cajan* (L.) Millsp]; crotalária juncea (*Crotalaria juncea* L.); nabo-forrageiro (*Raphanus sativus* L.) e mucuna-preta (*Mucuna aterrima* Merr.). Fluxos de óxido nitroso foram medidos durante a safra do milho, entre Novembro de 2015 a Março de 2016. , Após a colheita do milho foram coletados os resíduos culturais na superfície do solo e, após a colheita das plantas de cobertura foram retiradas amostras de solo nas profundidades de 0-10 e 10-20 m. Amostras do solo para análises das concentrações de N mineral foram realizadas em abril de 2016 (final do ciclo do milho, final do período chuvoso) e em novembro de 2016 (antes do plantio do milho, início do período chuvoso). As parcelas cultivadas com milho e aplicações de N em cobertura resultaram nos maiores valores médios de fluxos de N-N₂O no solo, durante o ciclo do milho. Os maiores valores de fluxos de N-N₂O no solo foram verificados após a segunda adubação no milho cultivado em sucessão ao nabo-forrageiro (174,12 µg N-N₂O m⁻² h⁻¹) e crotalária-juncea (153,30 µg N- N₂O m⁻² h⁻¹). A produção de matéria seca (2161 kg ha⁻¹) e decomposição de resíduos vegetais podem explicar o maior acúmulo de N-N₂O (0,78 kg ha⁻¹) a partir de fevereiro de 2016 no solo cultivado com milho em sucessão ao guandu com aplicação de N em cobertura. A forma predominante de N-mineral no solo foi o nitrato. Independente do manejo com ou sem

N, o início das chuvas em novembro representa o período com os maiores teores de nitrato e amônio no solo, possivelmente devido à atividade dos microrganismos nitrificantes que permaneceram inertes durante o longo período de seca. Entre as espécies estudadas, a mucuna-preta resultou na concentração de N-mineral mais elevada no solo. As plantas de cobertura alteraram as frações químicas e físicas de carbono no solo, principalmente o ácido fúlvico (AF) e o carbono orgânico particulado do solo. A adição de N em cobertura diminuiu os teores de ácido fúlvico no solo e aumentou a razão ácido húmico/ácido fúlvico (AH/AF), além da fração de carbono orgânico particulado na camada, principalmente na 10-20 cm do solo.

GENERAL ABSTRACT

SILVA, Vivian Galdino da. **Flows of nitrous oxide, mineral N and carbon fractions in soil cultivated with corn in succession to cover crops.** 2020. 123 p. Thesis (PhD in Agronomy - Sustainable Production) - University of Brasília, Brasília, DF, Brazil.

The present study aimed to study nitrous oxide flows and N dynamics in soil cultivated with corn, with and without nitrogen fertilization, in succession to cover crops, under no-tillage system in the Cerrado and its associations with carbon fractions and nitrogen in the soil. The experiment was conducted at Embrapa Cerrados, Planaltina, DF (Brazil). The experimental design was in randomized blocks and in split plots with three replications. The cover crops represented the plots, and the application of N in corn, the subplots. The following species of cover crops were grown in succession to corn (hybrid 30F53VYHR): pigeonpea 'BRS mandarin' [*Cajanus cajan* (L.) Millsp]; sunn hemp (*Crotalaria juncea* L.); oilseed radish (*Raphanus sativus* L.) and black mucuna (*Mucuna aterrima* Merr.) Nitrous oxide flows were measured during the corn harvest from November 2015 to March 2016. After harvesting corn, crop residues were collected from soil surface, and after harvesting cover crops, soil samples were collected at depths of 0-10 and 10-20 m. Soil samplings for analysis of mineral N concentrations were carried out in April 2016 (end of the corn cycle, end of the rainy season) and in November 2016 (before corn planting, beginning of the rainy season). The corn plots with applications of N in topdressing resulted in the highest average values of N-N₂O flows in the soil during the evaluated period. The highest values of N-N₂O fluxes in the soil were verified after the second fertilization in corn grown in succession to oilseed radish (174.12 µg N-N₂O m⁻² h⁻¹) and sunn hemp (153.30 µg N-N₂O m⁻² h⁻¹). The production of dry matter (2161 kg ha⁻¹) and decomposition of plant residues may explain the greater accumulation of N-N₂O (0.78 kg ha⁻¹) from February on soil cultivated with corn in succession to the pigeonpea with application of N in coverage. The predominant form of N-mineral in the soil was nitrate. Regardless of management with or without N, the beginning of the rain season, in November, represents the period with the highest levels of nitrate and ammonium in the soil, probably due to the activity

of nitrifying microorganisms that remained inert during the long drought period. Among the species studied, the black mucuna resulted in the highest concentration of mineral-N in the soil. The cover crops changed the chemical and physical carbon fractions of the soil, mainly the fulvic acid (AF) and the particulate organic carbon of the soil. The addition of N in topdressing decreased fulvic acid and increased the humic acid / fulvic acid (AH / AF) ratio and the particulate organic carbon, mainly in the 10-20 cm soil layer.

1. INTRODUÇÃO

O sistema plantio direto (SPD) consiste em uma técnica de manejo conservacionista que favorece os atributos do solo por não revolvê-lo, mantendo e/ou incrementando seus teores de matéria orgânica. Com o uso de plantas de cobertura e rotação de culturas, esse sistema apresenta-se com potencial de sequestro do C e conseqüentemente, de mitigação de gases do efeito estufa (GEEs) (Casão Júnior et al., 2008).

Nos sistemas agrícolas, as fontes de nitrogênio (N) são provenientes da deposição atmosférica (Carvalho Junior, 2004), fertilização nitrogenada, da fixação biológica do N₂ atmosférico (Schlesinger, 1997) e a mineralização do N-orgânico do solo (Bustamante et al., 2004).

A quantidade total de nitrogênio no solo está entre 0,05% e 0,5%, em sua maioria na forma orgânica e, geralmente, menos de 5% ocorre nas formas inorgânicas, como amônio e nitrato (Whiethölter, 2000). Dentre os nutrientes minerais essenciais às plantas, o nitrogênio (N) é o mais caro, o que consome mais energia e, potencialmente, com maior efeito poluente, sendo geralmente o mais limitante à produção vegetal (Hungria et al., 2007). O N aplicado ao solo representa até 20% do custo de produção das culturas (Zagonel et al. 2002).

Em torno de 98% do N total do solo está na forma orgânica, sendo que uma parcela considerável de N não está prontamente disponível às plantas (Urquiaga e Zapata, 2000). Porém, existem frações que podem ser mineralizadas e se tornarem disponíveis às plantas na forma de nitrato e amônio (Veras et al., 2016). A disponibilidade dessas formas de N está relacionada com sua localização e seus estoques nas diferentes camadas de solo que, dependendo do sistema de manejo adotado e do tempo de duração do experimento podem liberar o N de forma mais lenta e eficiente (D'Andrea et al. 2004).

Entre os diferentes fatores que afetam as emissões de N₂O em solos agrícolas, a quantidade e a qualidade da matéria orgânica do solo (MOS) foram enfatizados em pesquisas recentes (Sheehy et al., 2015). Em geral, três GEEs: CO₂, CH₄ e N₂O, são alterados quando se pratica a agricultura (Mosier et al., 2004). O CH₄, e principalmente o N₂O, estão em concentrações atmosféricas muito mais baixas na atmosfera, comparados ao CO₂, mas o

potencial de aquecimento global (Pag) desses gases é suficientemente alto para que pequenas mudanças nas suas concentrações tenham forte impacto na atividade radioativa da atmosfera (Baggs e Philippet, 2010).

Quando ocorre aumento dos fluxos de N-N₂O no solo com preparo convencional (PC), esse incremento é atribuído à maior aeração e evaporação da água pelo revolvimento do solo, permitindo que os microrganismos promovam a decomposição dos resíduos culturais e possam induzir sítios de produção de N₂O (Ussiri e Lal, 2013). Em contrapartida, a desnitrificação tende a ser maior em solos com SPD, em consequência da densidade do solo mais elevada e maior porcentagem de microporos preenchidos com água, podendo ocorrer sítios de anaerobiose no solo devido à decomposição de resíduos vegetais, consequentemente, aumentando emissões em função da formação de N₂O (Rochette, 2008).

As mudanças climáticas, tanto naturais como antrópicas, representam um alerta de situação vulnerável devido aos impactos ambientais, e não se sabe com precisão a magnitude que essa mudança do clima pode afetar os ecossistemas e a sociedade. Porém, entende-se que a desaceleração dessas mudanças climáticas depende de estudos e alterações no atual modelo de desenvolvimento e dos padrões de consumo (Rodrigues Filho e Santos, 2011).

A presença de GEEs na atmosfera ajuda a reter o calor do Sol, promovendo o aquecimento do planeta, porém, quando isso acontece de forma desequilibrada, pode ocorrer um incremento da radiação infravermelha (Rodrigues Filho e Santos, 2011).

Uma das alternativas para diminuir o impacto da agricultura nas mudanças climáticas é mitigar as emissões de gases estufa, através do uso de plantas de cobertura. Abdalla et al. (2014) compararam o cultivo reduzido associado ao uso de plantas de cobertura com o sistema convencional, concluíram que a eficiência do sistema de cultivo mínimo na mitigação de GEEs dependerá essencialmente do “sequestro” de C pela planta de cobertura no sistema. Esta capacidade de absorver o CO₂ da atmosfera deverá compensar as maiores emissões de N₂O que predominam nesses sistemas, resultando em um balanço favorável à mitigação de GEEs.

A intensificação do efeito estufa é a principal causa do aquecimento global, e embora este seja um fenômeno natural, vem sendo potencializado, principalmente pela ação de atividades agropecuárias e industriais. O Brasil assumiu o compromisso voluntário de reduzir

as emissões de gases do efeito estufa. A fim de acompanhar o cumprimento do compromisso nacional voluntário para a redução das emissões até o ano de 2020, foi estabelecido no artigo 24 do Decreto no 9.578/2018 que serão publicadas estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa (Brasil, 2020).

2. OBJETIVOS E HIPÓTESES

2.1 Objetivo geral

O presente estudo tem como objetivo estudar os fluxos de óxido nitroso e a dinâmica de N no solo cultivado com milho, com e sem fertilização nitrogenada, em sucessão a plantas de cobertura, em sistema plantio direto no Cerrado e suas associações com as frações de carbono e nitrogênio no solo.

2.2 Objetivos específicos

- ✓ Avaliar o efeito de plantas de cobertura e da presença e ausência de fertilização nitrogenada em cobertura na cultura de milho nos fluxos de N-N₂O do solo.
- ✓ Determinar teores de nitrogênio nas formas nítrica (N-NO₃⁻) e amoniacal (N-NH₄⁺) em diferentes profundidades do solo sob plantas de cobertura, em sucessão ao milho cultivado em sistema plantio direto (SPD), em no final do ciclo do milho e no início do período chuvoso.
- ✓ Avaliar as frações de carbono no solo cultivado com milho em sucessão às plantas de cobertura, com ou sem aplicação de N no Cerrado.

2.3 Hipóteses

- ✓ Os fluxos de N-N₂O do solo com cultivo de milho com e sem fertilização nitrogenada em sucessão às plantas de cobertura são alterados pela quantidade e qualidade da palhada e pelas frações de carbono e nitrogênio no solo.

- ✓ A composição da palhada de diferentes espécies vegetais no sistema plantio direto altera as frações de carbono e nitrogênio do solo.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 O Bioma Cerrado

O Domínio Cerrado abrange cerca de 2 milhões de km² do Planalto Central do Brasil (24% do total da área do país) e é o segundo maior bioma fitogeográfico compartilhando transições com outros biomas brasileiros: a Floresta Amazônica, Caatinga, Pantanal e Mata Atlântica (Bustamante et al., 2012). Este bioma possui um elevado potencial aquífero e favorece a sua biodiversidade pois em seu espaço territorial encontram-se as nascentes das três maiores bacias hidrográficas da América do Sul (Amazônica/Tocantins, São Francisco e Prata) (MMA, 2016).

Com a expansão das práticas agrícolas, este bioma passou a ter grande importância na produção de alimentos (Wendling et al., 2014), impulsionado pela crescente demanda de mercado e aumento populacional. Possui relevância ecológica por abranger a vegetação xeromórfica, classificado como savana, que compreende uma rica flora endêmica dentre as demais savanas do mundo, incluindo mais de 7.000 espécies. Nesta vegetação que preserva uma fauna considerável de espécies, apenas 2,2% da sua área encontra-se legalmente protegida (Rocha et al., 2011; Kling e Machado, 2005). O clima é sazonal, com duas estações bem definidas. Segundo Silva et al. (2014), com precipitação média anual de 1.383,7 mm, e estação chuvosa de setembro a abril.

A vegetação de cerrado ocorre em vários tipos de solos, sendo a maior parte destes bem drenados, profundos, ácidos, pobres em nutrientes e com alta saturação de alumínio, classificados como latossolos (Felfili e Silva Junior, 2005).

Na região do cerrado brasileiro, o acúmulo de resíduos vegetais para proteção da superfície do solo em áreas sob plantio direto tem sido um problema, devido, dentre outros fatores, à baixa produção de fitomassa na entressafra e à rápida decomposição dos resíduos,

condições em que a utilização de espécies com decomposição mais prolongada representa uma estratégia para aumentar a eficiência dessas plantas de cobertura na produção de resíduos sobre a superfície do solo (Bressan et al., 2013).

Aproximadamente, um milhão de km², que equivale a 50% da extensão do Cerrado, está ocupado pelo setor agropecuário devido à topografia e características físicas adequadas do solo (Lapola et al., 2013).

Além disso, cerca de 40% do bioma Cerrado foi convertido em agricultura, pastagem e em áreas urbanas nessas três últimas décadas (Rocha et al., 2011). A conversão da vegetação natural para as explorações agropastoris já supera 80 milhões de ha, sendo 54 milhões de ha de pastagens, 21,5 milhões de ha de agricultura, muito em decorrência da expansão da agropecuária a partir da década de 70 (Rocha et al., 2011).

3.2 Plantas de cobertura e seus benefícios

A escolha de espécies vegetais para a introdução nos sistemas de produção depende da adaptação destas às condições de clima de cada região e do interesse do produtor (Silva e Rosolem, 2001). Segundo Alvarenga et al. (2001) e Chaves e Calegari (2001), as espécies escolhidas devem se desenvolver bem em condições de baixa a média fertilidade do solo e ter capacidade de adaptação a baixos valores de pH do solo (Ernani et al., 2001).

Um manejo de solo que proporcione a racionalização do uso das fontes minerais é a associação do uso de adubos verdes a fertilizantes nitrogenados. Essa prática pode resultar em aumento do rendimento das culturas se comparada ao uso exclusivo de adubos minerais ou adubos verdes (Peterson e Varvel, 1989; Rekhi e Bajwa, 1993; Pöttker e Roman, 1994). Segundo Scivittaro et al. (2003), para se estabelecer práticas de manejo que aumentem a eficiências desses adubos verdes e minerais como fonte de N é necessário determinar sua dinâmica em diferentes sistemas de plantio. Aliado a isto a literatura reporta que no estudo de plantas de cobertura em solo compactado, verifica-se que os resultados são divergentes apontando para as condições específicas de solo, manejo e culturas, o que dificulta a

extrapolação de dados mesmo que dentro da mesma classe de solo, pois envolve vários atributos como textura do solo e seus efeitos associados à retenção de água (Braidá et al., 2010).

A formação da palhada torna-se preponderante na condução do manejo de SPD por garantir a cobertura do solo e promover reduções significativas de perdas de solo pela erosão. A adoção do SPD é importante para melhorar a qualidade de solos degradados em decorrência da intensa operacionalização de máquinas, de modo a diminuir a desagregação de partículas, o selamento superficial decorrente do impacto das chuvas, o escoamento superficial e consequente menor infiltração de água no solo (Embrapa, 2012).

A decomposição da palhada proporciona a formação de ácidos fúlvicos, húmicos e humina, que são importantes frações da matéria orgânica do solo, bem como, contribui para favorecer a disponibilidade de compostos inorgânicos, como cálcio, magnésio, fósforo, potássio, nitrogênio e enxofre, entre outros importantes à assimilação das plantas (Maia et al., 2008; Dobbs et al., 2008).

Neste contexto, podem ser selecionadas espécies de plantas indicadas para cobertura do solo, ainda que sejam plantadas em consórcio ou em sucessão (Embrapa 2012, Ribeiro Júnior e Ramos, 2006; Pavei, 2005).

As espécies vegetais utilizadas como plantas de cobertura, além de protegerem o solo dos agentes climáticos, assimilam C atmosférico e, desta forma, apresentam potencial para manter ou elevar o teor de matéria orgânica do solo, mobilizar e reciclar nutrientes (Silva et al., 2011). Os resíduos culturais destas espécies vegetais podem gerar quantidades de matéria seca (MS) suficientes para manter o solo coberto, aumentar o teor de matéria orgânica e diminuir a evapotranspiração (Giongo et al., 2011).

As plantas de cobertura, principalmente as gramíneas, integradas de forma planejada no modelo de rotação de culturas, proporcionam incremento de fitomassa, possuem elevada relação C/N, garantindo a cobertura do solo por um período de tempo maior (Borghetti et al., 2006). Segundo Costa et al. (2014) a *Urochloa brizantha* cv. Xaraés e *Urochloa ruziziensis* são boas alternativas para a produção de resíduos vegetais por apresentarem elevada produtividade de palhada em antecessão à cultura do milho sob SPD.

Além dos benefícios de mineralização de N com o uso de plantas de cobertura, observa-se que ocorre maior eficiência de recuperação de N pelo milho quando as plantas de cobertura crotalária e milheto são incorporadas ao sistema de cultivo (Silva et al., 2009).

O uso de leguminosas destaca-se pela capacidade de assimilação do N atmosférico, por meio de associações com bactérias diazotróficas do grupo rizóbio. O processo de decomposição diferenciado entre leguminosas e gramíneas se dá em função da qualidade bromatológica das espécies vegetais, principalmente, em relação à concentração de nitrogênio, das condições climáticas e da atividade microbiana no solo (Carneiro et al., 2008).

Nascente et al. (2014) comparando as plantas de cobertura *Pennisetum glaucum*, *Panicum maximum*, *Brachiaria brizantha* e *B. ruziziensis*, observaram que o *P. glaucum* apresentou uma rápida decomposição e liberação N para o solo, representando melhor opção em relação às demais espécies que resultaram em tempo mais longo para a liberação de N. Outro trabalho desenvolvido no cerrado, as plantas de cobertura *Canavalia brasiliensis* e *Pennisetum glaucum*, favoreceram a maior produção de matéria seca no milho e a *C. brasiliensis* aumentou a produtividade do milho, o que pode ser justificado pela baixa relação C/N dos resíduos vegetais dessa planta, que possibilita rápida mineralização de compostos orgânicos e maior conteúdo de N para a cultura subsequente (Carvalho et al., 2005; Carvalho et al., 2015).

As plantas de cobertura interferem na atividade, biomassa e composição da comunidade microbiana do solo, através do fornecimento de exsudatos radiculares e materiais vegetais depositados ao solo durante o seu período de crescimento (Elfstrand et al., 2007; White e Weil, 2010). Os microrganismos do solo promovem efeitos benéficos sobre as culturas, as bactérias fixadoras de N₂ fornecem nitrogênio através de interações simbióticas e associativas com as plantas (Eo et al., 2015). A composição química das plantas assim como a relação carbono-nitrogênio (C/N) e lignina-nitrogênio (L/N) impactam na decomposição dos resíduos vegetais pelos microrganismos (Tejada et al., 2008).

Torres et al. (2005) avaliaram *Pennisetum americanum*, *Brachiaria brizantha*, *Sorghum bicolor*, *Cajanus cajan*, *Crotalaria juncea*, *Avena strigosa*, em pousio e em área de cultivo convencional (testemunha) no Triângulo Mineiro; os autores constataram que a maior taxa de liberação de N das plantas de cobertura ocorreu aos 42 dias após a dessecação, mas a taxa de

decomposição das mesmas foi diferenciada, sendo que crotalária e guandu, apresentaram as taxas de decomposição mais elevadas em relação às gramíneas. O milho apresentou a maior produção da matéria seca, seguido da espécie crotalária, entre as leguminosas. Portanto, as potenciais espécies para uso como plantas de cobertura, estão sujeitas a imobilização e mineralização de N, o que está relacionado ao seu tempo de decomposição (Torres et al., 2005).

Os microrganismos aumentam seu metabolismo quando há uma maior disponibilidade de resíduos vegetais em decomposição, possibilitando maior ciclagem de nutrientes e maior equilíbrio nos processos de mineralização e imobilização, em função da relação C/N e dos teores de lignina, celulose e hemicelulose (Cantarella, 2007; Carvalho et al., 2011; Carvalho et al., 2012).

3.2.1 Nabo-forrageiro (*Raphanus sativus* L.)

O nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) pertence à família Brassicaceae ou Cruciferae. É uma planta de ciclo anual, herbácea, alógama, ereta, muito ramificada podendo atingir de 1,0 m a 1,8 m de altura (Calegari, 1998). É originário da Ásia e é uma das espécies produtoras de óleo mais antigas, cultivadas na Ásia Oriental e Europa (Figura 1) (Calegari et al., 1992).



Figura 1. Planta de cobertura: Nabo-forrageiro.

Foto: Welmiton Fábio Ribeiro.

Fonte: Carvalho e Amabile (2006).

O nabo forrageiro foi introduzido no Brasil na década de 80 como fonte de matéria orgânica para cobertura do solo e alimentação animal e tornou-se uma importante espécie de planta de cobertura, com a capacidade de recuperar a fertilidade e estrutura do solo (Sá, 2005).

Tem sido empregado nas regiões Sul e Centro-Oeste e no estado de São Paulo, como planta de cobertura de inverno ou planta de cobertura, em sistemas de cultivo conservacionistas (Crusciol et al., 2005) e como planta descompactadora de solo (Hernani et al., 1995).

A cultura apresenta efeitos físicos e químicos, que afetam qualitativa e quantitativamente a incidência de distintas espécies de plantas invasoras, pela sua precocidade e agressividade em cobrir a superfície do solo, atingindo a capacidade de cobertura do solo em 70% aos 60 dias (Calegari, 1990), esta planta possui grande produção de fitomassa, com variações de 40 a 60 toneladas por hectare de massa verde e produtividade média de 500 kg de sementes por hectare (Tomm et al., 2003; Crusciol et al., 2005; Denardin et al., 2006), além de uma elevada capacidade de reciclagem de nutrientes, principalmente nitrogênio, fósforo e potássio (Calegari, 2001; Aita e Giacomoni, 2003; Giacomoni et al., 2003), tornando-o uma importante espécie em sistemas de rotação de culturas com o milho (Corrêa e Sharma, 2004; Martins e Rosa Junior, 2005), podendo também ser utilizado em sistemas de cultivo conservacionistas como o plantio direto e o cultivo mínimo (Crusciol et al., 2005), além disso, é uma boa fonte de nitrogênio para culturas subseqüentes (Denardin et al., 2006).

O manejo da biomassa em plantio direto pode ser realizado com roçadeira, herbicida e ou rolo-faca. Em plantio convencional, é recomendada, inicialmente, uma gradagem para baixar a fitomassa, seguindo as operações de revolvimento do solo que se fizerem necessárias. Como no caso do feijão-bravodo-ceará e das mucunas, devem-se tomar os devidos cuidados ao manejar essa espécie para que ela não se torne planta invasora (Carvalho e Amabile, 2006).

3.2.2 Crotalária juncea

A *Crotalaria juncea* L. é originária da Índia, com ampla adaptação às regiões tropicais. As plantas são arbustivas, de crescimento ereto e determinado, produzem fibras e celulose de alta qualidade, próprias para a indústria de papel (Silva, et al., 2014) e outros fins (Figura 2). É recomendada para adubação verde, em cultivo isolado, intercaladas a perenes, na reforma de canavial ou em rotação com culturas graníferas. Dentre as leguminosas, é uma das espécies de mais rápido crescimento inicial, atingindo 3,0 a 3,5 m de altura. É considerada má hospedeira

de nematóides formadores de galhas e cistos. Quando semeada no início do período chuvoso, floresce aos 90 dias e, quando semeada no final dessa estação, floresce aos 60 dias. Em ambas as épocas, geralmente o ciclo completa-se aos 120 dias (Carvalho et al., 1999).



Figura 2. Planta de cobertura: *Crotalaria juncea*.

Foto: Welmiton Fábio Ribeiro.

Fonte: Carvalho e Amabile (2006).

Quando semeada no início do período chuvoso, pode produzir 17 mg ha^{-1} de matéria seca (Amabile et al., 2000). Ainda segundo esses autores, quando semeada em meados do período de chuva, o rendimento de matéria seca decresce para 8 mg ha^{-1} . Ao ser semeada no final do período chuvoso, o rendimento é de apenas 6 mg ha^{-1} .

Apresenta produtividade média normal que vai de 10 a 15 t ha^{-1} de material seco (MS). O ciclo, do plantio até a colheita das vagens, pode chegar a 180 dias, porém para fins de adubação verde recomenda-se o corte quando ela apresenta máxima produção de material no florescimento, ao redor de 120 dias (Salgado et al., 1987).

A crotalária (*Crotalaria juncea*) é uma espécie de clima tropical da família das leguminosas (Fabacea), cujo uso como adubo verde é amplamente preconizado face o seu rápido crescimento, supressão de ervas espontâneas e ao grande potencial de produção de biomassa e fixação biológica de nitrogênio (Pereira et al., 2005).

As plantas de cobertura conhecidas como crotalárias (*Crotalaria* spp.) têm sido adotadas por parte dos produtores rurais do Cerrado, nos últimos anos. As crotalárias apresentam elevada tolerância ao estresse hídrico, quando semeadas na época da safrinha (fevereiro a abril), reduzem a multiplicação de fitonematoides no solo e proporcionam significativo acúmulo de fitomassa e

nutrientes na parte aérea. Destacam-se, também, pela sua grande capacidade de incorporar nitrogênio ao sistema agrícola, por meio da fixação biológica. Resultados preliminares também têm demonstrado alto potencial da espécie *C. juncea* em promover a descompactação do solo (Foloni et al., 2006).

Apresenta elevada capacidade para fixar N, principalmente em condições de não ocorrência de estresse hídrico, podendo fixar de 150 a 450 kg ha⁻¹ (Wutke et al., 2014). Sua capacidade de ciclar nutrientes do solo também é relevante (Diniz et al., 2014). Em sistemas de rotação ou em consórcio, essa espécie tem efeitos consideráveis na produtividade de culturas de expressão econômica, como algodão (Wutke et al., 2014), arroz (Jesus et al., 2007), feijão, fumo (Wutke et al., 2014), café (Araujo et al., 2013), cana-de-açúcar (Duarte-Junior e Coelho, 2008), milho (Fosu et al., 2004; Silva et al., 2009), pimentão (Cesar et al., 2007), quiabo (Ribas et al., 2003), soja, sorgo (Wutke et al., 2014) e trigo (Lange et al., 2009).

3.2.3 Guandu 'BRS mandarim' [*Cajanus cajan* (L.) Millsp]

O feijão guandu é uma leguminosa consumida por populações de regiões tropicais, especialmente a Índia, que tem esta leguminosa como base de sua alimentação (Figura 3). Apresenta na sua composição elevado teor proteico, semelhante a outras leguminosas (Canniatti-Brazaca et al, 1996).

É uma planta semi-perene, permanecendo verde o ano todo, porém seu desenvolvimento inicial é lento. O sistema radicular é agressivo, aumentando a descompactação dos solos. Apresenta boa produção de massa verde e pode fixar até 280 Kg de nitrogênio por hectare ano⁻¹ (Penteado, 2007).



Figura 3. Planta de cobertura: Guandu.

Foto: Welmiton Fábio Ribeiro.

Fonte: Carvalho e Amabile (2006).

O feijão guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) é uma leguminosa utilizada para cobertura de solo e tem sido cultivado isoladamente ou em consórcio com outras plantas de cobertura de solo (Alvarenga et al., 1995; Sodré Filho et al., 2004; Suzuki e Alves, 2006; Bertolin et al., 2008; Finholdt et al., 2009; Maior Júnior et al., 2009; Almeida e Camara, 2011; Cavalcante et al., 2012). De maneira geral, nesses estudos, foram abordados aspectos relacionados ao acúmulo de nutrientes, à produção de sementes, massas verde e seca e, ainda, à conservação, recuperação e cobertura de solo. O guandu possui produção de massa verde de parte aérea entre 4,7 t ha⁻¹ (Sodré Filho et al., 2004) e 51,9 t ha⁻¹ (Alvarenga et al., 1995).

Constitui-se em uma das plantas de maior uso como adubação verde, porque além de possuir um sistema radicular profundo e ramificado que, torna-o capaz de resistir ao estresse hídrico, possibilita-o romper camadas adensadas de solos, como “pé de arado”. Devido a isso, o guandu é chamado de arado biológico, e tem se destacado com relação às melhorias na fertilidade do solo (Alcântara et al., 2000; Rodrigues Filho et al., 1996; Santos et al., 1999; Seiffert e Thiago, 1983).

3.2.4 Mucuna-preta (*Mucuna aterrima* Merr.)

A mucuna preta (*Stizolobium aterrimum*) é uma espécie rústica, resistente a pragas e doenças, pouco exigente em fertilidade do solo e devido à sua agressividade, inibe o crescimento de plantas invasoras, além de possuir efeito alopático sobre outras espécies (Figura 4). É uma planta de crescimento rasteiro e vigoroso, de ciclo anual ou bianual e de ampla adaptação, recomendada, sobretudo, para a adubação verde.

Segundo Formentini (2008), a espécie produz entre 40 e 50 toneladas de massa verde, 6 a 9 toneladas de massa seca e fixa entre 180 e 350 kg de N por ha/ciclo. Lopes et al., (2005), descrevem a eficiência da mucuna preta na diminuição da população de nematoides das galhas e produz até 10 t ha⁻¹ de massa seca e alta capacidade de fixar nitrogênio atmosférico e é uma planta muito utilizada como adubo verde (Mascarenhas et al., 1994). O ciclo, do plantio até a colheita das vagens, pode chegar a 240 dias, mas para fins de adubação verde, recomenda-se o corte na época de florescimento, por volta de 120 dias (Bulisani e Braga, 1987).



Figura 4. Planta de cobertura: Mucuna-preta.

Foto: Welmiton Fábio Ribeiro.

Fonte: Carvalho e Amabile (2006).

3.3 A cultura do milho em Sistema Plantio Direto

O sistema de plantio direto, com diferentes culturas busca eleger práticas que promovam uma melhoria na qualidade do solo, aumento na produtividade das culturas e diminuição do impacto ambiental, dentre essas, a cultura do milho (Santos et al., 2008).

A busca por uma agricultura sustentável tem sido intensificada através de práticas conservacionistas, como: eliminação ou redução do revolvimento do solo e dessa forma melhorar suas propriedades; usar plantas de cobertura e assim estimular a atividade de organismos do solo e aumentar os estoques de carbono orgânico no solo. Assim, os sistemas de produção integrados, baseados no plantio direto, na rotação de culturas, uso de plantas de cobertura, integração lavoura-pecuária, podem representar importantes estratégias conservacionistas.

Segundo Casão Junior et al. (2008), a partir da década de 70 a adoção do sistema plantio direto se constituiu em uma das medidas conservacionistas mais promissoras na implantação de lavouras. Até o final da década de 90, esse sistema era utilizado em 13 milhões de ha (1998/1999) e atualmente ultrapassa os 32 milhões (2011/2012), correspondendo a 55% da área total plantada atualmente com culturas anuais (excepcionalmente grãos) no Brasil (FEBRAPDP, 2012)

O SPD altera as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Perez et al, 2004; Mathew et al., 2012; Blanco-Canqui et al., 2018). A fertilidade do solo também é alterada por meio da correção de acidez, mineralização da matéria orgânica e suprimento de nitrogênio, acumulação e suprimento de fósforo e potássio (Casão Junior et al., 2008).

Segundo Carvalho et al. (2010), a manutenção de resíduos vegetais na superfície, a rotação de culturas e o mínimo revolvimento do solo, princípios básicos da implantação do SPD, além de reduzirem a emissão de CO₂ para a atmosfera, podem promover aumento do estoque de C e N no solo. Além disso, o SPD traz outros benefícios, como o aumento da diversidade microbiana do solo (Carvalho et al., 2010).

A estimativa de área do milho primeira safra, na temporada 2019/20, foi de 4,22 milhões de hectares, 2,9% maior que a área cultivada na safra 2018/19 e com a proximidade do fim da colheita, a produção se confirma em 25,3 milhões de toneladas, 1,5% inferior à safra passada. Em Goiás, a produção do milho primeira safra atingiu 2.218,4 mil toneladas, representando incremento de 10,7% em relação à safra anterior. As boas perspectivas para a produtividade foram confirmadas, atingindo 7.980 kg ha⁻¹, incremento de 5,6% em relação ao observado no ano anterior (CONAB, 2020).

O cultivo de milho em sucessão a leguminosas contribui com maiores quantidades de nitrogênio à cultura, além de melhorar o aproveitamento do N proveniente do fertilizante nitrogenado pela planta e maior produtividade de grãos, seja por meio da fixação biológica ou pela ciclagem do N absorvido das camadas subsuperficiais com a incorporação de biomassa (Silva et al., 2006), o que resulta em economia de fertilizantes nitrogenados.

Todavia, as quantidades de nutrientes liberados pelas gramíneas podem ser iguais ou superiores às acrescentadas pelas leguminosas, dependendo da produção de fitomassa e das concentrações de nitrogênio, lignina, celulose e hemicelulose na parte aérea (Kliemann et al., 2006; Carvalho et al., 2011; Carvalho et al., 2012).

A utilização de resíduos vegetais como cobertura do solo é uma alternativa para aumentar a sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola, podendo restituir quantidades consideráveis de nutrientes aos cultivos, uma vez que essas plantas absorvem nutrientes das camadas subsuperficiais do solo e os liberam, posteriormente, na camada superficial pela decomposição dos resíduos (Duda et al., 2003). Desta maneira, a utilização de diferentes espécies vegetais como forrageiras consorciadas com culturas graníferas podem proporcionar cobertura com lenta decomposição sob o solo (Pariz et al., 2011).

3.4 Mudanças climáticas globais e gases de efeito estufa na agricultura

A Organização das Nações Unidas (ONU) prevê que a população mundial irá ultrapassar os 9 bilhões de pessoas até 2050, o que impõe o desafio de aumentar a produção agrícola de maneira sustentável (United Nations, 2015).

A agricultura tem um papel significativo nas variações das concentrações dos gases de efeito estufa (GEEs), sobretudo o óxido nitroso (N_2O) (Beuchle et al., 2015).

O aquecimento global e o aumento na concentração de GEE na atmosfera tem sido um tema recorrente em pesquisas. Em maio de 2013, a concentração de CO_2 na atmosfera ultrapassou a marca de 400 ppm. Apesar da menor proporção de N_2O em relação à concentração de CO_2 na atmosfera, ações de mitigação devem priorizar suas emissões (Martins et al., 2015) em função do seu potencial de aquecimento global ser 310 vezes maior que o CO_2 , num

horizonte de tempo de 100 anos (IPCC, 2013), apresentando assim grande resiliência na atmosfera. A agricultura é responsável por grande parte dessas emissões. Nesse sentido novos modelos de desenvolvimento ambientalmente sustentável, socialmente justo, culturalmente aceitável e politicamente correto são propostos (Rodrigues Filho e Santos, 2011).

A partir da Revolução Industrial, as concentrações de gases foram se acumulando na atmosfera, em decorrência de ação antrópica e pelos significativos avanços tecnológicos. Dentre os gases que se destacam ao longo do tempo, citam-se: vapor d'água (H_2O), o dióxido de carbono ou gás carbônico (CO_2), o óxido nitroso (N_2O), o metano (CH_4) e o ozônio (O_3).

Os gases de efeito estufa (GEEs), correspondem aos gases de origem natural ou antrópicos, na primeira instância e são aqueles que respondem à energia solar incidente sobre a Terra. Quando se acumulam, aquecem o planeta, refletem e irradiam os gases acumulados, que absorvem e emitem radiação infravermelha, conferindo assim, uma superfície aquecida, dentro da média global do planeta, denominada efeito estufa natural (em torno de $15\text{ }^\circ\text{C}$). Esse efeito estufa natural garante a sobrevivência de espécies e da humanidade na terra, sendo importante para o balanço energético do planeta (Gardi et al., 2014; Smith, 2010, Carvalho et al., 2010, Machado, 2005).

No Brasil, a principal parcela de emissões de gases do efeito estufa refere-se ao CO_2 , visto que decorre da mudança do uso da terra pela exploração da atividade agropecuária e representa 75,4% das emissões totais. Este setor ainda está respondendo por parcelas significativas dos gases de efeito estufa, como metano e óxido nitroso (Cardoso et al., 2001).

A atividade agropecuária está inserida nesse debate, em decorrência do uso de fertilizantes nitrogenados, uma das fontes de N_2O , além das práticas de preparo agrícola que aceleram o processo de oxidação da matéria orgânica e contribui para o aumento das emissões de N_2O (Santos et al., 2016; Campanha et al., 2019).

O nitrogênio (N) consiste em um elemento nutricional essencial e é um dos nutrientes mais exigidos pelas culturas, além de possuir um custo de produção considerável (Embrapa, 2012). Na cultura do milho, cerca de apenas 50% do N que é aplicado na forma de fertilizante é recuperado pela planta, o que representa uma perda grande de N inorgânico no sistema (Dourado-Neto et al., 2010; Fernandes e Libardi, 2012). Esse N pode sofrer lixiviação na forma

de nitrato, volatilização como amônia, e ainda, desnitrificação, principalmente na forma de N_2O (Urquiaga et al., 2010; Urquiaga e Zapata, 2000).

O N encontrado na biosfera está na forma de compostos orgânicos sintetizados por plantas e microrganismos. Para absorção pelas plantas, ele é transformado na forma inorgânica pelo processo de mineralização. O N disponível nos solos depende da relação C/N dos resíduos, alta relação representa imobilização no solo, quando relação C/N do material em decomposição estiver entre 10 e 20, acontece o equilíbrio, e valores inferiores a esse ocorre o processo de mineralização (Adámoli, 1986).

Adições de resíduos ao solo, tais como restos de culturas, adubos verdes no solo afetam o processo de imobilização dependendo da relação C/N e lignina/N, conforme mostrado no ciclo do nitrogênio (Figura 5).

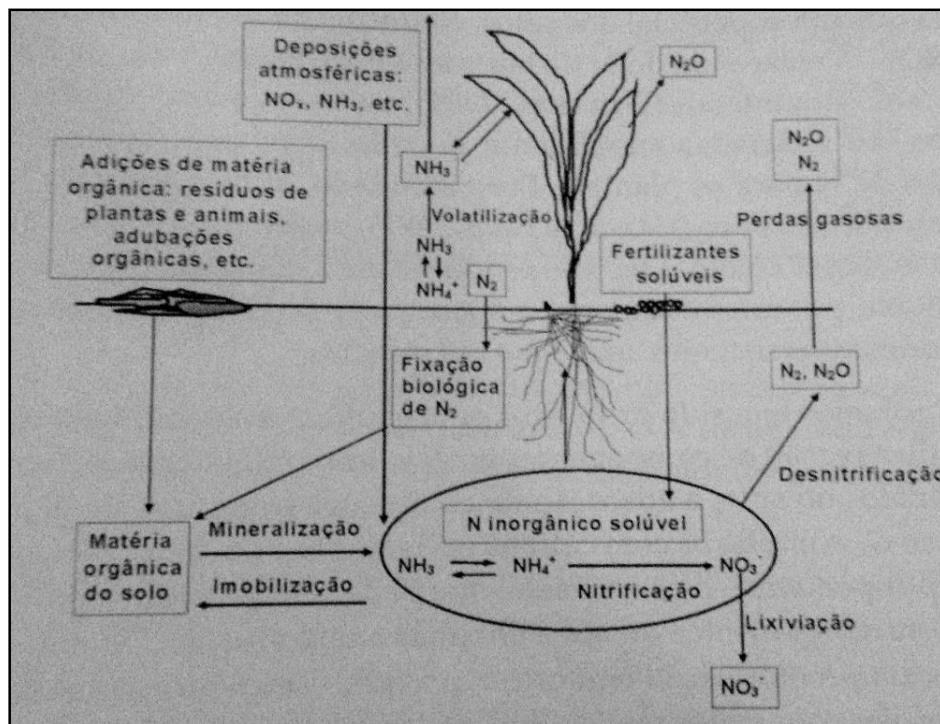


Figura 5. Ciclo do nitrogênio resumido.
Fonte: Cantarella (2007).

No solo, aproximadamente 98% do N está na forma orgânica e uma pequena parcela desse N é mineralizado a nitrato e amônio e absorvido pela planta (Keeney, 1982; Schulten e Schnitzer, 1998).

A presença de compostos nitrogenados, como os açúcares aminados e os aminoácidos de baixo peso molecular (fração de N disponível do solo) podem representar uma importante fonte de N para as culturas (Curtin e McCallun, 2004).

Os solos podem se distinguir pela quantidade de N mineralizado e forma produzida (NH_4^+ e NO_3^-), além de sua distribuição sazonal e espacial (Sprenst, 1987).

O N pode estar presente em formas orgânicas (N-orgânico) e/ou inorgânicas (N-inorgânico) nos resíduos passíveis de uso agrícola, sendo esse aspecto de suma importância quando se considera a dinâmica do elemento no solo, bem como sua eficiência na fertilização de plantas (Brady e Weil, 2002).

Resíduos contendo predominantemente N-orgânico devem ser mineralizados para aproveitamento pelas plantas. O processo de mineralização envolve a transformação de N-orgânico para N-inorgânico e isso é feito por uma gama de microrganismos quimiorgaotróficos presentes no solo (Victória et al., 1992). Nesse tipo de metabolismo, os compostos orgânicos servem como fonte de carbono e energia para os microrganismos (Neves, 1992). Especificamente, no caso dos compostos nitrogenados, estes são metabolizados e há transformação do N-orgânico em N-amoniaco, processo conhecido como amonificação (Brady e Weil, 2002).

O manejo agrícola altera os estoques e as taxas de ciclagem de N no solo, o que pode alterar as perdas desse elemento para a atmosfera, especialmente na forma de N_2O . Para que estas perdas possam ser reduzidas, é importante o conhecimento dos processos e fatores ambientais que regulam as emissões provenientes dos diferentes sistemas de produção agrícola. Segundo Signor e Cerri (2013), em solos agrícolas, a desnitrificação e a nitrificação são os principais processos microbianos responsáveis pela produção de N_2O , embora esse gás não seja o principal produto final desses processos. A nitrificação, que requer condições aeróbicas e está diretamente relacionada ao suprimento de amônio, é mediada principalmente por bactérias

autotróficas. Já a desnitrificação é realizada por bactérias heterotróficas anaeróbicas facultativas que dependem da disponibilidade de carbono orgânico e nitrato (Firestone e Davidson, 1989).

Em geral, sob condições aeróbicas ou semi-aeróbicas, N_2O é produzido durante a nitrificação, enquanto que sob condições anaeróbicas este é produzido por desnitrificação (Signor e Cerri, 2013). Ambos os processos podem ocorrer simultaneamente no solo, pois no interior dos agregados podem desenvolver-se micro-sítios de aerobiose e anaerobiose (Giacomini et al., 2006), devido aos processos de umedecimento e secagem do solo.

Apesar da produção de N_2O por nitrificação ser possível, os picos de emissão de N_2O nos solos geralmente são atribuídos ao processo de desnitrificação, inclusive quando a fonte de N são excretas de animais (Van Groenigen et al., 2005; Giacomini et al., 2006; Lessa et al., 2014; Bell, et al., 2015). Segundo Figueiredo et al. (2018), após a fertilização nitrogenada associada com a irrigação os mais altos picos de N-NO e N- N_2O são obtidos após a fertilização nitrogenada associada com a irrigação, as quais resultam em um aumento da disponibilidade de N.

No Brasil, as emissões de N_2O são resultantes especialmente dos solos, por meio da mudança de uso e manejo, representando cerca de 94% do total das emissões deste gás (MCTI, 2014). O elevado percentual de crescimento populacional acarretou no acréscimo da produtividade agrícola para atender a demanda por alimentos (Oliveira, 2015). A aplicação de fontes nitrogenadas minerais aumentou notavelmente (IBGE, 2012), promovendo o aumento da produtividade na agricultura.

Abdalla et al. (2014) compararam o cultivo reduzido associado ao uso de plantas de cobertura com o sistema convencional e concluíram que a eficiência do sistema de cultivo mínimo na mitigação de gases de efeito estufa (GEEs) depende essencialmente do “sequestro” de carbono pela planta de cobertura no sistema. Esta capacidade de absorver o CO_2 da atmosfera deverá compensar as maiores emissões de N_2O que predominam nesses sistemas, resultando em um balanço favorável à mitigação de GEEs.

3.6 Variáveis Edafoclimáticas que influenciam na emissão de N₂O no solo

Os solos agrícolas por serem as principais fontes de emissão N₂O para a atmosfera, podem ser manejados e alterar os processos de nitrificação e desnitrificação e, conseqüentemente, interferirem nos fluxos de N-N₂O no solo (Signor e Cerri, 2013). Vários fatores influenciam as emissões de N₂O, e os de grande relevância são a umidade, a temperatura e a concentração de N mineral no solo (Cameron et al., 2013).

Uma vez que a formação de N₂O no solo é mediada pela ação de microrganismos e ocorre principalmente pelos processos de nitrificação e desnitrificação, todos os fatores que influenciam estes processos, tais como temperatura do ar e do solo, umidade, pH, textura, manejo do solo, rotação de culturas, N-mineral (Snyder et al., 2009), afetarão a formação e a emissão de N₂O.

A magnitude das perdas de N₂O está associada ao aumento de umidade no solo, provocando o acréscimo na quantidade de espaço poroso preenchido por água (EPSA) e conseqüente diminuição no O₂ disponível (Braga et al., 2011).

A umidade do solo determinada durante as coletas de N₂O é utilizada para determinar o EPSA, que possui alta correlação com a emissão de fluxos de N-N₂O. O EPSA associado à temperatura do solo explicam grande parte das emissões desse GEE (Signor e Cerri, 2013).

Outra co-variável importante é o N disponível nas formas de NO₃⁻ e NH₄⁺ (Carmo et al., 2005), como também, o pH do solo, a atividade microbiana, temperatura do solo, qualidade e quantidade de resíduos, que influencia a mineralização de N. Solos aerados com EPSA entre 35 e 60% promovem a formação de N₂O como um subproduto da nitrificação. EPSA acima de 60% favorece as reações de desnitrificação ocorrendo uma maior emissão deste gás, e a anaerobiose favorece perdas na forma de N₂ (Almeida et al., 2015).

Temperatura e umidade são importantes fatores para a nitrificação e desnitrificação, pois determinam a atividade dos microrganismos, influenciando a produção de N₂O e sua difusão para a atmosfera, explicando a existência de uma estreita relação entre a variação sazonal dos fluxos de N-N₂O com a temperatura do ar e do solo (Signor e Cerri, 2013).

Assim, busca-se plantas de cobertura que mesmo favorecendo emissões de N₂O em

função da dinâmica de liberação de N no solo acumulem ou “sequestrem” C, estabelecendo um balanço favorável, conseqüentemente, contribuindo para mitigação de GEEs.

3.7 Alterações de C e N no solo

No fracionamento físico, destaca-se a MOS particulada ($>53 \mu\text{m}$), que consiste em fragmentos de plantas, animais e fungos, sendo sensível às alterações do manejo do solo por ser uma fração lábil (Bayer et al., 2001), além de reserva de carbono orgânico em macro e micro agregados do solo (Silva et al., 2016). As frações químicas são compostas por frações lábeis, como o carbono lábil, que também é sensível ao manejo do solo e as frações húmicas que são mais recalcitrantes e predominam em áreas nativas (Nascimento et al., 2017). Os resíduos vegetais adicionados ao solo podem alterar suas frações húmicas, e a fração insolúvel húmica é menos afetada pelo manejo (Hayes et al., 2017).

As frações químicas e físicas da MOS podem ser alteradas pela qualidade e quantidade de resíduos vegetais (Soares et al., 2019) e pelos sistemas de manejo (Nascimento et al., 2017). A disposição temporal e o uso de plantas de cobertura com elevada produção de fitomassa podem interferir positivamente sobre os estoques de C e N e nas frações da MOS (Bayer et al., 2001; Soares et al., 2019), incluindo a fração particulada (Santos et al., 2014).

Os resíduos vegetais liberam carbono (C), nitrogênio (N) e outros nutrientes no solo durante o processo de decomposição, dos quais uma parte retorna à atmosfera (Sato et al., 2019) e outra é imobilizada pelos microrganismos decompositores (Paz-Ferreiro & Fu, 2013). A fração lábil permanece na forma prontamente disponível para as plantas (Santos et al., 2014), o nitrato (NO_3^-) é perdido por lixiviação (Meisinger & Ricigliano, 2017) e a fração que permanece no solo na forma de reservas de C e N para as plantas (Santos et al., 2014).

No que se refere ao N, a entrada no sistema ocorre por meio da adubação e fixação biológica, enquanto as perdas estão relacionadas a fenômenos de erosão, lixiviação, desnitrificação e remoção pelas colheitas, sendo primordial um balanço positivo de N no sistema para que haja acúmulo desse nutriente e, por conseguinte, de MOS (Sisti et al., 2004; Diekow et al., 2005).

Fertilizantes nitrogenados adicionados nos sistemas de cultivo são rapidamente transformados pelos organismos do solo em nitrato (NO_3^-). Este elemento possui dinâmica muito intensa no solo, sendo facilmente lixiviado pelo perfil do solo, desnitrificado para a forma gasosa (óxido nitroso) e quando transformado em amônia, volatilizada do solo.

Assim sendo, a adoção de práticas de manejo como, por exemplo, os sistemas de integração (evita o desmatamento, a degradação de pastagens e viabiliza o desenvolvimento sustentável) e o plantio direto (aumenta a matéria orgânica do solo e reduz o trânsito de máquinas) que aumentam o influxo de carbono no solo, possibilitam a redução de emissões, principalmente quando associada à rotação de culturas (plantio de leguminosas para que ocorra a fixação biológica de nitrogênio no solo) com alto aporte de resíduos vegetais, e facilitam a atuação de mecanismos de estabilização do carbono adicionado, na forma de matéria orgânica do solo (MOS) o que contribui para a mitigação do efeito estufa (Macedo, 2009).

3.8 Referências Bibliográficas

ABDALLA, M.; HASTINGS, A.; HELMYC, M.; PRESCHER, A.; OSBORNE, B.; LANIGANE, G.; FORRISTAL, D.; KILLI, D.; MARATHA, P.; WILLIAMS, M.; RUEANGRITSARAKUL, K.; SMITH, P.; NOLAN, P.; JONES M.B. Assessing the combined use of reduced tillage and cover crops for mitigating greenhouse gas emissions from arable ecosystem. **Geoderma**, 2014.

ADÂMOLI, J.; MACEDO, J.; AZEVEDO, L. G. & MADEIRA NETO, J. Caracterização da região dos Cerrados. In: GOEDERT, W.J. **Solos dos Cerrados: Tecnologias e estratégias de manejo**. Planaltina/São Paulo, Embrapa-CPAC/Nobel, p.33-74, 1986.

AITA, C.; GIACOMONI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n. 4, p.601-612, 2003.

ALCÂNTARA, F. A.; FURTINI NETO, A. E.; PAULA, M. B.; MESQUITA, H. A.; MUNIZ, J. A. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo vermelho-escuro degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, p.277-288, 2000.

ALMEIDA, K.; CAMARA, F. L. A. Produtividade de biomassa e acúmulo de nutrientes em adubos verdes de verão, em cultivos solteiros e consorciados. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.6, p.55-62, 2011.

ALMEIDA, R. F. de; NAVES, E. R.; SILVEIRA, C. H.; WENDLING, B. Emissão de óxido nitroso em solos com diferentes usos e manejos: uma revisão. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**. Maringá (PR), v.8, p.441-461, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.17765/2176-9168.2015v8n2p441-461>

ALVARENGA, R. C.; COSTA, L. M. DA; MOURA FILHO, W.; REGAZZI, A. J. Características de alguns adubos verdes de interesse para a conservação e recuperação de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30, n.2, p.175-185, fev. 1995.

ALVARENGA, R. C.; CABEZAS, W. A. L.; CRUZ, J. C.; SANTANA, D. P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, v.22, p.25-36, 2001.

AMABILE, R. F.; FANCELLI, A. L.; CARVALHO, A. M. Comportamento de espécies de adubos verdes em diferentes épocas de semeadura e espaçamento na região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.1, p.47-54, 2000.

ARAUJO, J. B. S.; RODRIGUES, M. C.; RODRIGUES, L. B.; SANTOS, R. H. S.; MARTINEZ, H. E. P. Nitrogen fertilization of coffee: organic compost and *Crotalaria juncea* L. **Revista Ceres**, v.60, n.6, p.842-851, 2013.

BAGGS, E. M., PHILIPPOT, L. Microbial terrestrial pathways to nitrous oxide. In: **Nitrous Oxide and Climate Change**, Smith, K (Ed.). Earthscan, London, p.4-35, 2010.

BELL, M. J.; RESS, R. M.; CLOY, J. M.; TOPP, C. F. R.; BAGNALL, A.; CHADWICK, D. R. Nitrous oxide emissions from cattle excreta applied to a Scottish grassland: Effects of soil and climatic conditions and a nitrification inhibitor. **Science of the Total Environment**, v.508, p.343-353, 2015.

BERTOLIN, D. C.; SÁ, M. E.; BUZETTI, S. Doses de fósforo, potássio e espaçamentos entre linhas na produção de sementes e fitomassa de guandu em semeadura tardia. **Scientia Agraria**, v.9, p.261-268, 2008.

BEUCHLE, R.; GRECCHI, R. C.; SHIMABUKURO, Y. E.; SELLINGER, R.; EVA, H. D.; SANO, E.; ACHARD, F. Land cover changes in the Brazilian Cerrado and Caatinga biomes from 1990 to 2010 based on a systematic remote sensing sampling approach. **Applied Geophysics**, v.58, p.116-127, 2015.

BLANCO-CANQUI, H.; RUIS, S. J. No-tillage and soil physical environment. **Geoderma**, v.326, p.164-200, 2018.

BORGHI, É.; CRUSCIOL, C. A. C; COSTA, C. Desenvolvimento da cultura do milho em consorciação com *Brachiaria brizantha* em sistema plantio direto. **Energia na Agricultura**. v.21, p.19-33, 2006.

BRADY, N.; WEIL, R. R. **The nature and properties of soils**. 13th ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2002. 960 p.

BRAGA, D. M.; COSTA, M. K. L.; PONTES, T. L.; ALVES, B. J. R.; SHIGAKI, F. Volatilização de amônia e emissão de óxido nitroso em função da adubação com ureia e vinhoto

em cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33. 2011, Uberlândia. Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas: **anais**. Uberlândia: SBCS: UFU, ICIAG, 2011.

BRASIL. (2020). Decreto nº 7.390, de 9 de dezembro de 2010. Disponível em:< http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7390.htm>. Acesso em 26 dez 2020.

BRESSAN, C. R.; KUNZ, A.; SCHMIDELL, W.; SOARES, H. M. Toxicity of the colistin sulfate antibiotic used in animal farming to mixed cultures of nitrifying organisms. **Water Air Soil Poll**, 224p. 2013.

BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; VEIGA, M. Teor de carbono orgânico e a susceptibilidade à compactação de um Nitossolo e Argissolo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.131-139, 2010.

BULISANI, E. A.; BRAGA, N. R. Mucuna-preta. In: INSTITUTO AGRONÔMICO (Campinas). **Instruções agrícolas para o Estado de São Paulo**. 4.ed. Campinas, 1987. p.154. (Boletim, 200).

BUSTAMANTE, M. M. C.; MARTINELLI, L. A.; SILVA, D. A.; CAMARGO, P. B.; KLINK, C. A.; DOMINGUES, T. F.; SANTOS, R.V. 15N natural abundance in woody plants and soils of central Brazilian Savannas (Cerrado). **Ecological Applications**, v.14, p.200-213, 2004.

BUSTAMANTE, M. M. C; NARDOTO, G. B; PINTO, A. S; RESENDE, J. C. F, TAKAHASHI, F. S. C.; VIEIRA, L. C. G. Potential impacts of climate change on biogeochemical functioning of Cerrado ecosystems. *Brazilian J. Biology*, v.72, n.3 p.655-671, 2012.

CALEGARI, A. Espécies para cobertura do solo. In: DAROLT, M. R. **Plantio direto: pequena propriedade sustentável**. Londrina: IAPAR, 1998. p.65-94. (Circular 101).

CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULISANI, E. A.; WILDNER, L. P.; COSTA, M. B. B. da; ALCÂNTARA, P. B.; MIYASAKA, S.; AMADO, T. J. C. Nabo forrageiro. In: _____. **Adubação verde no sul do Brasil. Rio de Janeiro: Assessoria e Serviços a Projetos em Agricultura Alternativa**, 1992. p.203-204.

CALEGARI, A. Plantas para adubação verde de inverno no sudoeste do Paraná. **Boletim Técnico Instituto Agronômico do Paraná**, Londrina, n.35, p.1-36, 1990.

CALEGARI, A. Sustentabilidade sim. In: ENCONTRO DE PLANTIO DIRETO NO CERRADO, 5. 2001, Dourados. **Anais...** Dourados: UFMS/Embrapa Agropecuária Oeste, p.23-28, 2001.

CAMPANHA, M. M.; OLIVEIRA, A. D. de; MARRIEL, I. E.; GONTIJO NETO, M. M.; MALAQUIAS, J. V.; LANDAU, E. C.; ALBUQUERQUE FILHI, M. R. DE; RIBEIRO, F. P.; CARVALHO, A. M. Effect of soil tillage and N fertilization on N₂O mitigation in maize in the Brazilian Cerrado. **Science of the Total Environment**. v.692, p.1165–1174, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.315>

CANNIATTI-BRAZACA, S. G.; NOVAES, N. J.; SALGADO, J. M.; MARQUEZ, U. M. L.; MANCINI-FILHO, J. Avaliação nutricional do feijão guandu (*Cajanus cajan* (L) Mill). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, São Paulo, v.16, n.1, p.36-41, 1996.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, p.375-470, 2007

CARDOSO, A. N.; SAMINEZ, T. C.; VARGAS, M. A. Fluxo de Gases-traço de Efeito Estufa na Interface Solo/Atmosfera em Solos de Cerrado. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, Embrapa Cerrados, Planaltina, n.17, p.1 – 23, 2001.

CARMO, J. B.; ANDRADE, C. A.; CERRI, C. C.; PICCOLO, M. C. Disponibilidade de nitrogênio e fluxos de N-N₂O a partir de solo sob pastagem após aplicação de herbicida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.735-746, 2005.

CARNEIRO, M. A. C.; CORDEIRO, M. A. S.; ASSIS, P. C. R.; MORAES, E. S.; PEREIRA, H. S.; PAULINO, H. B.; SOUZA, E. D. produção de fitomassa de diferentes espécies de cobertura e suas alterações na atividade microbiana de solo de cerrado. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.2, p.455-462, 2008.

CARVALHO, A. M. de; AMABILE, R. F. (eds). **Cerrado: adubação verde**. Embrapa Cerrados, Brasília, Brasil. 369 p., 2006.

CARVALHO, A. M. de; BURLE, M. L.; PEREIRA, J.; SILVA, M. A. **Manejo de adubos verdes no cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 1999. 28p. (Embrapa Cerrados. Circular Técnica, 4).

CARVALHO, A. M. de; COELHO, M. C.; DANTAS, R. A.; FONSECA, O. P.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; FIGUEIREDO, C. C. Chemical composition of cover plants and its effect on maize yield in no-tillage systems in the Brazilian savanna. **Crop and Pasture Science**, v.63, p.1075-1081, 2012.

CARVALHO, A. M. de; COSER, T. R.; DANTAS, R. A. de; REIN, T. A.; SILVA, R. R.; SOUZA, K. W. Manejo de Plantas de Cobertura em Duas Épocas e Efeito no Rendimento do Milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** (1977. Impressa), v.50, p.01-11, 2015.

CARVALHO, A. M. de. **Uso das Plantas Condicionadoras com incorporação e sem incorporação no solo: composição química e decomposição dos resíduos vegetais, disponibilidade de fósforo e emissão de gases.** Tese de Doutorado, UnB. 2005.

CARVALHO, A. M.; SOUZA, L. L. P.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; ALVES, P. C. A. C.; VIVALDI, L. J. Cover plants with potential use for crop-livestock integrated systems in the Cerrado region. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1200-1205, 2011.

CARVALHO, J. L. N.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; MELLO, C. R.; CERRI, C. E. P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.34, p.277- 289, 2010.

CARVALHO JUNIOR, V. N. Deposição atmosférica e composição química da água de chuva. **Revolução Tecnológica**, v.25, p.61-71, 2004.

CASÃO JUNIOR, R., ARAUJO, A. G. DE, LHANILHO, R. F. **Sistema de Plantio Direto no Sul do Brasil:** Fatores que promoveram a evolução do sistema e desenvolvimento de máquinas agrícolas, Londrina (PR): IAPAR, 2008. 100 p.

CAVALCANTE, V. S.; SANTOS, V. R.; SANTOS NETO, A. L. dos; SANTOS, M. A. L. dos; SANTOS, C. G. dos; COSTA, L. C. Biomassa e extração de nutrientes por plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.5, p.521-528, 2012.

CESAR, M. N. Z.; RIBEIRO, R. L. D.; PAULA, P. D.; POLIDORO, J. C.; MANERA, T. C.; GUERRA, J. G. M. Desempenho do pimentão em cultivo orgânico, submetido ao desbaste e consórcio. **Horticultura Brasileira**, v.25, n.3, p.322-326, 2007.

CHAVES, J. C. D.; CALEGARI, A. Adubação verde e rotação de culturas. **Informe Agropecuário**, v.22, p.53-60, 2001.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileiro – grãos**: Oitavo levantamento, maio 2020 – safra 2019/2020. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. 2020. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>>. Acesso em: mai. 2020.

CORRÊA, J. C.; SHARMA, R. D. Produtividade do algodoeiro herbáceo em plantio direto no Cerrado com rotação de culturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v.39, n.1, p. 41-46, jan. 2004.

CRUSCIOL, C. A. C.; COTTICA, R. L.; LIMA, E. V.; ANDREOTTI, M.; MORO, E.; MARCONI, E. Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo forrageiro no plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v.40, n.2, p.161-168, fev. 2005.

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M., FERNANDES, J. C.; CAVASANO, F. A.; ULIAN, N. A.; PARIZ, C. M.; SANTOS, F. G. Acúmulo de nutrientes e decomposição da palhada de braquiárias em função do manejo de corte e produção do milho em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência Agronômica**, v.9, p.166-73, 2014.

CURTIN, D., MCCALLUM, F. M. Biological and chemical assays to estimate nitrogen supplying power of soils with contrasting management histories. **Australian Journal of Soil Research**, v.42, p.737–746, 2004.

DENARDIN, R. B. N.; PANZERA, C. M.; WILDNER, L. P.; TOFOLLO, K. A.; SCHNEIDER, A.; PELLE, M.; BERWANGER, A.L. Decomposição da fitomassa de nabo forrageiro (*Raphanus sativus* var. *oleiferus* L.) e liberação de nitrogênio. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Porto Alegre, v.1, n.1, p.1505-1508, nov. 2006.

DINIZ, E. R.; VARGAS, T. O.; PEREIRA, W. D.; GUEDES, A. F.; SANTOS, R. H. S.; PETERNELLI, L. A. Decomposição e mineralização do nitrogênio proveniente do adubo verde *Crotalaria juncea*. **Científica**, v.42, n.1, p.51-59, 2014.

DOBBS, L. B.; CANELLAS, L. P.; ALLEONI, L. R. F.; REZENDE, C. E. de; FONTES, M. P. F.; VELLOSO, A. C. X. Eletroquímica de Latossolos Brasileiros após a remoção da Matéria Orgânica Humificada Solúvel, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.3, p.985 – 996, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000300008>

DOURADO-NETO, D.; POWLSON, D.; ABU BAKAR, R.; BACCHI, O. O.S.; BASANTA, M. V.; CONG, P. T.; KEERTHISINGHE, G.; ISMAILI, M.; RAHMAN, S. M.; REICHARDT, K.; SAFWAT, M. S. A.; SANGAKKARA, R.; TIMM, L. C.; WANG, J. Y.; ZAGAL, E.; KESSEL, C. VAN. Multiseason recoveries of organic and inorganic nitrogen-15 in tropical cropping systems. **Soil Science Society of America Journal**, v.74, p.139-152, 2010.

DUARTE JUNIOR, J. B.; COELHO, F. C. Adubos verdes e seus efeitos no rendimento da cana-de-açúcar em sistema de plantio direto. **Bragantia**, v.67, n.3, p.723-732, 2008.

DUDA, G. P.; GUERRA, J. G. M.; MONTEIRO, M. T; DE-POLLI, H.; TEIXEIRA, M. G. Perennial herbaceous legumes as live soil mulches and their effects on C, N and P of the microbial biomass. **Scientia Agricola**, v.60, p.139-147, 2003.

ELFSTRAND, S.; BATH, B.; MARTENSSON, A. Influence of various forms of green manure amendment on soil microbial community composition, enzyme activity and nutrient levels in leek. *Applied. Soil. Ecology*, v.36, p.70–82, 2007.

EMBRAPA. **Práticas de Conservação de Solo e Água**, Circular Técnica 133, 2012. EMBRAPA Milho e Sorgo. **Sistema de Produção 1**. 8a. ed. Disponível em<www.embrapa.br>, Acesso em: ago. 2014.

ERNANI, P. R.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V. Influência da calagem no rendimento de matéria seca de plantas de cobertura e adubação verde, em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.897-904, 2001.

FEBRAPDP, 2012. Disponível em:<http://febrapdp.org.br/download/PD_Brasil_2013.I.pdf>. Acesso em: mar. 2016.

FEBRAPDP - **Federação Brasileira de Plantio Direto e Irrigação**. Disponível em:<<http://febrapdp.org.br/plantio-direto-o-que-e>>. Acesso em: jun.2015.

FIGUEIREDO, C. C. de; OLIVEIRA, A. D. de; SANTOS, I. L. DOS; FERREIRA, E. A. B.; MALAQUIAS, J. V.; SÁ, M. A. C. de; CARVALHO, A. M. de; SANTOS JÚNIOR, J. de D. G. dos. Relationships between soil organic matter pools and nitrous oxide emissions of agroecosystems in the Brazilian Cerrado. **Science of the Total Environment**. v.618, p.1572–1582, 2018. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.333>

FELFILI, J. M.; SILVA JUNIOR, M. C. **Diversidade alfa e beta no cerrado sensu strictu, Distrito Federal, Goiás, Minas Gerais e Bahia**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. p.141-154, 2005.

FERNANDES, F. C. S.; LIBARDI, P. L. Distribuição do nitrogênio do sulfato de amônio (¹⁵N) no sistema solo-planta, em uma sucessão de culturas, sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.36, p.885-893, 2012.

FINHOLDT, R. S.; ASSIS, A. M.; BISINOTTO, F. F.; AQUINO JÚNIOR, V. M.; SILVA, L. O. Avaliação da biomassa e cobertura do solo de adubos verdes. **FAZU em Revista**, Uberaba, n.6, p.11-14, 2009.

FIRESTONE, M. K.; DAVIDSON, E. A. Microbial basis of NO and N₂O production and consumption in soils. In: **Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere**, ANDREA, M. O.; SCHIMMEL, D. S., (Eds) New York: John Wiley and Sons, p. 7-21, 1989.

FOLONI, J. S. S.; LIMA, S. L.; BULL, L. T. Crescimento aéreo e radicular da soja e de plantas de cobertura em camadas compactadas de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, n.1, p.49-57, 2006.

FORMENTINI, E. A. **Cartilha sobre Adubação Verde e Compostagem**, INCAPER, Vitória, 2008. 27p.

FOSU, M., KUHNE, R. F.; VLEK, P. L. G. Improving maize yield in the Guinea Savannah Zone of Ghana with leguminous cover crops and PK fertilization. **Journal of Agronomy**, v.3, n.2, p.115-121, 2004.

GARDI, C.; ANGELINI, M.; BARCELÓ, S.; COMERMA, J.; CRUZ GAISTARDO, C.; ENCINA ROJAS, A.; JONES, A.; KRASILNIKOV, P.; MENDONÇA SANTOS. **Atlas de suelos de América Latina y el Caribe**, Comisión Europea - Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, L-2995 Luxembourg, 2014, 176p.

GIACOMONI, S. J.; AITA, C.; VENDRUSCOLO, E. R. O.; CUBILLA, M.; NICOLOSO, R. S.; FRIES, M. R. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.2, p.325-334, 2003.

GIACOMINI, S. J.; JANTALIA, C. P.; AITA, C.; URQUIAGA, S. S.; ALVES, B. J. R. Emissão de óxido nitroso com a aplicação de dejetos líquidos de suínos em solo sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.11, p.1653-1661. 2006.

GIONGO, V.; MENDES, A. M. S.; CUNHA, T. J. F.; GALVÃO, S. R. S. Decomposição e liberação de nutrientes de coquetéis vegetais para utilização no semiárido brasileiro. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.42, n.3, p.611- 618, 2011.

HERNANI, L. C.; ENDRES, V. C.; PITOL, C.; SALTON, J. C. **Adubos verdes de outono/inverno no Mato Grosso do Sul**. Dourados: Embrapa-CPAO, 1995. 93p.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. **A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja**: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 80 p. (Embrapa Soja. Documentos, 283).

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Indicadores de Desenvolvimento Sustentável**. Rio de Janeiro - RJ, Censo 2012.

IPCC. Climate Change 2013: **The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge university Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY USA, 2013, 1535p.

JESUS, R. P.; CORCIOLI, G.; DIDONET, A. D.; BORGES, J. D.; MOREIRA, J. A. A.; SILVA, N. F. Plantas de cobertura de solo e seus efeitos no desenvolvimento da cultura do arroz de terras altas em cultivo orgânico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.37, n.4, p.214-220, 2007.

KEENEY, D. R. Nitrogen management for maximum efficiency and minimum pollution. In: STEVENSON, F. J. (Ed.). **Nitrogen in agricultural soils**. Madison: Agronomy Monograph, ASA, CSSA, and SSSA, p.605-649, 1982.

KLIEMANN, H. J.; BRAZ, A. J. P. B.; SILVEIRA, P. M. DA. Taxas de Decomposição de Resíduos de Espécies de Cobertura em Latossolo Vermelho Distroférico, **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.36, p.21-28, 2006.

KLING, C. A., MACHADO, R. B. (2005). A conservação do cerrado brasileiro, In: **Megadiversidade**, v.1, n.1, 2015.

LANGE, A.; BOLOGNA, I. R.; FARONI, C. E.; TRIVELIN, P. C. O. Aproveitamento pelo trigo do nitrogênio residual da crotalária (*Crotalaria juncea*) e da uréia aplicado ao solo em cultivo precedente. **Ciência Rural**, v.39, n.6, p.1715-1720, 2009.

LAPOLA, D. M.; MARTINELLI, L. A.; PERES, C. A.; OMETTO, J. P. H. B.; FERREIRA, M. E.; NOBRE, C. A.; AGUIAR, A. P. D.; BUSTAMANTE, M. M. C.; CARDOSO, M. F.; COSTA, M. H.; JOLY, C. A.; LEITE, C. C.; MOUTINHO, P.; SAMPAIO, G.; STRASSBURG, B. B. N.; VIEIRA, I. C. G. Pervasive transition of the Brazilian land-use system. **Review article**. p.27-34, 2013.

LESSA, A. C. R.; MADARI, B. E.; PAREDES, D. S.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S.; JANTALIA, C. P.; ALVES, B. J. R. Bovine urine and dung deposited on Brazilian savannah pastures contribute differently to direct and indirect soil nitrous oxide emissions. **Agriculture Ecosystems and Environment**, v.190, p.104-111, 2014.

LOPES, E. A.; FERRAZ, S.; FREITAS, L. G.; FERREIRA, P. A.; AMORA, D. X. Efeito da incorporação da parte aérea seca de mucuna preta e de tomateiro ao solo sobre *Meloidogyne incognita* e *M. javanica*. **Nematologia Brasileira**, v.29, p.101-104, 2005.

MACEDO, M. C. M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas, **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.38, p.133-146, 2009.

MACHADO, P. L. O. de. Carbono do Solo e Mitigação da Mudança Climática Global. **Química**

Nova. v.28, n.2, 329-334. 2005.

MAIA, S. M.; XAVIER, F. A. da S.; OLIVEIRA, T. S. de; MENDONÇA, E. de S.; ARAÚJO FILHO J. A. Frações de Nitrogênio em Luvissole sob Sistemas Agroflorestais e Convencional no Semi-árido Cearense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n.1, p. 381 – 392, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000100036>

MAIOR JÚNIOR, S. G. S.; SOUTO, J. S.; SANTOS, R. V. dos; SOUTO, P. C. Produção de fitomassa do feijão guandu em diferentes arranjos populacionais. **Tecnologia e Ciência Agropecuária**, v.3, p.1-5, 2009.

MARTINS, R. M. G.; ROSA JUNIOR, E. J. Culturas antecessoras influenciando a cultura de milho e os atributos do solo no sistema de plantio direto. **Acta Science Agronomy**, Maringá, v.27, n.2, p.225-232, abr./jun. 2005.

MARTINS, M. R.; JANTALIA, C. P.; POLIDORO, J. C.; BATISTA, J. N.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. Nitrous oxide and ammonia emissions from N fertilization of maize crop under no-till in a Cerrado soil. **Soil e Tillage Research**, v.151, 75-81p. 2015.

MASCARENHAS, H. A. A; TANAKA, R. T.; COSTA, A. A.; ROSA, F. V.; COSTA, V. F. **Efeito residual das leguminosas sobre o rendimento físico e econômico da cana-planta**. Campinas, Instituto Agrônômico, 1994. 15p. (Boletim científico, 32).

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO - MCTI. **Sumário Executivo, 2014**. Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil. Brasília, Brasil, 164p., 2014.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **O Bioma Cerrado**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2016. Disponível em:<<http://www.mma.gov.br/biomas/cerrado>>. Acesso em: dez. 2016.

MOSIER, A.; WASSMANN, R.; VERCHOT, L.; KING, J.; PALM, C. Methane and nitrogen oxide fluxes in tropical agricultural soils: sources, sinks and mechanisms. **Environment, Development and Sustainability**, Dordrecht, v.6, n.1/2, p.11-49, 2004.

NASCENTE, A. S.; CRUSCIOL, C. A. C.; STONE, L. F. Straw Degradation and nitrogen release from cover crops under No-tillage. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.27, n.2, p.166-175, 2014.

NEVES, M. C. P. Como os microrganismos do solo obtém energia e nutrientes. In: CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P. (Ed.). **Microbiologia do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 1992. Cap.2, p.17-32.

OLIVEIRA, W. R. D. **Carbono e nitrogênio do solo e emissões de N₂O em sistemas integrados, pastagem de baixa produtividade e Cerrado**. Tese de Doutorado em Agronomia. Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília-UnB, Brasília - DF.102p. 2015.

PARIZ, C. M.; ANDREOTTI, M.; BUZETTI, S.; BERGAMASCHINE, A. F.; ULIAN NA, FURLAN, L. C.; MEIRELLES, P. R. L.; CAVASANO, F. A. Straw decomposition of nitrogen-fertilized grasses intercropped with irrigated maize in an integrated crop-livestock system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.2029-37, 2011.

PAVEI, M. A. **Decomposição de resíduos culturais e emissão de gases de efeito estufa em sistemas de manejo de solo em Ponta Grossa (PR)**. Piracicaba. Dissertação de mestrado, 2005.

PENTEADO S. R. **Adubos verdes e produção de biomassa: Melhoria e recuperação dos solos.** Campinas - SP, 2007.

PEREIRA, A. J.; GUERRA, J. G. M.; MOREIRA, V. F.; TEIXEIRA, M. G.; URQUIAGA, S.; POLIDORO, J. C.; ESPÍNDOLA, J. A. A. Desempenho agrônômico de *Crotalaria juncea* em diferentes arranjos populacionais e épocas do ano. **Seropédica: Embrapa Agrobiologia**, 2005. 4 p. (Embrapa Agrobiologia. Comunicado Técnico, 82).

PEREZ, K. S. S.; RAMOS, M. L. G.; MCMANUS, C. Carbono da biomassa microbiana em solo cultivado com soja sob diferentes sistemas de manejo nos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.6, p.567-573, 2004.

PETERSON, T. A.; VARVEL, G. E. Crop yield as affected by rotation and nitrogen rate – III: corn. **Agronomy Journal**, Madison, v.81, p.735-738, 1989.

PÖTTKER, D.; ROMAN, E. S. Efeito de resíduos de culturas e do pousio de inverno sobre a resposta do milho a nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.29, n.5, p.763-770, maio 1994.

REKHI, R. S.; BAJWA, M. S. Effect of green manure on the yield, N uptake and floodwater properties of a flooded rice, wheat rotation receiving 15N urea on a highly permeable soil. **Fertilizer Research**, The Hague, v.34, p.15-22, 1993.

RIBAS, R. G. T.; JUNQUEIRA, R. M.; OLIVEIRA, F. L.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L.; RIBEIRO, R. L. D. Desempenho do quiabeiro (*Albimoschus esculentus*) consorciado com *Crotalaria juncea* sob manejo orgânico. **Revista Agronomia**, v.37, n.2, p.80-84, 2003.

RIBEIRO JÚNIOR W. Q.; RAMOS, M. L. G. Fixação biológica de nitrogênio em espécies de adubação verde e cobertura de solo. In: Carvalho, A. M. de e Amábile, R. F. **Adubação Verde no Cerrado**. Planaltina/DF, p.169-207, 2006.

ROCHA, G. F., FERREIRA, L. G., FERREIRA, N. C., FERREIRA, M. E. Detecção e Desmatamentos no Bioma Cerrado entre 2002 e 2009: Padrões, Tendências e Impactos, **Revista Brasileira de Cartografia**, n.63, v.03, 2011.

ROCHETTE, P. No-till only increases N₂O emissions in poorly-aerated soils. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.101, n.1/2, p.97-100, 2008.

RODRIGUES FILHO, F. S. O.; GERIN, M. A. N.; FEITOSA, C. T.; IGUE, T.; SANTOS, R. R. Adubação verde e orgânica para o cultivo do amendoim (*Arachis hypogaea* L.). **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.53, n.1, p.88-93, 1996.

RODRIGUES FILHO, S. & SANTOS, A.S. **Um futuro incerto: mudanças climáticas e a vida no planeta**. Rio de Janeiro: Garamond, 112p.: il.; 21cm (Desafios do século XXI). p.9-37, 2011.

SÁ, R. O. **Variabilidade genética entre progênes de meios irmãos de nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L. var. *Oleiferus*) cultivar CATI AL 1000**. 2005. 47 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) – Universidade Estadual de São Paulo, Botucatu.

SALGADO, L. B.; BULISANI, E. A.; BRAGA, N. R.; MIRANDA, M. A. C. de. Crotalaria júncea. In: INSTITUTO AGRONÔMICO (Campinas). **Instruções agrícolas para o Estado de São Paulo**. 4.ed. Campinas, 1987. p.81-82. (Boletim, 200).

SANTOS, C. A. F.; MENEZES, E. A.; ARAUJO, F. P. **Introdução, coleta e caracterização de recursos genéticos de guandu para produção de grãos e forragem**. In: Manoel Abílio de

Queiroz; Clara Oliveira Goedert; Semíramis Rabelo Ramalho Ramos. (Org.). Recursos genéticos e melhoramento de plantas para o Nordeste. 1.0 ed. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 1999, v. online, p. -. Disponível em:<<http://www.cpatsa.embrapa.br/catalogo/livrorg/guandu.pdf>>. Acesso em: julho 2007.

SANTOS, H. P.; SPERA, S. T.; TOMM, G. O.; KOCHANN, R. A.; ÁVILA, A. Efeito de sistemas de manejo de solo, de rotação de culturas na fertilidade do solo, após vinte anos. **Bragantia**, v.67, p.441-54, 2008.

SANTOS, I. L. DOS; OLIVEIRA, A. D. de; FIGUEIREDO, C. C. de; MALAQUIAS, J. V.; SANTOS JÚNIOR, J. de D. G. dos; FERREIRA, E. A. B.; SÁ, M. A. C. de; CARVALHO, A. M. DE. Soil N₂O emissions from long-term agroecosystems: Interactive effects of rainfall seasonality and crop rotation in the Brazilian Cerrado. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v.233, p.111–120, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2016.08.027> 0167-8809

SANTOS, I. L.; OLIVEIRA, A. D.; FIGUEIREDO, C. C.; LIMA, A. S.; SILVA, F. R. C.; MENDONÇA, S. R. L. **Emissão de N₂O sob plantio direto com soja e milho no Cerrado**. Congreso Latinoamericano y XVI Congreso Peruano de la Ciencia del Suelo, XX. “EDUCAR para PRESERVAR el suelo y conservar la vida en La Tierra”. Cusco, Perú, 2014.

SCHULTEN, H. R.; SCHNITZER, M. The chemistry of soil organic nitrogen: a review. **Biology and Fertility of Soils**, v.40, n.26, p.1-15, 1998.

SCIVITTARO, W. B.; MURAOKA, T.; BOARETTO, A. E.; TRIVELIN, P. C. O. Transformações do nitrogênio proveniente de mucuna-preta e uréia utilizados como adubo na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.12, p.1427-1433, dez. 2003.

SEIFFERT, N. F.; THIAGO, L. R. L. S. **Legumineira cultura forrageira para produção de proteína**: guandu (*Cajanus cajan*). EMBRAPA-CNPQC, 52p. 1983. (Circular Técnica 13).

SHEEHY, J., REGINA, K., ALAKUKKU, L., SIX, J. Impact of no-till and reduced tillage on aggregation and aggregate-associated carbon in Northern European agroecosystems. **Soil Tillage Res.** v.150, p.107–113, 2015.

SIGNOR, D; CERRI, C. E. P. Nitrous oxide emissions in agricultural soils: a review. *E* -ISSN 1983-4063 - www.agro.ufg.br/pat - **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Goiânia, v.43, n.3, p.322-338, 2013.

SILVA, A. N.; FIGUEIREDO, C. C. de; CARVALHO, A. M. de; SOARES, D. S.; SANTOS, D. C. R.; SILVA, V. G. da. Effects of cover crops on the physical protection of organic matter and soil aggregation. **Australian Journal of Crop Science**, v.10, p.1623-1629, 2016.

SILVA, E. C; MURAOKA, T.; BUZETTI, S.; TRIVELIN, P. C. O. Manejo de nitrogênio no milho sob plantio direto com diferentes plantas de cobertura, em latossolo vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.477-486, 2006.

SILVA, E. C.; MURAOKA, T.; VILLANUEVA, F. C. A.; ESPINAL, F. S. C. Aproveitamento de nitrogênio pelo milho, em razão da adubação verde, nitrogenada e fosfatada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.2, p.118-127, 2009.

SILVA, L. R. DA; BELINI, C. M.; CAMELO, A. D.; GALDIANO J, R. F.; MOREIRA, W. M. Q. Eficiência da associação simbiótica de bradyrhizobium para o crescimento de crotalaria (*crotalaria juncea*). **Revista Fafibe On-Line**, Bebedouro SP, v,7, n.1, p.61-74, 2014.

SILVA, R. H.; ROSOLEM, C. A. Crescimento radicular de espécies utilizadas como cobertura decorrente da compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.253-260, 2011.

SISTI, C. J.; SANTOS, H. P.; KOHHANN, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil e Tillage Research**, v.76, p.39-58, 2004.

SMITH, K. **Nitrous oxide and Climate Change**. Washington, 224p, 2010.

SNYDER, C. S.; BRUULSEMA, T. W.; JENSEN, T. L.; FIXAN, P. E. Review of greenhouse gas emissions form cropping production systems and fertilizer management effects. **Agriculture Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.133, n.3/4, p.247-266, 2009.

SODRÉ FILHO, J.; CARDOSO, A. N.; CARMONA, R.; CARVALHO, A. M. de. Fitomassa e cobertura do solo de culturas de sucessão ao milho na Região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.327-334, 2004.

SUZUKI, L. E. A. S.; ALVES, M. C. Fitomassa de plantas de cobertura em diferentes sucessões de culturas e sistemas de cultivo. **Bragantia**, v.65, p.121-127, 2006.

TEJADA, M.; GONZALEZ, J. L.; GARCIA-MARTINEZ, A. M.; PARRADO, J. Effects of different green manures on soil biological properties and maize yield. **Bioresour. Technol.** v.99, p.1758–1767, 2008.

TOMM, G. O.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S. **Principais forrageiras para integração lavoura- pecuária, sob plantio direto, nas regiões Planalto e Missões do Rio Grande do Sul**. 2003. Disponível em: <<http://www.cnpt.embrapa.br/livros/forrageiras/index.htm>>. Acesso em: 10 ago. 2005.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; ANDRIOLI, I., POLIDORO, J. C., FABIAN, A. J. Decomposição e Liberação de Nitrogênio de Resíduos Culturais de Plantas de Cobertura em um Solo de Cerrado, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.609-618, 2005.

UNITED NATIONS - DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS - POPULATION DIVISION. **World Population Prospects: The 2015 Revision**. New York, USA: United Nations, 2015. v. ESA/P/WP.2.

URQUIAGA, B. J. R. A.; JANTALIA, C. P.; BODDEY, R. M. **Variações no Estoque de Carbono e Emissões de Gases de Efeito Estufa em Solos das Regiões Tropicais e Subtropicais do Brasil**: uma análise crítica. *Informações Agrônomicas* n.130. 2010.

URQUIAGA, S.; ZAPATA, F. Fertilización Nitrogenada em Sistemas de Producción Agrícola. In: URQUIAGA, S.; ZAPATA, F. **Manejo eficiente de la fertilización nitrogenada de cultivos anuales em América Latina y el Caribe**. Porto Alegre: Gênese; Rio de Janeiro: Embrapa Agrobiologia. p.77-88, 2000.

USSIRI, D.; LAL, R. **Soil Emission of Nitrous Oxide and its Mitigation**. Springer Dordrecht, Rotterdam, Netherlands. 2013. 378p.

Van GROENIGEN, J. W.; KUIKMAN, P. J.; GROOT, W. J. M.; VELTHOF, G. L. Nitrous oxide emission from urine-treated soil as influenced by urine composition and soil physical conditions. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.37, p.463-473, 2005.

VERAS, M. de S.; RAMOS, M. L. G.; FIGUEIREDO, C. C.; CARVALHO, A. M. de; SOUZA, K. W.; PULROLNIK, K. Cover Crops and Nitrogen Fertilization Effects on Nitrogen Soil Fractions under Corn Cultivation in a No-Tillage System. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** (Online), v.40, 2016. 12p. DOI:10.1590/18069657rbc20150092

VICTÓRIA, R. L.; PICCOLO, M. C.; VARGAS, A. A. T. O ciclo do nitrogênio. In: CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P. (Ed.). **Microbiologia do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, Cap.8, p.105-120, 1992.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; SÁ MENDONÇA, E.; ALMEIDA, R. F.; ALVARENGA, R. C. Simulação de estoques de carbono e nitrogênio pelo modelo century em Latossolos, no Cerrado brasileiro. **Revista Ciência Agronômica**, v.45, n.2, p.238-248, 2014.

WHIETHÖLTER, S. Nitrogênio no solo sob plantio direto. **Revista Plantio Direto**, p.38-42, 2000.

WHITE, C. M.; WEIL, R. R.; Forage radish and cereal rye cover crop effects on mycorrhizal fungus colonization of maize roots. **Plant Soil**, p.507–521, 2010.

WUTKE, E. B.; CALEGARI, A. WILDNER, L. P. **Espécies de adubos verdes e plantas de cobertura e recomendações para seu uso**. In: LIMA FILHO, O. F.; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. (Eds.) Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: Fundamentos e práticas. Brasília: Embrapa, p.61-167, 1014.

CAP. 1 – FLUXOS DE ÓXIDO NITROSO NO SOLO CULTIVADO COM MILHO, COM E SEM APLICAÇÕES DE NITROGÊNIO EM COBERTURA, EM SISTEMA PLANTIO DIRETO NO CERRADO

RESUMO

O objetivo do trabalho foi avaliar efeitos de plantas de cobertura e do fertilizante nitrogenado aplicado em cobertura no milho nos fluxos de óxido nitroso (N_2O) do solo em sistema plantio direto no Cerrado. O experimento foi realizado no delineamento em blocos casualizados com parcelas subdivididas e três repetições. Nas parcelas foram semeadas plantas de cobertura e as subparcelas foram representadas pela presença e ausência de N em cobertura no milho. As seguintes plantas de cobertura foram semeadas em sucessão ao milho: guandu 'BRS mandarim' [*Cajanus cajan* (L.) Millsp]; crotalária juncea (*Crotalaria juncea* L.); mucuna-preta (*Mucuna aterrima* Merr.) e nabo-forageiro (*Raphanus sativus* L.). A vegetação nativa de cerrado foi o tratamento referência desse estudo. As coletas foram realizadas durante a safra do milho de novembro de 2015 até março de 2016. As parcelas de milho com aplicações de N em cobertura resultaram nos maiores valores médios de fluxos de N- N_2O no solo no período avaliado ($35,5 \mu\text{g N-N}_2\text{O m}^{-2} \text{h}^{-1}$). Para as parcelas que não receberam aplicação de N em cobertura valor médio ficou em torno de $16,6 \mu\text{g N-N}_2\text{O m}^{-2} \text{h}^{-1}$). Com adubação nitrogenada, tanto a mucuna-preta ($118,49 \mu\text{g N-N}_2\text{O m}^{-2} \text{h}^{-1}$) quanto o nabo-forageiro ($108 \mu\text{g N-N}_2\text{O m}^{-2} \text{h}^{-1}$) resultaram em fluxos mais elevados de N_2O após a primeira adubação de cobertura na cultura do milho. Os maiores valores de fluxos de N- N_2O no solo verificados após a segunda adubação foram no milho cultivado em sucessão ao nabo-forageiro ($174,12 \mu\text{g N-N}_2\text{O m}^{-2} \text{h}^{-1}$) e crotalária juncea ($153,30 \mu\text{g N-N}_2\text{O m}^{-2} \text{h}^{-1}$). A produção de matéria seca (2161 kg ha^{-1}) e decomposição de resíduos vegetais podem explicar o maior acúmulo de N- N_2O ($0,78 \text{ kg ha}^{-1}$), a partir de fevereiro, no solo cultivado com milho em sucessão ao guandu com aplicação de N em cobertura. O guandu 'BRS mandarim' e a mucuna-preta são as plantas de cobertura com teores mais elevados de matéria seca (2161 e 2666 kg ha^{-1}) e lignina (85 e 71 g kg^{-1}), respectivamente, entre as plantas avaliadas, o que confere aos resíduos vegetais destas espécies uma elevada resistência à

decomposição. Assim, eventos de fertilização nitrogenada e as diferentes plantas de cobertura promoveram diferenças entre os fluxos de N-N₂O, no solo sob cultivo de milho, sugerindo que houve efeito dos resíduos vegetais dessas diferentes espécies nos fluxos de N-N₂O no solo com cultivo de milho, possivelmente devido à sua composição química diferente.

Palavras-chave: efeito estufa, agricultura, adubação.

FLOWS OF NITROUS OXIDE IN SOIL CULTIVATED WITH MAIZE, WITH AND WITHOUT APPLICATIONS OF NITROGEN IN COVERAGE, IN A DIRECT TILLING SYSTEM IN THE CERRADO

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the effects of cover crops and nitrogen fertilizer applied to cover corn in the nitrous oxide (N₂O) fluxes of the soil under no-tillage system in the Cerrado. The experiment was carried out in a randomized block design with subdivided plots and three replications. Coverage plants were sown in the plots and the subplots were represented by the presence and absence of N in cover in corn. The following cover crops species were planted after maize: pigeonpea 'BRS mandarin' [*Cajanus cajan* (L.) Millsp]; sunn hemp (*Crotalaria juncea* L.); oilseed radish (*Raphanus sativus* L.) and black mucuna (*Mucuna aterrima* Merr.). The native vegetation of the cerrado was the reference treatment of this study. The collections were carried out during the corn harvest from November 2015 until March 2016. The corn parcels with applications of N in cover resulted in the highest average values of N₂O flows in the soil in the evaluated period (35.5 µg N-N₂O m⁻² h⁻¹). For the plots that did not receive N application in coverage, the average value was around 16.6 µg N-N₂O m⁻² h⁻¹). With nitrogen fertilization, both black mucuna (118.49 µg N-N₂O m⁻² h⁻¹) and oilseed radish (108 µg N-N₂O m⁻² h⁻¹) resulted in higher N₂O flows after the first cover fertilization in the corn crop. The highest values of N₂O fluxes in the soil verified after the second fertilization were in corn grown in succession to oilseed radish (174.12 µg N-N₂O m⁻² h⁻¹) and sunn hemp (153.30 µg N-N₂O m⁻² h⁻¹). The production of dry matter (2161 kg ha⁻¹) and decomposition of plant residues may explain the greater accumulation of N-N₂O (0.78 kg ha⁻¹) from february on soil cultivated

with corn in succession to pigeonpea with application of N in coverage. The pigeonpea 'BRS mandarim' and the mucuna-preta are the cover plants with higher levels of dry matter (2161 and 2666 kg ha⁻¹) and lignin (85 and 71 g kg⁻¹), respectively, among the evaluated plants, the which gives plant residues of these species a high resistance to decomposition. Thus, nitrogen fertilization events, the cover crops promoted differences between the N-N₂O flows, in the soil under corn cultivation, suggesting that there was an effect of the plant residues of these different species on the N₂O flows in the soil with corn cultivation, possibly due to its different chemical composition.

Key words: greenhouse effect, agriculture, fertilization.

4 INTRODUÇÃO

Dentre os nutrientes minerais essenciais às plantas, o nitrogênio (N) é o mais caro, o que consome mais energia e, potencialmente, de maior efeito poluente, sendo geralmente o mais limitante à produção vegetal (Hungria et al., 2007). No entanto, no Brasil, o uso do nitrogênio é bem menor quando comparado a outros países, o que se deve, em parte, à utilização e busca por sistemas produtivos que se beneficiem da fixação biológica do nitrogênio (FBN).

Na cultura do milho, cerca de 30 a 60% do N que é aplicado na forma de fertilizante é recuperado pela planta, representando uma perda significativa de N inorgânico no sistema (Fernandes e Libardi, 2012). O N pode sofrer lixiviação na forma de nitrato, volatilização de amônia, e ainda, nitrificação e desnitrificação, principalmente na forma de N₂O (Urquiaga et al., 2010; Urquiaga e Zapata, 2000).

O milho (*Zea mays* L.) é uma cultura de relevância econômica, a estimativa nacional de plantio do milho, considerando a primeira, segunda e terceira safras, na temporada 2019/20, deverá apresentar área de 18,5 milhões de hectares, e produção de 102,3 milhões de toneladas (CONAB, 2020).

Há vários trabalhos mostrando que o cultivo de milho em sucessão a plantas de cobertura pode aumentar a produtividade da cultura e alterar a dinâmica de N no solo (Veras et al., 2016; Carvalho et al., 2015). A diversificação do uso de culturas no sistema plantio direto (SPD),

através da rotação e de sucessão de culturas, com diferentes composições químicas, é uma estratégia para o acúmulo de palhada na superfície do solo no Cerrado (Wutke et al., 2014; Carvalho et al., 2011; 2012; 2015).

As plantas de cobertura podem ser utilizadas como adubação verde e cobertura morta, no sistema plantio direto e seu uso tende a contribuir para melhoria da qualidade da matéria orgânica e dos indicadores microbiológicos do solo (Lopes et al., 2015; Mendes et al., 2019; Soares et al., 2019). Os microrganismos intensificam sua atividade no solo, tendo em vista a maior disponibilidade de resíduos vegetais em decomposição, possibilitando maior ciclagem de nutrientes e processos mais equilibrados de mineralização e imobilização em função da razão C/N dos resíduos vegetais e dos seus teores de lignina, celulose e hemicelulose (Carvalho et al., 2010, 2011, 2012, 2015; Ceretta et al., 2002), além da disponibilidade de N pelo uso de leguminosas, substituindo assim parcialmente o N-fertilizante pelo N-fixado simbioticamente, que resulta na liberação mais gradativa desse nutriente dependendo da composição química dos seus resíduos vegetais e reduzindo as emissões de N_2O (Amado et al., 2001; Carvalho et al., 2008, 2009, 2011, 2012, 2015).

Os óxidos de nitrogênio (NO_x , NO_2 e N_2O) são produtos das reações de nitrificação e desnitrificação de nitrogênio (N) no solo. O nitrato (NO_3^-) pode se acumular temporariamente no solo quando produzido além da demanda de microrganismos e plantas, potencializando as reações de desnitrificação (Matson et al., 1999). A umidade do solo, ou o seu grau de saturação, expresso pelo espaço de poros preenchido por água (EPSA) é fundamental nesse processo, tal como foi demonstrado por Campanha et al. (2019).

Nos solos, o óxido nitroso pode ser produzido durante o processo microbiano de desnitrificação, quando bactérias anaeróbicas facultativas utilizam o nitrato (NO_3^-) como aceptor final de elétrons em substituição ao oxigênio (O_2). Esse processo ocorre em condições de anoxia, sendo favorecido pela disponibilidade de carbono e pela presença de NO_3^- , proveniente da mineralização da matéria orgânica do solo e da aplicação de fertilizantes minerais e orgânicos (Almeida et al., 2015).

O N_2O é importante nos sistemas agrícolas, uma vez que 70% das emissões globais desse gás se origina da dinâmica de N do solo em sistemas de produção, incluindo-se o N proveniente

da mineralização da matéria orgânica do solo e o fixado química e biologicamente (Ussiri e Lal, 2013).

A concentração de N, assim como a composição bioquímica dos resíduos vegetais, são fatores determinantes para a mineralização ou imobilização do elemento no solo (Mary et al., 1996; Marquez et al., 2000; Glasener et al., 2002, Carvalho et al., 2008; 2011, 2012, 2015). O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de plantas de cobertura e da presença e ausência de fertilização nitrogenada em cobertura na cultura de milho sobre os fluxos de N-N₂O do solo.

4.2 Material e métodos

4.2.1 Localização e caracterização do experimento

O experimento está localizado na área da Embrapa Cerrados, em um sistema de sucessão com milho e plantas de cobertura cultivados nas mesmas parcelas desde 2005, (15° 35 '30 " S, 47° 42' 30" W), em Planaltina, DF (Figura 6).



Figura 6. Localização da área experimental das coletas de N₂O no solo em Sistema Plantio Direto Com uso de plantas de cobertura em sucessão.

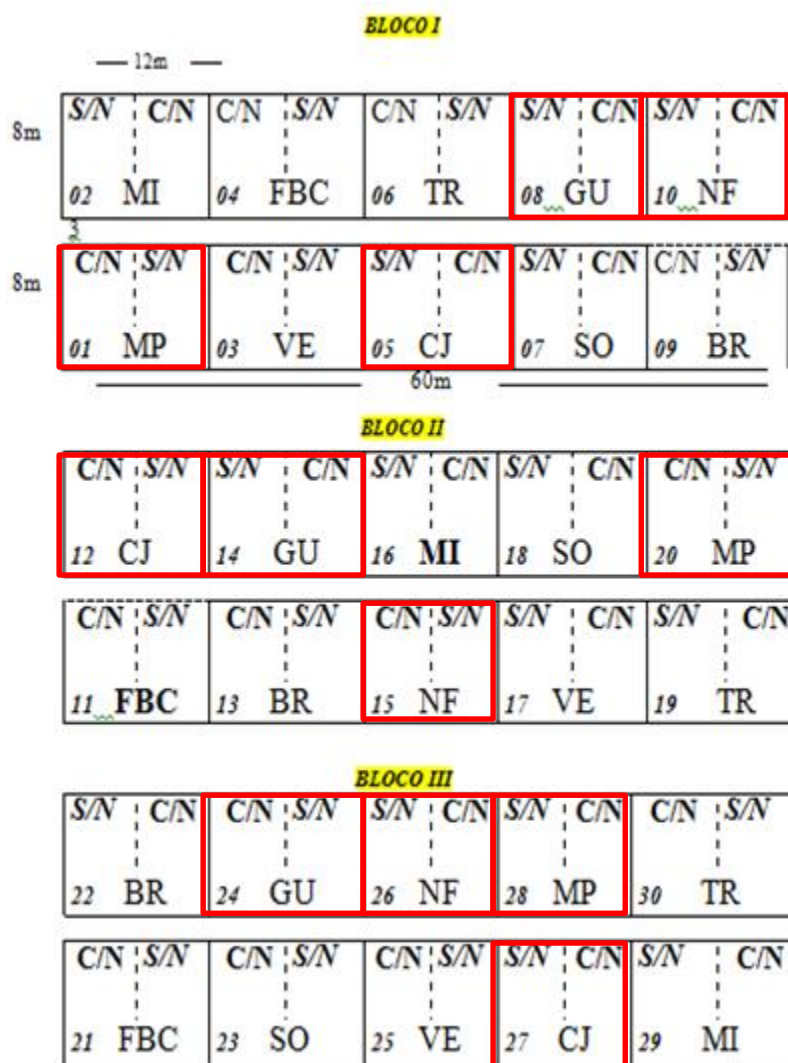
A região encontra-se no bioma Cerrado e o clima é classificado como o Aw (tropical chuvoso) segundo Köppen, com estações bem definidas, invernos secos, verões úmidos e períodos de seca com até 6 meses, que resulta em déficit hídrico no inverno. O verão é quente e úmido, com ocorrência de períodos de estiagem durante a estação chuvosa denominados de veranicos, que é uma característica marcante do clima local e do Cerrado (Adámoli et al., 1986).

O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho, sendo que suas características químicas (camada de 0 a 10 cm) coletadas ao final do ano agrícola 2010/2011, de acordo com Embrapa (1997), apresentou os seguintes resultados: pH (H₂O) 6,0; matéria orgânica= 21,7 g kg⁻¹; P_{Mehlich-1}=0,9 mg kg⁻¹; Al³⁺= 0,1 cmol_c kg⁻¹; Ca²⁺+Mg²⁺= 2,9 cmol_c kg⁻¹; K⁺=0,1 cmol_c kg⁻¹.

Considerando o seu histórico, antes da instalação desse experimento a área foi mantida com rotação soja/milho entre os anos de 1999 e 2004.

O delineamento experimental foi de blocos casualizados, com parcelas subdivididas e três repetições. Para este estudo foram selecionadas as plantas de cobertura guandu 'BRS mandarim' [*Cajanus cajan* (L.) Millsp]; crotalária- juncea (*Crotalaria juncea* L.); nabo-forrageiro (*Raphanus sativus* L.) e mucuna-preta (*Mucuna aterrima* Merr.)

Nas parcelas (8m x 12m) foram semeadas as plantas de cobertura e nas subparcelas (8 x 6 m) foi feita a aplicação de N em cobertura na cultura do milho, obtendo-se subparcelas com e sem a aplicação de fertilizante nitrogenado durante o ciclo do milho (Figura 7). As plantas de cobertura foram cultivadas em subsequência à cultura do milho que não foi irrigado e passou por irrigação de salvamento apenas quando estritamente necessário. O cerrado nativo foi utilizado como tratamento de referência.



GU – Sucessão anual milho / Guandu

CJ – Sucessão anual milho/ Crotalária-juncea

NF – Sucessão anual milho/ Nabo-forrageiro

MP – Sucessão anual milho/ Mucuna-preta

C/N – Com adubação de nitrogênio em cobertura

S/N – Sem adubação de nitrogênio em cobertura

Figura 7. Croqui de distribuição dos tratamentos no experimento.

Após a colheita do milho, as plantas de cobertura foram semeadas na área e a palhada do milho foi mantida na superfície do solo como premissa básica do sistema plantio direto. A semeadura das plantas de cobertura foi realizada diretamente sobre esses restos culturais do milho, sem aplicação de fertilizantes utilizando a fertilidade residual dessa cultura. O espaçamento entre linhas de semeadura das plantas de cobertura foi de 0,5 m para todas as espécies vegetais semeadas em sistema plantio direto (Tabela 1).

Tabela 1. Período de emergência/floração, espaçamento e densidade de semeadura recomendados e razão C:N do material verde e dos resíduos vegetais das plantas de cobertura.

Planta de cobertura	Espaçamento recomendado cm	Estande Sementes viáveis m ⁻¹	Floração Dias	Razão C:N	
				Material verde	Resíduo
Mucuna-preta	40 a 50	7 a 10	112	32	20
Nabo-forrageiro	20 a 30	40 a 50	45	26	27
Guandu cv kaki	40 a 60	15 a 30	91	34	26
Crotalária-juncea	25 a 50	15 a 20	72	21	28

Fonte: Carvalho e Amabile (2006); Ambrosano et al. (2014).

O milho híbrido 30F53VYHR foi semeado com espaçamento de 0,75 m entre linhas, em novembro de 2015 também em sistema plantio direto, após o corte das plantas de cobertura na floração e dessecação das mesmas com aplicação de herbicida. Na semeadura do milho foi realizada adubação de manutenção no sulco de plantio, utilizando 500 kg ha⁻¹ da fórmula NPK 4–30–16 acrescida de 2 kg ha⁻¹ de Zn (ZnSO₄.7H₂O) e 10 kg ha⁻¹ de FTE BR 12 como fonte de micronutrientes com a seguinte composição química: Enxofre (S): 3,2%; Boro (B): 1,8%; Cobre (Cu): 0,8%; Manganês (Mn): 2,0%; Molibdênio (Mo): 0,1%; Zinco (Zn): 9,0%; Cálcio (Ca):

1,8%. Foram realizadas duas fertilizações em cobertura com 65 kg ha^{-1} de N em cada uma delas, tendo como fonte a ureia, aplicada quando as plantas emitiram o quarto e oitavo par de folhas, respectivamente, totalizando 130 kg ha^{-1} de N adicionados nas subparcelas com N aplicado em cobertura, totalizando 150 kg ha^{-1} de N nas parcelas com aplicação de N e 20 kg ha^{-1} de N nas parcelas que não receberam o N em cobertura. .

Na maturação, em março de 2011, quatro linhas de 4 m de comprimento foram colhidas em cada subparcela, para quantificação da produtividade de grãos de milho e após houve correção da umidade dos grãos para 13% para cálculo do rendimento dessa cultura. O milho foi colhido no dia 28 de março de 2016 e em 07 de abril de 2016 coletou-se resíduos culturais com dois gabaritos por parcela e de área conhecida ($0,38\text{m} \times 0,58\text{m}$) para determinar a quantidade da palhada. A palha coletada foi colocada em estufa e retirada dia 13 de abril de 2016 para obtenção do peso seco. Na vegetação nativa do cerrado foram coletadas amostras de serrapilheira.

4.2.2 Amostragem e análises dos fluxos de N-N₂O no solo

As coletas de gás (N₂O) ocorreram no período de 20 de novembro de 2015 a 04 de abril de 2016. Foram realizadas 33 coletas de gás (N₂O) e 23 de solo para análise de N-mineral (nitrato e amônio).

Foram instaladas duas câmaras estáticas por tratamento, totalizando 24 câmaras instaladas no solo, além de 3 câmaras no cerrado nativo em área adjacente a área experimental.

As câmaras estáticas fechadas eram compostas de uma base de metal retangular de dimensão 38 x 68 cm (Mosier et al., 2006). As coletas foram feitas após eventos de chuva e após a semeadura do milho e as duas aplicações de fertilizantes em cobertura com frequência de dois a três dias após cada um desses eventos. E após cada evento de chuvas e irrigação de salvamento também foram realizadas de 2 a 3 coletas.

As bases de metal foram inseridas no solo na profundidade de 8 a 9 cm e permaneceram durante todo o período de avaliação (Figura 8). A parte exposta possui uma canaleta, na qual se insere borracha esponjosa para garantir vedação total e uma tampa retangular, com uma

cobertura metalizada e uma espuma de 2 cm de espessura entre a tampa e a cobertura para refletir os raios solares e promover o isolamento térmico. O conjunto total da base com a tampa atinge altura de 10,5 cm. Esta parte superior somente era acoplada na base metálica nos eventos de amostragens

A vedação da tampa foi realizada com borracha esponjosa e com o auxílio de ligas de borracha obtidas em borracharia, depois cortadas e adaptadas ao conjunto tampa-câmara. Sobre cada tampa retangular foi fixada uma mangueira com válvula de três vias, com abertura para acessar a câmara fechada, permitindo a coleta do gás para análise de N₂O. Em cada uma das parcelas, juntamente com a amostragem de N₂O no campo foram medidas as temperaturas do solo e das câmaras, para o posterior cálculo dos fluxos N₂O (Silva et al. 2016; Carvalho et. al. 2016, 2019; Santos et al., 2016; Figueiredo et al., 2018; Sato et al., 2019; Campanha et. al, 2019)



Figura 8. Câmaras estáticas para realização da coleta de N₂O no solo.
Fonte: Sousa (2016).

Antes de cada coleta foi realizado vácuo (-3,0 mBar) nos vials (frascos headspace de 20 mL e lacrados com septos de borracha clorobutírica). As coletas foram realizadas considerando os tempos 0, 15 e 30 min, após o fechamento das câmaras para cada tratamento, sempre no horário da manhã entre 8 e 10 h (Alves et al., 2012), incluindo a determinação de N₂O do ar atmosférico fora das câmaras, como referência.

Uma área de cerrado nativo, localizada próxima à área de milho foi utilizada como referência. Para as amostragens de N₂O na área de cerrado, foram colocadas 3 câmaras idênticas e com a mesma formatação às da área experimental.

Aproximadamente 30 mL de gás foram coletados com seringas de polipropileno de 60 mL e mantidos em bandejas com água destilada em ambiente refrigerado para manter por um período sem perdas antes das leituras no cromatógrafo.

A determinação da concentração do N₂O foi realizada no Laboratório de Cromatografia Gasosa (Thermo Scientific Model Trace 1310, equipado com uma coluna Porapak Q e um detector de elétron (ECD) da Embrapa Cerrados, segundo metodologia descrita em Santos et al. (2016).

O valor final dos fluxos ($\mu\text{g de N- N}_2\text{O m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) foi obtido integrando a área de um gráfico, que varia de acordo com a concentração de N₂O (Figura 9). E antes de cada conjunto de análises, foram injetadas algumas amostras com concentração conhecida de N₂O, que serviram como padrões para o cálculo das concentrações em cada amostra (curva de calibração). Os padrões utilizados foram: 200 ppb, 600 ppb, 1000 ppb e 1500 ppb.

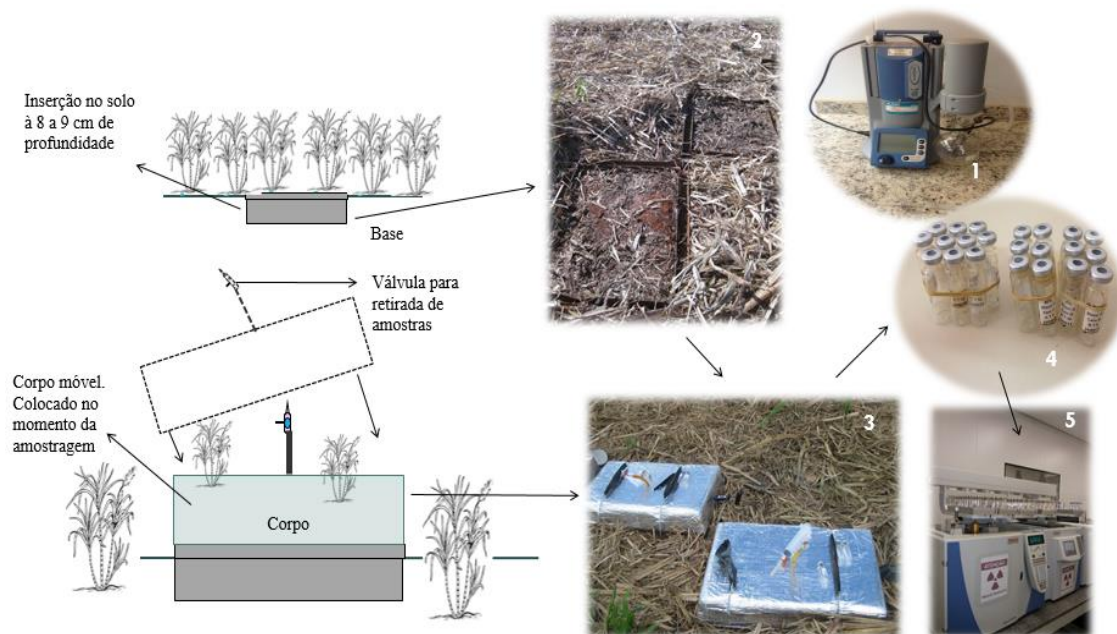


Figura 9. Modelo de câmaras estáticas e sequência utilizada para realização da coleta de N₂O do solo: (1) bomba de vácuo; (2) bases inseridas no campo; (3) câmaras estáticas; (4) vials e (5) cromatógrafo gasoso.

Fonte: Sousa (2016).

Os fluxos foram calculados usando a seguinte equação por Steudler et al. (1989): $FN_2O = (\delta C/\delta t) \times (V/A) \times ((1-e/P) /Vm)$. Houve controle de qualidade considerando-se apenas os dados lineares quando da coletas das amostras nos três tempos.

Onde, o FN₂O é o fluxo de N na forma de N₂O ($\mu\text{g de N-N}_2\text{O m}^{-2} \text{ h}^{-1}$), $\delta C/\delta t$ é a alteração na concentração de N₂O na câmara em função do tempo ($\text{mol}^{-1} \text{ s}^{-1}$), e A são respectivamente o volume (m^3) e a área da câmara (m^2), e/P é a pressão da água/ pressão atmosférica na câmara (kPa kPa^{-1}), Vm é o volume molar da câmara ($\text{m}^3 \text{ mol}^{-1}$).

As emissões acumuladas foram estimadas plotando-se os valores diários dos fluxos de N-N₂O e a escala de tempo em um gráfico por integração, usando o software SigmaPlot versão 10.0.

Para análise estatística do acumulado de N-N₂O, foi utilizado o programa estatístico SAS considerando-se valores médios dos fluxos de N-N₂O no período avaliado. Os gráficos dos fluxos de N-N₂O e covariáveis foram feitos utilizando-se o software SigmaPlot.

Foi realizada a correlação de Pearson entre os fluxos de N-N₂O e as co-variáveis (umidade, espaço poroso saturado por água, nitrato, amônio e temperatura do solo), utilizando-se as médias das três repetições de cada sistema de produção e a área de cerrado nativo, bem como a correlação entre os fluxos de N-N₂O e as co-variáveis, para cada sistema de produção com milho em sucessão às plantas de cobertura e o cerrado nativo.

4.2.3 N-Mineral (N- NO₃⁻ e N-NH₄⁺)

Além das amostras de gases para análises de N₂O, durante a maior parte das avaliações foram realizadas amostragens de solo (Figura 10), em cada tratamento para determinar a umidade gravimétrica do solo e a concentração de N-mineral no solo (N- NO₃⁻ e N-NH₄⁺).

As amostras foram coletadas na profundidade 0-10 cm, com um trado do tipo holandês, com 3 subamostras coletadas em cada parcela para compor uma amostra composta, com furos próximos as câmaras estáticas de gases, nas três repetições estabelecidas. Em seguida, essas subamostras foram compostas por homogeneização, totalizando uma amostra por dia de coleta, em cada tratamento ou parcela.

As amostras de solo foram colocadas em sacos plásticas e transportadas para o laboratório em uma caixa térmica hermeticamente fechada (cooler) e com gelo para evitar perdas de umidade e N mineral. Para determinação da umidade do solo, as amostras foram colocadas em latas metálicas cerca de 40g de solo correspondente a cada tratamento, pesadas em uma balança (Marte Modelo UX4200H e= 0,1g) e o valor gerado correspondeu ao solo úmido, em seguida foram levadas para a estufa e mantidas a 105° C por 72 horas, quando foram novamente pesadas (solo seco) visando a determinação da umidade gravimétrica e posteriormente o Espaço Poroso Saturado por Água (EPS) é calculado pela fórmula:

$$\text{EPSA (\%)} = (\text{umidade gravimétrica (\%)} \times \text{densidade do solo}) / \text{porosidade total do solo} \times 100;$$

Onde: porosidade total do solo = $[1 - (\text{densidade do solo}/2,65)]$, com 2,65 $[\text{g cm}^{-3}]$ sendo a densidade das partículas do solo.

A extração para se determinar nitrato e amônio no solo foi realizada através de cloreto de potássio segundo a metodologia de Silva et al. (2010). Em frascos de vidro com tampa (snapcaps) foram acrescentados 50 ml de cloreto de potássio (KCl) em seguida pesados e anotados o seu valor. De cada amostra de solo foram retirados 15g de solo e colocados no frasco com KCl e pesados novamente (KCl + solo). As amostras foram determinadas em duplicata. Os frascos com o KCl + solo, foram mantidos por um tempo de 24hs e retirada uma alíquota filtrada no dia seguinte. Foram utilizados filtros de papel (Filtro Quaty, JP42, Permeabilidade ao ar: 31s m²), para posterior análise colorimétrica na determinação do N-mineral no solo (N-NO₃⁻ e N-NH₄⁺). O N-mineral do solo (NO₃⁻ e NH₄⁺) foi analisado por colorimetria no Lachat Quik chem FIA QC8500, série 2 (Figura 10).



Figura 10. Etapas para realização da coleta e extração do solo: (1) amostras de solo coletadas de 0-10 cm; (2) caixa térmica hermeticamente fechada (cooler); (3) cloreto de potássio; (4) preparo para a extração do solo; (5) latas metálicas com cerca de 40 g de solo para umidade e balança; (6) frascos com KCL e solo, filtragem do material e (7) Lachat Quik chem FIA QC8500, série 2.

Fonte: Silva et al. (2016).

4.2.4 Análise estatística

Foi realizada análise de variância (ANOVA) e as médias dos fluxos de N-N₂O comparadas pelo teste de Tukey's Studentized Range ($p < 0,01$ e $p < 0,05$) a fim de identificar possíveis diferenças entre os tratamentos por meio do programa estatístico SAS.

Os fluxos diários de N₂O e as co-variáveis edafoclimáticas (NO₃⁻, NH₄⁺, EPSA, umidade e temperatura do solo) foram submetidos à análise de Correlação de Pearson e teste “t” de Student, para determinar significância e as relações entre as co-variáveis.

4.3 Resultados e discussão

Para o nitrogênio aplicado em cobertura (CN), tanto a mucuna-preta (118,5 $\mu\text{g N-N}_2\text{O m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) quanto o nabo-forrageiro (108 $\mu\text{g N-N}_2\text{O m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) resultaram em fluxos mais elevados de N_2O na primeira aplicação de N em cobertura (Figura 11), que foi realizada em 14.12.15. Os maiores valores de fluxos de $\text{N-N}_2\text{O}$ no solo foram obtidos após a segunda adubação de cobertura em 05.01.16, aplicada à cultura do milho no solo em sucessão ao nabo-forrageiro (CN) e crotalária-juncea (CN), com 174,1 e 153,3 $\mu\text{g N-N}_2\text{O m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, respectivamente.

Uma vez que os fluxos de $\text{N-N}_2\text{O}$ por nitrificação ou desnitrificação são dependentes do conteúdo de N no solo (Campanha et al., 2019), a emissão de N_2O também está relacionada ao fertilizante nitrogenado aplicado (Silva et al. 2016; Carvalho et. al. 2016; 2019; Santos et al., 2016; Figueiredo et al., 2018; Sato et al., 2019; Campanha et. al, 2019), o que também pode ser verificado nesse estudo.

Os valores mais elevados de $\text{N-N}_2\text{O}$ no solo com aplicação de N em cobertura estão relacionados as maiores concentrações de N-mineral, principalmente do nitrogênio na forma de nitrato, porém, os picos observados com milho em sucessão ao guandu 'BRS mandarim', com aplicação de nitrogênio em cobertura, estão associados ao nitrogênio na forma amoniacal (N-NH_4^+). Esses altos fluxos de $\text{N-N}_2\text{O}$ no solo ocorreram em condições de EPSA acima de 60% e temperaturas também mais elevadas, ou seja, aproximadamente 30°C (Davidson et al., 2000). Os picos de $\text{N-N}_2\text{O}$ foram medidos (Figura 11) depois das aplicações de N em cobertura, na primeira e segunda adubação na cultura de milho para a mucuna preta: 118,49 $\mu\text{g N-N}_2\text{O m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ e nabo forrageiro: 174,12 $\mu\text{g N-N}_2\text{O m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, respectivamente. Ocorrendo o mesmo para as maiores concentrações de N-NO_3^- : Mucuna preta (CN): 127 mg N kg^{-1} solo na primeira adubação e mucuna preta (CN): 23 mg N kg^{-1} e guandu (SN): 33 mg N kg^{-1} na segunda adubação. Já para a N-NH_4^+ as maiores concentrações observados foram para o guandu (CN): 72 mg N kg^{-1} e crotalária juncea (CN): 33 mg N kg^{-1} na primeira adubação e na segunda adubação respectivamente (Figura 11) e sempre na presença de precipitação pluviométrica (Carvalho et al., 2016) e temperaturas mais elevadas (Figura 12).

Vários autores têm observado aumento dos fluxos de N-N₂O após a fertilização nitrogenada e estes podem ocorrer por até duas a três semanas depois da fertilização (Hickman et al., 2014; Campanha et al., 2019). Com a adição de fertilizante nitrogenado em cobertura, tanto na primeira quanto na segunda aplicação a adição de N via fertilizante reduz ainda mais as razões C:N e lignina:N, promovendo o processo de mineralização de N, conseqüentemente, incrementando a produção de N₂O devido ao efeito combinado da fertilização nitrogenada e da decomposição acelerada dos resíduos vegetais (Veras, 2016).

Após o mês de janeiro, quando houve redução de precipitação pluviométrica, os fluxos de N-N₂O no solo mantiveram-se baixos e próximos de zero na maioria das avaliações. Na área com cerrado nativo, a maioria dos fluxos de N-N₂O no solo aproximaram-se de zero chegando a atingir valores negativos, sugerindo que este bioma é um dreno de N₂O (Metay et al., 2007; Cruvinel et al., 2011, Santos et al., 2016; Carvalho et al., 2017).

Outros trabalhos (Davidson et al., 2000; Carvalho et al., 2006; Metay et al., 2007; Cruvinel et al., 2011, Metay et al., 2011; Santos et al., 2016) também apresentaram fluxos mínimos em solo de cerrado nativo como confirmado no presente trabalho.

Os latossolos dominantes nesse bioma são solos bem drenados e com baixa produção de N-NO₃⁻, raramente excedendo à demanda dos microrganismos e das raízes das plantas (Nardoto e Bustamante, 2003). Esses solos, com elevada porosidade e boas condições de drenagem, possuem poucos sítios de anaerobiose, o que é um fator chave para a desnitrificação (Baggs e Philippot, 2010). Além disso, os influxos de N-N₂O no solo podem ocorrer, uma vez que a desnitrificação tende a diminuir com o aumento da acidez do solo característico do cerrado nativo que apresenta baixo pH (Hickman et al., 2014).

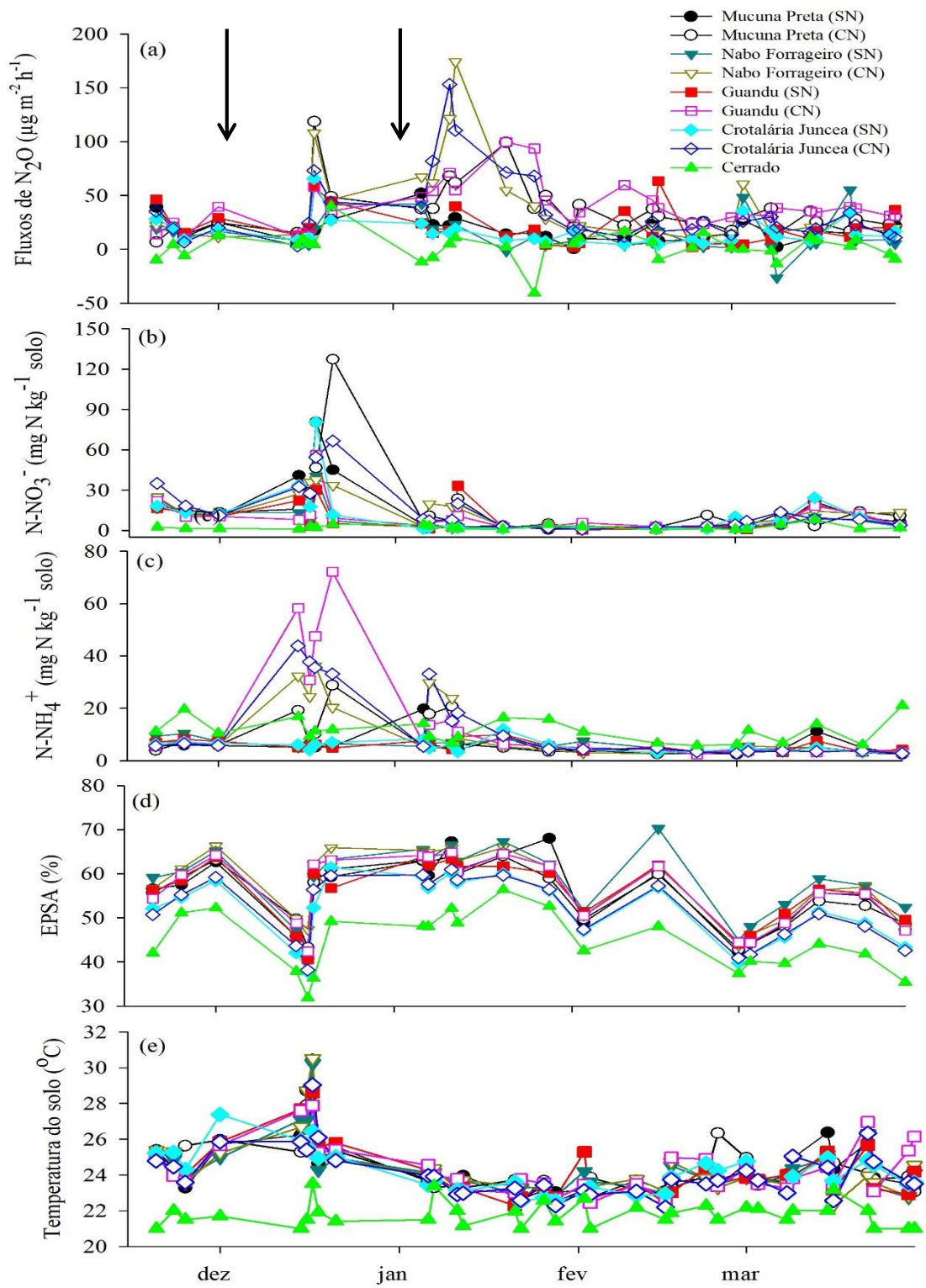


Figura 11. (a) Fluxos de N-N₂O, (b) e (c) concentrações de nitrato e amônio na camada de 0-10 cm de solo, (d) EPSA e (e) temperatura média do solo sob cultivo de milho em sucessão às plantas de cobertura e cerrado nativo. As setas indicam aplicação de N em cobertura no solo via fertilizantes nas datas: 14.12.2015 e 05.01.2016.

No SPD, normalmente as quantidades de nitrato são bem maiores que nos sistemas de produção com revolvimento do solo, visto que devido ao aumento de umidade do solo, teores de nutrientes e/ou quantidade de matéria orgânica favorecem a ação das bactérias nitrificadoras (Moro et al., 2013). Entretanto, também observou-se que pode haver uma inversão em relação aos teores de amônio sobre o nitrato, como estratégia da comunidade microbiana, conforme observado por D'Andréa et al. (2004), Nascente et al. (2013) e Mooshammer et al. (2014). De modo que nesse ambiente de inversão poder ocorrer um processo respiratório intenso, o que desencadeia microssítios anaeróbios, consequentemente, fluxos de N-N₂O no solo por meio de desnitrificação (Garcia-Ruiz e Baggs, 2007).

O cerrado apresentou baixas concentrações de N mineral na forma de nitrato em relação à área com cultivo de milho e plantas de cobertura, porém, foram determinados os mais altos teores de N na forma amoniacal, que nesse caso é responsável pelos baixos fluxos de N-N₂O no solo, com a maioria de valores próximos a zero e/ou negativos.

Observa-se que a precipitação pluviométrica (Figura 12), também influencia diretamente os fluxos de N-N₂O no solo, fato evidenciado principalmente para o mês de janeiro onde observaram-se os maiores fluxos de N-N₂O no solo (Figura 11), coincidentemente com o maior valor médio de espaço de poros preenchido por água (EPSA = 62,2 %).

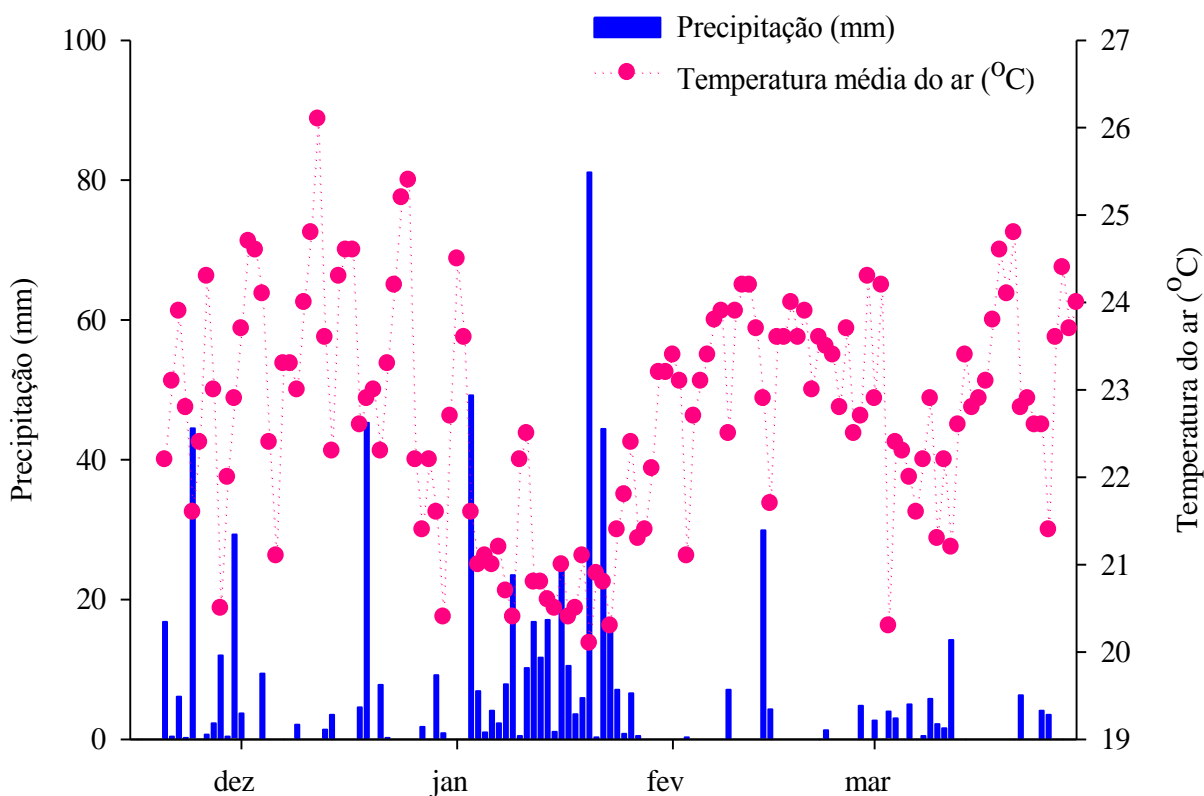


Figura 12. Precipitação pluviométrica (mm) e temperatura média do ar (°C) referente ao período de novembro de 2015 a março de 2016 medida na Estação Climatológica da Embrapa, Planaltina, DF.

A umidade do solo representada pelo EPSA apresenta relação direta com a emissão de N_2O (Figueiredo et al., 2018; Campanha et al., 2019), porém, há relatos de correlações negativas, influenciadas pela época, entre os fluxos de $N-N_2O$ e a quantidade de poros do solo preenchida por água (EPSA) no período de pico de emissão (Akiyama et al., 2000).

Em geral, a formação de N_2O no solo é favorecida quando, aproximadamente, acima de 60% dos poros estão preenchidos por água (Bockman e Olf, 2008; Campanha et al., 2019). Segundo Dobbie e Smith (2001) valores de espaço poroso saturado por água (EPSA), acima de 50% são considerados o limite para a predominância de reações de desnitrificação em relação à

nitrificação, aumentando as zonas de anaerobiose que favorecem a redução do NO_3^- , justificando os maiores picos de N_2O nos sistemas de cultivo com esses valores de EPSA no solo.

A temperatura do solo determina as taxas nas quais os microrganismos realizam os processos de nitrificação e desnitrificação. Em temperaturas amenas, a taxa de conversão de compostos nitrogenados é baixa, aumentando à medida que a temperatura também aumenta. Zhang e Han (2008) observaram forte correlação entre a variação sazonal do fluxo de N_2O e a temperatura do solo: para temperaturas em torno de 5°C , as emissões de N_2O foram próximas a zero. Wolf e Brumme (2002) verificaram que a curva de emissão de N_2O comportou-se de maneira similar à curva de temperatura do solo. Akiyama et al. (2000) constataram variações nas emissões de N_2O com comportamento similar às variações nas temperaturas do solo e do ar. Davidson e Swank (1986) observaram que difusão de N_2O no campo foi fortemente afetada pela temperatura e pela umidade do solo.

Observou-se no período avaliado durante o ciclo da cultura do milho que as maiores emissões de N_2O ocorreram logo após as maiores concentrações de nitrato e amônio no solo, em dezembro de 2015, que foi o mês com a temperatura do solo média mais elevada ($26,4^\circ$).

Perdomo et al. (2009) encontraram os maiores fluxos de N_2O geralmente após as chuvas e/ou durante períodos de alta temperatura do solo. Hao et al. (2001) verificaram os maiores fluxos no início da primavera e observaram incrementos com o aumento da temperatura. Resultados semelhantes com relação à temperatura foram encontrados por Akiyama et al. (2000).

Liu et al. (2006) associaram as maiores emissões de N_2O a eventos de precipitação, corroborando os resultados obtidos no presente trabalho (Figura 12). Entretanto, a partir de fevereiro, os fluxos de $\text{N-N}_2\text{O}$ foram geralmente baixos mostrando que as alterações de precipitação pluviométrica não interferiram mais nas emissões de N_2O , sobretudo em ausência da fertilização com nitrogênio, já que com isto não houve efeito residual. Os fluxos de $\text{N-N}_2\text{O}$ do solo aumentaram imediatamente após os eventos de precipitação e voltaram ao normal 3 dias após o fim da ocorrência das chuvas.

Em solos agrícolas, além dos efeitos ocasionados pelas condições meteorológicas, as emissões de N_2O são amplificadas por práticas de manejo que aumentam a disponibilidade de N e C no solo e que propiciam condições satisfatórias para atividade microbiana. Entre estas estão o retorno do N contido nos resíduos vegetais de culturas de cobertura, o revolvimento do solo, o cultivo de leguminosas, a aplicação de fertilizantes nitrogenados e orgânicos e a irrigação (Zanatta, 2009).

A presença de palhada na superfície do solo também interage com outros fatores de manejo. Para uma mesma quantidade de N adicionado, a imobilização de N foi muito maior em áreas de cultivo reduzido que em áreas de cultivo convencional (D'Haene et al., 2008). A qualidade do resíduo vegetal adicionado ao solo também é responsável por maiores ou menores níveis de emissão de N_2O (Santos et al., 2014). Em áreas com aporte significativo de N via fertilizantes, a presença de palhada na superfície do solo favorece a imobilização do nitrogênio, devido à elevada relação C/N do material vegetal e reduz as reações de desnitrificação e as emissões de N_2O .

Hao et al. (2001), observaram que a remoção de palha em solos com fertilizantes nitrogenados promoveu maiores taxas de emissão de N_2O . Por outro lado, tem-se observado que a emissão de N_2O é maior em solos que possuem resíduos vegetais com baixa relação C/N, possivelmente porque são mais facilmente decomponíveis (Toma, 2007). Esses dados foram confirmados em laboratório, onde a baixa relação C/N dos resíduos vegetais induziu a alta concentração de carbono orgânico dissolvido e promoveu maiores emissões de N_2O (Huang et al., 2004). O fator de emissão de N_2O se relaciona positivamente com a razão C/N quando a fonte de N é o resíduo vegetal. Quando se adiciona ureia, a emissão tem correlação negativa com a razão C/N do resíduo vegetal (Huang et al., 2004).

A correlação de Pearson entre os fluxos de N- N_2O e as co-variáveis no solo com milho em sucessão às plantas de cobertura na presença e ausência de N em cobertura está apresentada na Tabela 2.

Tabela 2. Matriz de correlação de Pearson entre os fluxos de N-N₂O e as co-variáveis, nos sistemas de sucessão com e sem N.

Variável	Sistemas de produção								
	Mucuna-preta		Nabo		Guandu		Crotalária- Juncea		Cerrado
	SN	CN	SN	CN	SN	CN	SN	CN	
NO₃⁻	-0,090 ns	0,187ns	-0,068ns	0,192ns	0,238ns	0,060ns	0,281 *	0,023ns	0,148ns
NH₄⁺	0,321*	0,165ns	0,023ns	0,176ns	0,123ns	-0,046ns	0,058 ns	0,101ns	-0,172ns
Umid. solo	0,071ns	0,015ns	0,109ns	0,046ns	0,036ns	0,067ns	0,070 ns	0,191ns	0,153ns
T. solo	-0,115ns	-0,170ns	0,007ns	-0,164ns	0,206ns	-0,278*	-0,004 ns	-0,167ns	-0,041ns
EPSA	0,193ns	0,307*	0,209ns	0,319*	0,224ns	0,471**	0,132ns	0,449**	0,297ns

ns - não significativo; * e **, significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente. Milho cultivado após Mucuna-preta, Nabo, Guandu, Crotalária sem adubação nitrogenada (SN) e com adubação nitrogenada (CN); cerrado.

Não houve correlação entre os fluxos de N-N₂O e as co-variáveis estudadas para a maioria dos tratamentos estudados, havendo apenas correlação entre nitrato e crotalária-juncea (SN), amônio e mucuna-preta (SN) e EPSA e as plantas de cobertura estudadas (CN).

Os teores de N-mineral na forma de amônio correlacionaram-se com os fluxos de N-N₂O para os tratamentos de milho sem adubação de N em cobertura com cultura antecessora sendo a Mucuna-preta.

O espaço poroso preenchido por água apresentou correlação com os fluxos de N-N₂O no solo com milho para todas as plantas de cobertura estudadas, que antecederam a cultura do milho, mas somente na presença de adubação de cobertura na cultura do milho. Não houve correlações entre os fluxos de N-N₂O e as co-variáveis umidade e temperatura do solo.

Na área com cerrado nativo não houve correlação entre as co-variáveis e os fluxos de N-N₂O no solo.

Ciampitti et al. (2008), durante a decomposição dos resíduos verificaram que a umidade do solo e o conteúdo de C solúvel apresentaram correlação significativa com as emissões de N₂O.

Com a aplicação de N em cobertura, o solo com milho em sucessão ao guandu resultou em emissões acumuladas de N-N₂O mais elevadas em relação às demais plantas de cobertura (Figura 13).

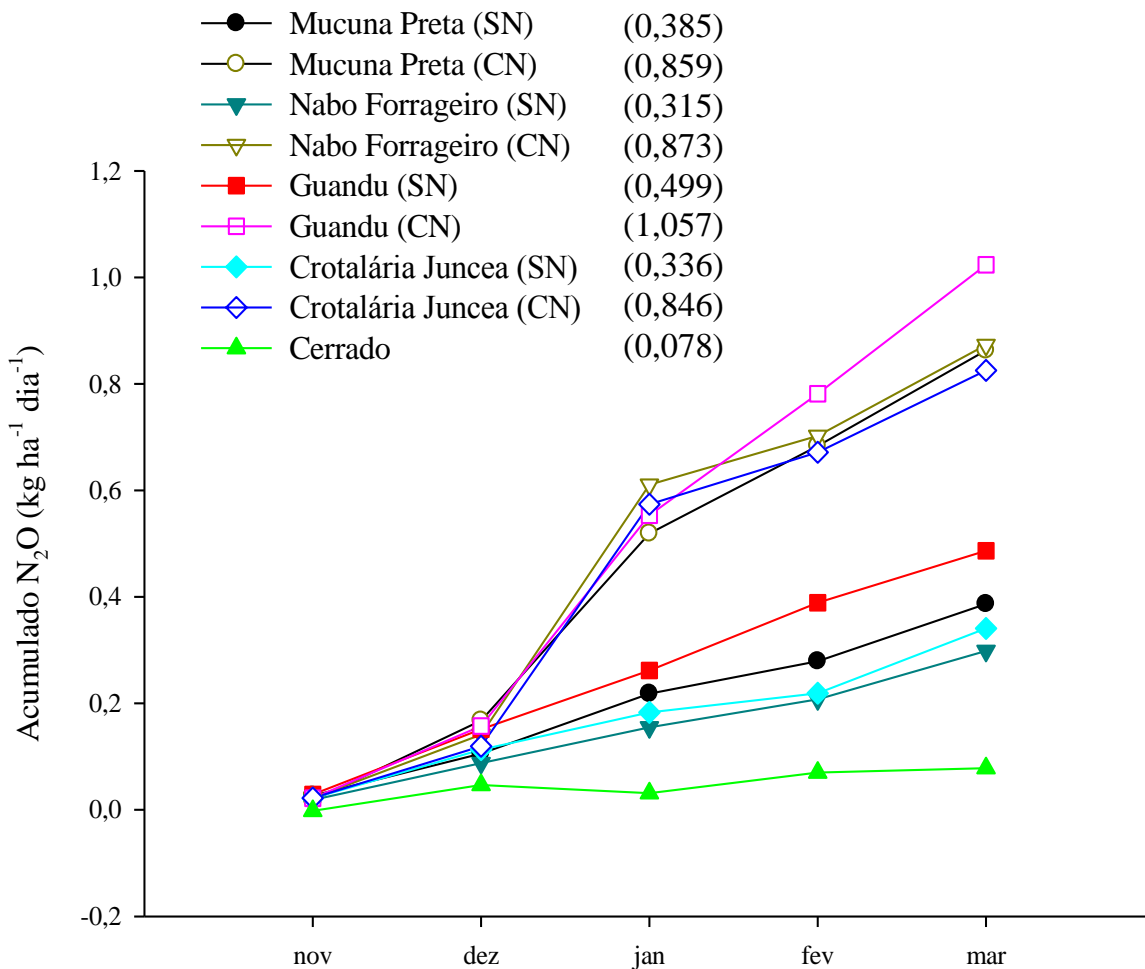


Figura 13. Emissões acumuladas de N-N₂O (kg ha⁻¹), sob cultivo de milho em sucessão às plantas de cobertura, Planaltina, DF.

A sucessão do milho com o guandu promoveu maiores emissões acumuladas de N₂O (0,985 Kg N-N₂O ha⁻¹) quando comparado com a sucessão milho crotalárea-juncea (0,772 Kg N-N₂O ha⁻¹) (Tabela 3). Para todas as plantas de cobertura avaliadas, a adição de N em cobertura na cultura do milho resultou em emissões acumuladas de N-N₂O significativamente mais elevadas (1,193 Kg N-N₂O ha⁻¹) (Tabela 3). Nos tratamentos com e sem a adição de N em

cobertura houve diferenças significativas entre as plantas de cobertura em relação às emissões acumuladas de N-N₂O (F<0,005) (Tabela 3).

Tabela 3. Médias de N-N₂O acumulado no período de novembro de 2015 a março de 2016 (132 dias) emitido para a atmosfera em solo com diferentes plantas de cobertura, com e sem a adição de nitrogênio em cobertura, no cultivo do milho.

Planta de Cobertura	Kg N-N₂O ha⁻¹
Mucuna-preta	0,857 ab
Nabo	0,824 ab
Guandu	0,985 a
Crotalária- Juncea	0,772 b
Fertilização	
Com nitrogênio	1,193 a
Sem Nitrogênio	0,559 b
CV 1 %	11,7
CV 2 %	15,7

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A produção de matéria seca do guandu (2161 kg ha⁻¹) e a decomposição de seus resíduos vegetais podem explicar o maior acúmulo de N-N₂O (2,54 kg ha⁻¹), que acentuou seu incremento a partir de Fevereiro para o solo com milho em sucessão ao guandu. O guandu cv mandari (2161 kg ha⁻¹) e a mucuna-preta (2666 kg ha⁻¹) são as plantas de cobertura com matéria seca e teores de lignina mais elevados entre as plantas avaliadas, o que confere aos resíduos vegetais desta espécie uma elevada resistência à decomposição (Carvalho et al., 2011; 2012; 2015). Assim, com a produção de matéria seca elevada e decomposição mais lenta devido aos altos teores de lignina e maior lignina/N, depois de um longo período houve uma aceleração no processo de mineralização dos resíduos vegetais de guandu, que está entre as plantas de cobertura juntamente com mucuna-preta, com os mais altos teores e conteúdo de N na parte aérea (Tabela 4) (Carvalho et al., 2011; 2012; 2015).

Tabela 4. Produção de matéria seca (MS) das PCs.

Produção de matéria seca (MS) das PCs (kg ha⁻¹)							
Mucuna-preta		Nabo		Guandu		Crotalária Juncea	
CN	SN	CN	SN	CN	SN	CN	SN
2666,5	2691,5	1615,7	1273,7	2161,0	1826,5	1460,6	1430,8

A baixa razão C:N favorece a mineralização de N no solo (Silva et al., 2008) e nessa condição, as leguminosas possuem decomposição superior às gramíneas (Torres et al., 2005). Assim, a decomposição de resíduos vegetais vem sendo considerada como um processo que interfere nos fluxos de N-N₂O do solo (IPCC, 2006).

4.4 Conclusão

1. Os maiores valores de fluxos de N-N₂O diários no solo ocorrem após a primeira e segunda fertilização de N em cobertura no milho;
2. Os maiores valores de N- N₂O acumulados foram obtidos no solo com aplicação de N em cobertura no solo com milho em sucessão ao guandu, nabo e mucuna-preta e os menores foram obtidos com crotalária júncea.
3. Com os eventos de fertilização nitrogenada, as plantas de cobertura promoveram diferenças entre os fluxos de N-N₂O, no solo sob cultivo de milho, sugerindo que houve efeito dos resíduos vegetais dessas diferentes espécies nos fluxos de N-N₂O no solo com cultivo de milho, possivelmente devido à sua composição química diferente.

4.5 Referências Bibliográficas

ADÂMOLI, J.; MACEDO, J.; AZEVEDO, L.G. & MADEIRA NETO, J. Caracterização da região dos Cerrados. In: GOEDERT, W.J. **Solos dos Cerrados: Tecnologias e estratégias de manejo**. Planaltina/São Paulo, Embrapa-CPAC/Nobel, p.33-74, 1986.

AKIYAMA, H.; TSURUTA, H.; WATANABE, T. N₂O and NO emissions from soils after the application of different chemical fertilizers. **Chemosphere - Global Change Science**, Oxford, v.2, n.3/4, p.313-320, 2000.

ALMEIDA, R. F. de; NAVES, E. R.; SILVEIRA, C. H.; WENDLING, B. Emissão de óxido nitroso em solos com diferentes usos e manejos: uma revisão. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**. Maringá (PR), v.8, p.441-461, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.17765/2176-9168.2015v8n2p441-461>

ALVES, B. J. R.; SMITH, K. A.; FLORES, R. A.; CARDOSO, A. S.; OLIVEIRA, W. R. D.; JANTALIA, C. P.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Selection of the most suitable sampling time for static chambers for the estimation of daily mean N₂O flux from soils. **Soil Biology & Biochemistry**, v.46, p.129-135, 2012.

AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; ELTZ, F. L.; BRUM, A. C. R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.189-197, 2001.

AMBROSANO, E. J.; ROSSI, J.; CARLOS, J. A. D.; LIMA FILHO, O. F. de. **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática**. v.2, 512p., 2014.

BAGGS, E. M., PHILIPPOT, L. Microbial terrestrial pathways to nitrous oxide. In: Smith K (ed) **Nitrous oxide and climate change**. Earthscan, London, p. 4-36, 2010.

BOCKMAN, O. C.; OLFS, H. W. Fertilizers, agronomy, and N₂O. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v.52, n.2/3, p.165-170, 1998.

CAMPANHA, M. M.; OLIVEIRA, A. D. de; MARRIEL, I. E.; GONTIJO NETO, M. M.; MALAQUIAS, J. V.; LANDAU, E. C.; ALBUQUERQUE FILHI, M. R. DE; RIBEIRO, F. P.;

CARVALHO, A. M. Effect of soil tillage and N fertilization on N₂O mitigation in maize in the Brazilian Cerrado. **Science of the Total Environment**. v.692, p. 1165–1174, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.315>

CARVALHO, A. M. de; AMABILE, R. F. (eds). **Cerrado: adubação verde**. Embrapa Cerrados, Brasília, Brasil. 369 p., 2006.

CARVALHO, A. M. de; BUSTAMANTE, M. M. DA C.; SOUSA JUNIOR, J. G. DE A.; VIVALDI, L. J. Decomposição de resíduos vegetais em latossolo sob cultivo do milho e plantas de cobertura, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.2831 – 2838, 2008.

CARVALHO, A. M. de; COELHO, M. C.; DANTAS, R. A.; FONSECA, O. P.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; FIGUEIREDO, C. C. Chemical composition of cover plants and its effect on maize yield in no-tillage systems in the Brazilian savanna. **Crop and Pasture Science**, v.63, p.1075-1081, 2012.

CARVALHO, A. M. de; COSER, T. R.; Dantas, R. A de; REIN, T. A.; SILVA, R. R.; SOUZA, K. W. Manejo de Plantas de Cobertura em Duas Épocas e Efeito no Rendimento do Milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** (1977. Impressa), v.50, p.01-11, 2015.

CARVALHO, A. M. de; SOUZA, L. L. P.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; ALVES, P. C. A. C.; VIVALDI, L. J. Cover plants with potential use for crop-livestock integrated systems in the Cerrado region. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1200-1205, 2011.

CARVALHO, A. M. de; SOUZA, L. L. P. de; ALVES, P. C. A. C.; GUIMARÃES JUNIOR, R. **Composição Química de Plantas de Cobertura e Decomposição de Resíduos Vegetais**, EMBRAPA: Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, n.258, 2009.

CARVALHO, J. L. N.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; MELLO, C. R.; CERRI, C. E. P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.34, p.277- 289, 2010.

CARVALHO, A. M. de; BUSTAMANTE, M. M. C. da; COSER, T. R.; MARCHÃO, R. L.; MALAQUIAS, J. V. Nitrogen oxides and CO₂ from an Oxisol cultivated with corn in succession to cover crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** (Online), v.51, p.1213-1222, 2016.

CERETTA, C. A.; BASSO, C. J.; HERBES, M. G.; POLETTO, N.; SILVEIRA, M. J. da. Produção e decomposição de fitomassa de plantas invernais de cobertura de solo e milho, sob diferentes manejos da adubação nitrogenada. **Ciência Rural** [online], v.32, n.1, p.49-54, 2002. DOI:<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782002000100009>

CIAMPITTI, I. A.; CIARLO, E. A.; CONTI, M.E. Nitrous oxide emissions from soil during soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] crop phenological stages and stubbles decomposition period. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.44, n.4, p. 581-588, 2008.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileiro – grãos**: Oitavo levantamento, maio 2020 – safra 2019/2020. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. 2020. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>>. Acesso em: mai. 2020.

CRUVINEL, E. B. F.; BUSTAMANTE, M. M. C.; KOZOVITS, A. R.; ZEPP, R. G. Soil emissions of NO, N₂O and CO₂ from croplands in the savanna region of central Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.144, n,1, p,29-10, 2011.

D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; GUILHERME, L. R. G. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de N-mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo.

Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.39, p.179-186, 2004. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2004000200012>

DAVIDSON, E. A.; KELLES, M.; ERICKSON, H. E.; VERCHOT, L. V.; VELDKAMP, E. et al. Testing a conceptual model of soil emissions of nitrous and nitric oxides. **Bioscience**, Washington, v.50, n.8, p.667 - 680, 2000.

DAVIDSON, E. A.; SWANK, W. T. Environmental parameters regulating gaseous nitrogen losses from two forested ecosystems via nitrification and denitrification. **Applied and Environmental Microbiology**, Baltimore, v.52, n.6, p.1287-1292, 1986.

D'HAENE, K.; DEN BOSSCHE, A. V.; VANDENBRUWANE, J.; DE NEVE, S.; GABRIELS, D.; HOFMAN, G. The effect of reduced tillage on nitrous oxide emissions of silt loam soils. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.45, n.2, p.213-217, 2008.

DOBBIE, K. E., SMITH, K. A. The effects of temperature, water-filled pore space and land use on N₂O emissions from an imperfectly drained gleysol. **European of Soil Science**, v.52, p.667 - 673, 2001.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

FERNANDES, F. C. S.; LIBARDI, P. L. Distribuição do nitrogênio do sulfato de amônio (¹⁵N) no sistema solo-planta, em uma sucessão de culturas, sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.36, p.885-893, 2012.

FIGUEIREDO, C. C. de; OLIVEIRA, A. D. de; SANTOS, I. L. DOS; FERREIRA, E. A. B.; MALAQUIAS, J. V.; SÁ, M. A. C. de; CARVALHO, A. M. de; SANTOS JÚNIOR, J. de D.

G. dos. Relationships between soil organic matter pools and nitrous oxide emissions of agroecosystems in the Brazilian Cerrado. **Science of the Total Environment**, v. 618, p.1572–1582, 2018. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.333>

GARCIA-RUIZ, R.; BAGGS E. M. N₂O emission from soil following combined application of fertiliser-N and ground weed residues. **Plant Soil**, v.299, p.263-274, 2007. DOI 10.1007/s11104-007-9382-6

GLASENER, K.M.; WAGGER, M.G.; MACKOWN, C.T.; VOLK, R.J. Contributions of shoot and roots nitrogen-15 labeled legume nitrogen source to a sequence of three cereal crop. **Soil Science Society of American Journal**, v.66, p.523-530, 2002.

HAO, X.; CHANG, C.; CAREFOOT, J.M.; JANSEN, H.H.; ELLERT, B.H. Nitrous oxide emission from an irrigated soil as affected by fertilizer and straw management. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v.60, n.1-3, p.1-8, 2001.

HICKMAN J. E.; PALM, C. A.; MUTUO, P.; MELILLO, J. M.; TANG, J. Nitrous oxide (N₂O) emissions in response to increasing fertilizer addition in maize (*Zea mays* L.) agriculture in western Kenya. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.100. n.2, p.177-187, 2014. DOI: 10.1007/s10705-014-9636-7.

HUANG, Y.; ZOU, J.; ZHENG, X.; WANG, Y.; XU, X. Nitrous oxide emissions as influenced by amendment of plant residues with different C:N ratio. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.36, n.6, p.973–981, 2004.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. **A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja**: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 80 p. (Embrapa Soja. Documentos, 283).

IPCC (International Panel on Climate Change) 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Reference Manual.

LIU, X. J.; MOSIER, A. R.; HALVORSON, A. D.; ZHANG, F. S. The impact of nitrogen placement and tillage on NO, N₂O, CH₄ and CO₂ fluxes from a clay loam soil. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.280, n.1-2, p.177-188, 2006.

LOPES, A. A. C.; SOUSA, D. M.G.; REIS-JUNIOR, F.B.; MENDES, C. I. Air-drying and long-term storage effects on β -glucosidase, acid phosphatase and arylsulfatase activities in a tropical Savannah Oxisol. **Applied Soil Ecology (Print)**, v.93, p.68-77, 2015.

MARQUEZ, T. C. L. L. S. M.; VASCONCELLOS, C. A.; PEREIRA FILHO, I.; FRANÇA, G. E.; CRUZ, J.C. Evolvimento de dióxido de carbono e mineralização do nitrogênio em latossolo vermelho-escuro com diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.30 p.581-589, 2000.

MARY, B.; RECOUS, S.; DARWIS, D.; ROBIN, D. Interactions between decomposition of plant residues and nitrogen cycling in soil. **Plant e Soil**, v.181, p.71-82, 1996.

MATSON, P. A.; McDOWELL, W. H.; TOWNSEND, A. R.; VITOUSEK, P. M. The globalization of N deposition: ecosystem consequences in tropical environments. **Biogeochemistry**, v.46, p.67- 83, 1999.

MENDES, I. C.; SOUZA, L. M. ; SOUSA, D. M. G. ; LOPES, A. A. C. ; REIS-JUNIOR, F. B.; LACERDA, M. P. C.; MALAQUIAS, J. V. Critical limits for microbial indicators in tropical Oxisols at post-harvest: The FERTBIO soil sample concept. **Applied Soil Ecology**, v.139, p.85-93, 2019.

METAY, A.; CHAPUIS-LARDY, L.; FINDELING, A.; OLIVERD, R.; ALVES, J. A.; MOREIRA, C. Simulating N₂O fluxes from a Brazilian cropped soil with contrasted tillage practices. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.140, p.255–263, 2011. DOI:10.1016/j.agee.2010.12.012

METAY, A.; OLIVER, R.; SCOPEL, E.; DOUZET, J.; MOREIRA, J.A.A.; MARAUX, F.; FEIGL, B.; FELLER, C. N₂O and CH₄ emissions from soils under conventional and no-till management practices in Goiânia (*Cerrados*, Brazil). **Geoderma**, Amsterdam, v.141, n.1/2, p. 78-88, 2007.

MOOSHAMMER, M.; Wanek, W.; Hämmerle, I.; Fuchslueger, L.; Hofhansl, F.; Knoltsch, A.; Schneckner, J.; Takriti, M.; Watzka, M.; Wild, B.; Keiblinger, K. M.; Zechmeister-Boltenstern, S.; Richter, A. Adjustment of microbial nitrogen use efficiency to carbon: nitrogen imbalances regulates soil nitrogen cycling. **Nature communications**, v.5, p.1-7, 2014. DOI: 10.1038/ncomms4694

MORO, E.; CRUSCIOL, C. A. C.; NASCENTE, A. S.; CANTARELLA, H. Teor de nitrogênio Inorgânico no solo em função de plantas de cobertura, fontes de nitrogênio e inibidor de nitrificação. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.43, p.424 – 435, 2013.

MOSIER A. R.; HALVORSON A. D.; REULE, C. A.; LIU, X. J. J. Net global warming potencial and greenhouse gas intensity in irrigated cropping systems in northastern Colorado. **Journal of Environmental Quality**, v.35, n.4, p. 1584-598, 2006.. DOI:10.2134/jeq2005.0232

NARDOTO, G. B.; BUSTAMANTE, M. M. C. Effects of fire on soil nitrogen dynamics and microbial biomass in savannas of Central Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** v.38, p. 955-962, 2003. DOI:10.1590/S0100-204X2003000800008

NASCENTE, A.S.; CRUSCIOL, C.A.C.; COBUCCI, T.; VELINI, E.D. Cover crop termination timing on rice crop production in a no-till system. **Crop Science**, v.53, p.2659-2669, 2013. DOI: 10.2135/cropsci2013.01.0047

PERDOMO, C.; IRISARRI, P. E.; ERNST, O. Nitrous oxide emissions from an Uruguayan argiudoll under different tillage and rotation treatments. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v.84, n.2, p.119-128, 2009.

SANTOS, D. C.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; VILELA, L.; PULROLNIK, K.; BUFON V. B.; FRANÇA, A. F. S. Forage dry mass accumulation and structural characteristics of Piatã grass in silvopastoral systems in the Brazilian savannah. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.233(3), p.16-24, 2016. DOI:10.1016/j.agee. 2016.08.026

SANTOS, I. L. D.; CAIXETA, C. F.; SOUSA, A. A. T. C. D.; FIGUEIREDO, C. C., RAMOS, M. L. G.; CARVALHO, A. M. D. Cover plants and mineral nitrogen: effects on organic matter fractions in an oxisol under no-tillage in the cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** (Online), v.38, n.6, p.1874-1881, 2014. DOI:<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000600022>

SATO, J. H.; FIGUEIREDO, C. C. de; MARCHÃO, R. L.; OLIVEIRA, A. D. de; VILELA, L.; DELVICO, F. M.; ALVES, B. J. R.; CARVALHO, A. M. de. Understanding the relations between soil organic matter fractions and N₂O emissions in a long-term integrated crop–livestock system. **European Journal of Soil Science**, p.1-14, 2019.

SILVA, A. N.; FIGUEIREDO, C. C. de; CARVALHO, A. M. de; SOARES, D. S.; SANTOS, D. C. R.; SILVA, V. G. da. Effects of cover crops on the physical protection of organic matter and soil aggregation. **Australian Journal of Crop Science**, v.10, p.1623-1629, 2016.

SILVA, D. de F.; ANDRADE, C. de L. T. de; SIMEONE, M. L. F.; AMARAL, T. A.; CASTRO, L. A. de; MOURA, B. F. Análise de nitrato e amônio em solo e água - Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 55 p. (Documentos / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN1518-4277; 2010, 114 p.

SILVA E. C.; MURAOKA, T.; BUZETTI, S.; ESPINAL, F. S. C.; TRIVELIN, P. C. O. Utilization of nitrogen from corn plant residues and green manures by corn. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. v.32, p.2853 – 2861. 2008.

SOUSA, T. R. **Emissões de N₂O em área de cana-de-açúcar submetida a diferentes lâminas hídricas no Cerrados do Planalto Central**. 2016. Monografia (Graduação em Gestão Ambiental). Universidade de Brasília, UnB, Brasília-DF, 57f. 2016.

TOMA, Y.; HATANO, R. Effect of crop residue C/N ratio on N₂O emissions from Gray Lowland soil in Mikasa, Hokkaido, Japan. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 53, n.2, p.198-205, 2007.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; ANDRIOLI, I., POLIDORO, J. C., FABIAN, A. J. Decomposição e Liberação de Nitrogênio de Resíduos Culturais de Plantas de Cobertura em um Solo de Cerrado, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.609-618, 2005.

URQUIAGA, B. J. R. A.; JANTALIA, C. P.; BODDEY, R. M. **Variações no Estoque de Carbono e Emissões de Gases de Efeito Estufa em Solos das Regiões Tropicais e Subtropicais do Brasil**: uma análise crítica. *Informações Agrônomicas*. n. 130, 2010.

URQUIAGA, S.; ZAPATA, F. Fertilización Nitrogenada em Sistemas de Producción Agrícola. In: URQUIAGA, S.; ZAPATA, F. **Manejo eficiente de la fertilización nitrogenada de cultivos anuales em América Latina y el Caribe**. Porto Alegre: Gênese; Rio de Janeiro: Embrapa Agrobiologia. p.77-88, 2000.

USSIRI, D.; LAL, R. **Soil Emission of Nitrous Oxide and its Mitigation**. Springer Dordrecht, Rotterdam, Netherlands. 2013. 378p.

VERAS, M. de S.; RAMOS, M. L. G.; FIGUEIREDO, C. C.; CARVALHO, A. M. de; SOUZA, K. W.; PULROLNIK, K. Cover Crops and Nitrogen Fertilization Effects on Nitrogen Soil Fractions under Corn Cultivation in a No-Tillage System. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** (Online), v.40, p. p. e0150059, 2016.

VERAS, M. de S. **Dinâmica de nitrogênio no solo sob cultivo do milho em sucessão a plantas de cobertura em sistema de plantio direto no cerrado**. Brasília, Universidade de Brasília, (Tese de Doutorado), 2016, 84p.

WOLF, I.; BRUMME, R. Contribution of nitrification and denitrification sources for seasonal N₂O emissions in an acid German forest soil. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.34, n.5, p.741-744, 2002.

WUTKE, E. B.; CALEGARI, A.; WILDNER, L. do P. Espécies de adubos verdes e plantas de cobertura e recomendações para seu uso. In: LIMA FILHO, O.F. de; AMBROSANO, E.J.; ROSSI, F.; CARLOS, J.A.D. (Ed.). **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática**. Brasília: Embrapa, v.1, p.59-168, 2014.

ZANATTA, J. A. **Emissão de óxido nitroso afetada por sistemas de manejo do solo e fontes de Nitrogênio**. Porto Alegre, Universidade Federal do rio Grande do Sul, (Tese de doutorado), 2009, 79f.

ZHANG, J.; HAN, X. N₂O emission from the semi-arid ecosystem under mineral fertilizer (urea and superphosphate) and increased precipitation in northern China. **Atmospheric Environment**, Oxford, v.42, n.2, p.291-302, 2008.

CAP. 2 – ALTERAÇÕES DO NITROGÊNIO MINERAL NO SOLO CULTIVADO COM MILHO EM SUCESSÃO A PLANTAS DE COBERTURA NO CERRADO

RESUMO

A quantidade de nitrogênio (N) aplicado via fertilizantes tem aumentado elevando as perdas desse nutriente, principalmente, na forma de nitrato. O objetivo desse estudo foi determinar teores de nitrogênio nas formas nítrica (N-NO₃⁻) e amoniacal (N-NH₄⁺) em solo sob plantas de cobertura guandu 'BRS mandarin' [*Cajanus cajan* (L.) Millsp]; crotalaria juncea (*Crotalaria juncea* L.); nabo-forrageiro forrageiro (*Raphanus sativus* L.) e mucuna-preta (*Mucuna-prata aterrma* Merr.) e milho híbrido 30F53VYHR cultivado em sucessão no sistema plantio direto (SPD) em profundidade. O delineamento experimental foi de blocos casualizados, com parcelas subdivididas e três repetições. Nas parcelas foram semeadas as plantas de cobertura e nas subparcelas foi feita a aplicação de N em cobertura, obtendo-se subparcelas com aplicação de fertilizante nitrogenado e sem essa aplicação. As plantas de cobertura foram cultivadas em subsequência à cultura do milho. A amostragem do solo foi efetuada nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm, no final do período chuvoso (após a colheita do milho) e início (após o corte das plantas de cobertura) em Planaltina-DF, 2015/2016. A forma predominante de N-mineral no solo foi o nitrato. Independente do manejo com ou sem N, o início das chuvas em novembro representa o período com os maiores teores de nitrato e amônio no solo devido atividade dos microrganismos nitrificantes que permaneceram inertes durante o longo período de seca. Entre as espécies estudadas, a mucuna-preta resultou na concentração de N-mineral mais elevada no solo.

Palavras-chave: matéria orgânica, mineralização de nitrogênio, nitrato, amônio.

CHANGES IN MINERAL NITROGEN IN THE SOIL UNDER NO-TILLAGE SYSTEM IN THE CERRADO

ABSTRACT

The amount of nitrogen (N) applied via fertilizers has increased, increasing the losses of this nutrient, mainly in the form of nitrate. The aim of this study was to determine nitrogen content in the nitric (N-NO₃⁻) and ammoniacal (N-NH₄⁺) forms in soil under pigeonpea 'BRS mandarin' [*Cajanus cajan* (L.) Millsp]; sunn hemp (*Crotalaria juncea* L.); oilseed radish (*Raphanus sativus* L.) and black mucuna (*Mucuna aterrima* Merr.) and hybrid corn 30F53VYHR grown in succession in the no-tillage system (SPD) in depth. The experimental design was randomized blocks, with split plots and three replications. The cover plants were sown in the plots and in the subplots, the application of N in cover was made, obtaining subplots with nitrogen fertilizer application and without this application. The cover crops were grown as a result of maize. Soil sampling was carried out at depths of 0-5, 5-10, 10-20, 20-40 and 40-60 cm, at the end of the rainy season (after the corn harvest) and beginning (after the cut of the plantscoverage) in Planaltina-DF, 2015/2016. The predominant form of N-mineral in the soil was nitrate. Regardless of management with or without N, the beginning of the rains in November represents the period with the highest levels of nitrate and ammonium in the soil due to the activity of nitrifying microorganisms that remained inert during the long drought period. Among the species studied, the black mucuna resulted in the highest concentration of N-mineral in the soil.

Key words: organic matter, nitrogen mineralization, nitrate, ammonium.

5 INTRODUÇÃO

O conhecimento da dinâmica do nitrogênio (N) no solo pode facilitar na decisão da rotação de culturas empregadas e aplicação de fertilizante para as culturas (Siqueira Neto, 2010) com maior critério e eficiência. O N é elemento relevante nos estudos de matéria orgânica do solo, sendo um dos nutrientes com dinâmica mais complexa no sistema solo-planta-atmosfera (Stein et al., 2016). No solo, mais de 90% do N está na forma orgânica sendo as formas nítrica e amoniacal as mais prontamente disponíveis. Estas formas minerais, apesar de representarem a menor parcela do N total do solo, são importantes, já que são as formas predominantes

para absorção pelas plantas e utilizadas também pelos microrganismos do solo (Inceoglu et al., 2012).

Em solos bem aerados, predomina o N nas formas nítrica (NO_3^-) e amoniacal (NH_4^+) é convertido a nitrato por microrganismos do solo num processo denominado de nitrificação, que é favorecido em condições aeróbicas, altas temperaturas e pH próximo da neutralidade. O nitrato possui carga negativa e, devido a maioria das cargas da superfície do solo também serem negativas, faz com que este seja perdido pelo processo de lixiviação (Cantarella, 2008), porém, os latossolos, predominantes no Cerrado não acompanham esse comportamento devido à inversão de cargas, principalmente latossolos, que apresentam o predomínio de carga elétrica líquida positiva nos colóides do solo. Em solos que apresentam inversão de carga em subsuperfície, a retenção de nitrato deve ser maior (Oliveira et al. 2000).

O nitrato é o elemento mais facilmente perdido por lixiviação (Justino et al. 2006; Moro et al., 2013). Além disto, Crusciol et al. (2011) relataram que as cargas dos colóides do solo, normalmente negativas, causam efeito de repulsão às cargas do nitrato, favorecendo sua lixiviação. Assim, o incremento da matéria orgânica do solo pelo uso das plantas de cobertura poderá alterar essa dinâmica de N no solo e reduzir suas perdas por lixiviação na forma de nitrato (Nascente et al. 2013a). Esse aporte depende da quantidade e qualidade de biomassa produzida nos sistemas de produção (Carvalho et al., 2015).

A taxa de mineralização dos resíduos vegetais, além do sistema de manejo adotado, é influenciada pela relação C:N e também pelas características bioquímicas, as quais envolvem os teores de celulose, hemicelulose e lignina (Giancomini, 2007). Menor relação C/N estimula a mineralização de matéria orgânica do solo e resulta em maiores teores de nitrato.

O monocultivo e as práticas culturais inadequadas têm causado perda de produtividade e degradação do solo e dos recursos naturais. A reversão desse quadro pode ser obtida por meio de tecnologias, como o sistema de plantio direto (SPD), em que há maior disponibilidade de N-NO_3^- em relação ao sistema de produção convencional, com revolvimento do solo (Cruvinel et al, 2011; Nascente et al., 2013b). No SPD há maior umidade do solo, com maior teor de nutrientes e matéria orgânica do solo nas camadas mais superficiais do solo, o que favorece a atividade microbiana, em especial as bactérias nitrificantes (Moro et al., 2013).

Dessa forma, o objetivo desse estudo foi determinar teores de nitrogênio nas formas nítrica (N-NO_3^-) e amoniacal (N-NH_4^+) em diferentes profundidades (0-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm) do solo sob plantas de cobertura: guandu 'BRS mandarim' [*Cajanus cajan* (L.) Millsp]; crotalária juncea juncea (*Crotalaria juncea* L.); nabo forrageiro-forrageiro (*Raphanus sativus* L.) e mucuna-preta-preta (*Mucuna-pretaaterrima* Merr.), em sucessão ao milho cultivado em sistema plantio direto (SPD), no final (abril de 2016) e início (novembro de 2016) do período chuvoso, depois da colheita do milho e do manejo de corte das plantas de cobertura, respectivamente.

5.1 Material e métodos

O estudo foi conduzido na área experimental da Embrapa Cerrados, localizada em Planaltina, DF, Brasil ($15^\circ 35' 30''$ S e $47^\circ 42' 00''$ W). Utilizou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso, com parcelas subdivididas e três repetições. As parcelas foram compostas pelas plantas de cobertura (12x8m) e as subparcelas (12x4 m), pela aplicação ou não de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. A área do experimento totaliza 3.420 m².

O clima da região é estacional e corresponde ao tipo Aw-tropical chuvoso (Köppen). A precipitação acumulada no período estudado foi de 497,3 mm e temperatura média de 22,25 °C, mostradas na Figura 14. Desse total acumulado a maior parte foram observadas nos meses de outubro (91,5 mm) e novembro (327 mm).

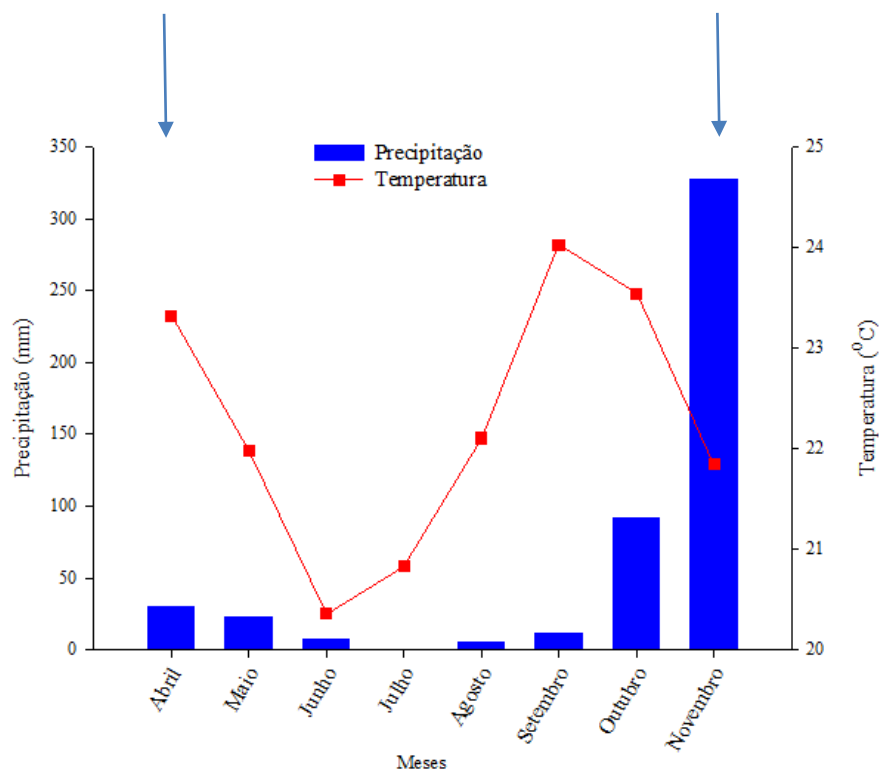


Figura 14. Precipitação pluviométrica e temperatura no período de abril a novembro de 2016 na área experimental, Embrapa Cerrados, Planaltina-DF. As setas indicam as datas da realização das coletas de solo: 06.04.2016 e 16.11.2016).

Antes da implantação do experimento, a área havia sido utilizada com rotação de soja/milho de 1999 a 2004. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico, de acordo com a classificação brasileira de solos (EMBRAPA, 2018). As características químicas do solo no início do experimento foram as seguintes: pH (H₂O) = 6,0; matéria orgânica = 21,7 g kg⁻¹; P_{Mehlich-1} = 0,9 mg kg⁻¹; Al³⁺ = 0,1 cmol_c kg⁻¹; Ca²⁺+Mg²⁺ = 2,9 cmol_c kg⁻¹; K⁺ = 0,1 cmol_c kg⁻¹.

A sucessão entre milho e plantas de cobertura é realizada na área experimental desde a safra 2004/2005 em sistema plantio direto, com as seguintes plantas de cobertura: guandu 'BRS

mandarin' [*Cajanus cajan* (L.) Millsp]; crotalaria-juncea (*Crotalaria juncea* L.); nabo forrageiro forrageiro (*Raphanus sativus* L.) e mucuna-preta (*Mucuna aterrima* Merr.).

Em novembro de 2015, foi realizado o plantio do milho híbrido 30F53VYHR, com cinco sementes viáveis por metro linear e espaçamento entre linhas de 0,75 m, totalizando uma população de 65.000 plantas por hectare. Na semeadura da cultura foi realizada adubação de manutenção no sulco de plantio, tendo-se utilizado 500 kg ha⁻¹ da fórmula NPK 4-30-16, além de 2 kg ha⁻¹ de Zn (ZnSO₄.7H₂O) e de 10 kg ha⁻¹ de FTE BR 12, como fonte de micronutrientes, com a seguinte composição química: 3,2% de S; 1,8% de B; 0,8% de Cu; 2,0% de Mn; 0,1% de Mo; 9,0% de Zn; e 1,8% de Ca. Foram realizadas duas fertilizações com 65 kg ha⁻¹ de N, em cobertura, na forma de ureia, aplicadas quando as plantas emitiram o quarto e o oitavo par de folhas, respectivamente, o que totalizou 150 kg ha⁻¹ de N de acordo com as recomendações de Sousa & Lobato (2004).

Em abril de 2016 foram semeadas as plantas de cobertura diretamente sobre os resíduos culturais do milho. O espaçamento entre linhas para as plantas de cobertura foi de 0,5 m entre linhas e a densidade de semeadura a recomendada por Carvalho & Amabile (2006) (Tabela1).

Utilizou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso, com parcelas subdivididas e três repetições. As parcelas foram compostas pelas plantas de cobertura (12x8m) e as subparcelas (12x4 m), pela aplicação ou não de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. A área do experimento totaliza 3.420 m².

As amostragens do solo para análises das concentrações de amônio (N-NH₄⁺) e nitrato (N-NO₃⁻) foram realizadas em duas épocas: em abril de 2016 (06.04.16, final do ciclo do milho, final do período chuvoso) e em novembro de 2016 (16.11.16, antes do plantio do milho, início do período chuvoso).

Foram retiradas amostras compostas com cinco sub-amostras por subparcelas (com e sem aplicação de N em cobertura), nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm. Os teores de amônio (NH₄⁺) e nitrato (NO₃⁻) no solo foram quantificados para cada uma dessas profundidades e para as datas avaliadas estimou-se ainda a quantidade média total multiplicando-se a média de cada data por 60, referente aos 60 cm de solo.

A determinação do nitrogênio mineral do solo nas formas de NO_3^- e NH_4^+ foi realizada com a extração em 50 mL de KCl 2 mol L^{-1} , segundo o método proposto por Bremner e Mulvaney (1982) e analisado por colorimetria no LachatQuikchem FIA QC8500, série 2. Para a umidade de cada amostra foi determinada pelo método gravimétrico.

Foram coletadas amostras da palhada logo depois da colheita do milho com amostradores de ferro (0,38m x 0,58m). As amostras foram secas a 65°C até peso constante. Uma subamostra de 500 g foi pesada para quantificar a massa seca, e convertida para kg por hectare. Parte das amostras secas foi triturada e 3g foram pesadas e colocadas em cadinhos de porcelana e mantidas em estufa a 105°C por 8 horas. A matéria seca foi calculada pela diferença entre o peso da amostra antes e depois da secagem a 105°C. A concentração de N no tecido foliar da palhada, foi analisada colorimetricamente com um Lachat 228 Quikchem FIA (Lachat Instruments, 5600 Lindburg Drive, Loveland CO 80539 USA).

As análises de matéria seca a 105°C, teores de fibra em detergente ácido (FDA), de fibra em detergente neutro (FDN) e lignina foram realizadas de acordo com o método sequencial (Robertson e Van Soest 1981). As concentrações de hemicelulose e celulose foram determinadas pelas diferenças entre FDN e FDA e entre FDA e lignina, respectivamente.

Foi feita a análise de variância, com dados repetidos ao longo do tempo (início e final da estação chuvosa) e espaço (0-5; 5-10; 10-20; 20-40; 40-60 cm) para avaliar os efeitos das espécies vegetais, da aplicação de N, das profundidades de solo e das épocas de amostragem, além das interações entre esses fatores. As análises estatísticas foram realizadas no Programa R versão 3.5.0.

5.2 Resultados e discussão

A composição química das plantas de cobertura está apresentada na Tabela 5. O teor de hemicelulose foi semelhante entre as plantas de cobertura, com exceção do nabo forrageiro que apresentou os menores valores (87,22 g kg^{-1}). Os teores de celulose foram maiores na mucuna-preta e na crotalária juncea. Os teores de lignina foram maiores na mucuna-preta e no guandu,

assim como na razão lignina:N. Por outro lado, o teor de nitrogênio diferiu somente entre o guandu (20,91%) e a mucuna-preta (17,99%).

Tabela 5. Teor de hemicelulose (HEM), celulose (CEL), lignina (LIG), lignina:N (LIG:N) e nitrogênio (N) das plantas de cobertura, com CN) e sem (SN) adubação de cobertura na cultura do milho.

Planta de cobertura	HEM	CEL	g kg ⁻¹		N (%)
			LIG	LIG:N	
Mucuna-preta	131,95 a	253,12 a	70,08 a	3,97 a	17,99 b
Nabo-forageiro	87,22 b	213,17 b	46,56 b	2,45 b	19,03 ab
Guandu	124,99 a	195,59 b	85,49 a	4,12 a	20,91 a
Crotalária juncea	135,14 a	274,05 a	47,08 b	2,37 b	19,83 ab
Nitrogênio					
CN	123,52 a	234,05 a	61,22 a	3,10 a	19,77 a
SN	116,52 a	233,91 a	63,75 a	3,26 a	19,11 a

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05)

Observaram-se efeitos significativos das datas de coleta e das camadas de solo estudadas nos teores de N mineral (N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻) para os tratamentos avaliados (Tabelas 7 a 11). D'Andréa et al., 2004), também encontrou efeito significativo da profundidade e, em todos os sistemas estudados: cerrado nativo (CER), pastagem (PAS), plantio direto com milho e feijão (PD1), plantio direto com milho, feijão, arroz e tomate para indústria (PD2), plantio convencional de longa duração (PC1) e plantio convencional recente após pastagem (PC2), no nitrogênio mineral (D'Andréa et al., 2004).

Os teores de N-NH₄⁺ diferiram no final do ciclo do milho e início do período chuvoso nos tratamentos com e sem N, enquanto o N-NO₃⁻ diferiu para o tratamento sem N, e no manejo com N apenas sob a presença de crotalária juncea (p < 0,05) (Tabela 6). O cultivo do milho sem N em cobertura (SN) e no final do período chuvoso, houve diferença entre mucuna-preta e nabo-forageiro para o N-NO₃⁻ (Tabela 6), podendo isso ser justificado devido ao fato da mucuna-preta apresentar menor teor de lignina e relação lignina/N dentre as plantas avaliadas embora não tenha havido diferença estatística entre elas.

Tabela 6. Teor (mg kg^{-1}) de amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-) no solo sob uso de diferentes plantas de cobertura que receberam aplicação de N em cobertura (CN) e sem aplicação de N em cobertura (SN), no final e início do período chuvoso. Planaltina-DF, 2015/2016.

Planta de Cobertura	Amônio (N-NH_4^+)		Nitrato (N-NO_3^-)	
	Final das chuvas	Início chuvas	Final da chuvas	Início chuvas
	mg kg^{-1}		mg kg^{-1}	
CN				
Mucuna-preta	2,58 aB	3,45 aA	4,09 aA	5,64 aA
Nabo-forrageiro	3,90 aB	4,58 aA	4,08 aA	5,43 aA
Guandu	3,11 aB	4,06 aA	3,77 aA	3,24 aA
Crotalária juncea	2,44 aB	4,43aA	5,34 aA	2,52 aB
Média	3,01 (180,6)*	4,13 (247,8)	4,32 (259,2)	4,21 (252,6)
CV%1		41,16		48,89
CV%2		62,19		74,34
SN				
Mucuna-preta	2,43 aB	3,83 aA	4,16 aB	5,35 aA
Nabo-forrageiro	3,01 aB	4,44 aA	2,17 bB	3,79 aA
Guandu	2,72 aB	4,45 aA	2,92 abB	4,09 aA
Crotalária juncea	2,46 aB	4,47 aA	2,74 abB	3,37 aA
Média	2,65 (159)	4,30 (258)	3,00 (180)	4,15 (249)
CV%1		55,63		49,07
CV%2		55,86		70,20

Médias seguidas de letras diferentes, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. CV%1: tratamento, CV%2: data; ¹06.04.16; ² 16.11.16. *Os números entre parêntese são os valores médios de amônio ou nitrato, multiplicados pela camada de solo estudada (60 cm).

As análises realizadas nos resíduos culturais do milho não demonstraram diferença significativa para as plantas de cobertura avaliadas (Tabela 7), podendo a palhada do milho ter

mascardo as diferenças nos resultados das plantas de cobertura. Foram obtidas somente diferenças entre os tratamentos CN e SN.

Tabela 7. Nitrogênio Total (g kg^{-1}), hemicelulose (g kg^{-1}), celulose (g kg^{-1}), lignina (g kg^{-1}), e lignina:N nos resíduos culturais do milho.

Plantas de cobertura	NT	Hemicelulose	Celulose	Lignina	Lignina/N
g kg^{-1}					
Mucuna-preta	6,61 a	285,42 a	388,60 a	52,24 a	8,36 a
Nabo-forrageiro	6,08 a	288,60 a	417,26 a	56,99 a	9,55 a
Guandu	6,12 a	280,15 a	418,69 a	58,56 a	9,77 a
Crotalaria juncea	6,31 a	285,08 a	406,30 a	52,60 a	8,64 a
CN	6,96 a	290,13 a	398,30 a	53,98 a	7,95 b
SN	5,60 b	279,50 a	417,12 a	56,21 a	10,21 a
CV% ⁽¹⁾	16,81	5,87	4,54	8,58	21,80
CV% ⁽²⁾	14,40	5,40	4,95	11,72	19,96

Médias seguidas por letras iguais não se diferem pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). ⁽¹⁾ Coeficiente de variação relacionada com plantas de cobertura. ⁽²⁾ Coeficiente de variação do efeito de fertilização.

O uso de diferentes espécies de plantas de cobertura tem potencial distinto de acúmulo e mineralização de nutrientes, principalmente, nitrogênio cuja dinâmica e mineralização depende da razão C/N e lignina/N do material vegetal que está sendo aportado no solo. A mineralização dos resíduos vegetais depende das características das plantas, principalmente, quanto à razão C/N, teor de lignina e razão lignina/N (Silva et al., 2014; Soares et al., 2019). Plantas que possuem baixa razão C/N tendem a se decompor mais rapidamente, aumentando a mineralização de N e demais nutrientes (Carvalho et al., 2008; Silva et al., 2014; Moreira et al., 2014; Carvalho et al., 2015).

O teor de lignina associado ao de nitrogênio (lignina:N) dos resíduos vegetais está diretamente relacionado com a velocidade de sua decomposição. Menores concentrações de lignina e maior razão lignina/N resultam em decomposição mais acelerada de resíduos vegetais, ciclagem eficiente de nutrientes e maior produtividade da cultura subsequente, principalmente

em relação ao nitrogênio (Carvalho et al., 2011; 2012; 2015) (Tabela 5). No presente trabalho, o guandu e a mucuna, por possuírem maiores teores de lignina e lignina:N, podem ter promovido decomposição mais lenta dos resíduos vegetais e assim contribuído com alterações na dinâmica de decomposição dos resíduos na superfície do solo e promovido menores teores de amônio, principalmente na camada de 0-5 cm (Tabela 8)

As parcelas sem fertilização de N (SN) em cobertura, considerando as datas avaliadas mostraram que para N-NH_4^+ e N-NO_3^- foram observados maiores valores no início das chuvas, e que as espécies nessa época não diferiram entre si (Tabela 6). Assim, independentemente da data avaliada, espécie utilizada e prática de manejo (com ou sem N) houve o predomínio maior de nitrato no solo, assim como observado por D'Andréa et al. (2004)

O cultivo de leguminosas em sucessão ao milho proporciona maior quantidade de N à cultura, além de melhor aproveitamento do N proveniente do fertilizante nitrogenado, dependendo da razão C/N e lignina/N, que poderá promover uma melhor sincronia entre a mineralização do N e sua absorção pela cultura (Collier et al., 2006; Silva et al., 2006; Albuquerque et al., 2013, Carvalho et. al, 2015).

Segundo Carvalho et al. (2015) as maiores produtividades observadas na cultura do milho em sucessão a plantas de cobertura estão relacionadas à decomposição mais acelerada dos resíduos vegetais de algumas espécies, as quais são associadas à quantidade de matéria seca produzida. A eficiência de todo esse processo ocorre quando existe sincronismo entre a liberação de N dos resíduos vegetais das plantas de cobertura e o período de maior demanda pela planta (Pacheco et al., 2011).

Houve efeito das datas estudadas ($p < 0,05$) nos teores de amônio e nitrato no solo. Os teores de amônio e nitrato nas datas avaliadas, apresentaram incrementos nos valores médios de 62% e 38%, respectivamente, do final do período chuvoso (final do ciclo da cultura do milho) ao início da próxima época chuvosa (antes do plantio do milho) quando não houve aplicação de N em cobertura (Tabela 6). Esse comportamento no tratamento onde não houve aplicação de N em cobertura no milho reflete a mineralização do resíduos vegetais das plantas de cobertura a partir do início das chuvas em setembro, com acúmulo de 267,5 mm. Porém, essa quantidade

de água acumulada, possivelmente, não foi suficiente para completar o processo de nitrificação e por isso o incremento de 62% de amônio e menos de nitrato.

Porém, ao utilizar N em cobertura na cultura do milho, os valores de amônio foram incrementados em 38%, enquanto o nitrato praticamente não foi alterado, com retração de 2,7%, na média. E no caso da aplicação de N, a fonte aplicada de N é uréia o que favorece a presença de amônio, e não favorece a nitrificação porque o N está sendo fornecido via fertilizantes inibindo o processo de mineralização dos resíduos vegetais.

Para o manejo com aplicação de N em cobertura, obteve-se que os teores de nitrato apresentaram maiores valores que os de amônio, no final e início das chuvas. Em média, os teores de nitrato foram de 259 e 252 mg kg⁻¹ e os de amônio foram de 180 e 248 mg kg⁻¹, no final e início das chuvas, respectivamente (Tabela 6).

Sem aplicação de N em cobertura, os maiores valores de nitrato no início das chuvas se deve ao processo de nitrificação, devido às condições favoráveis, principalmente de umidade (267,5 mm), além da qualidade de substrato (C/N e lignina/N) favoráveis às bactérias nitrificantes. Os teores de amônio também aumentaram devido às mesmas condições favoráveis a essa mineralização.

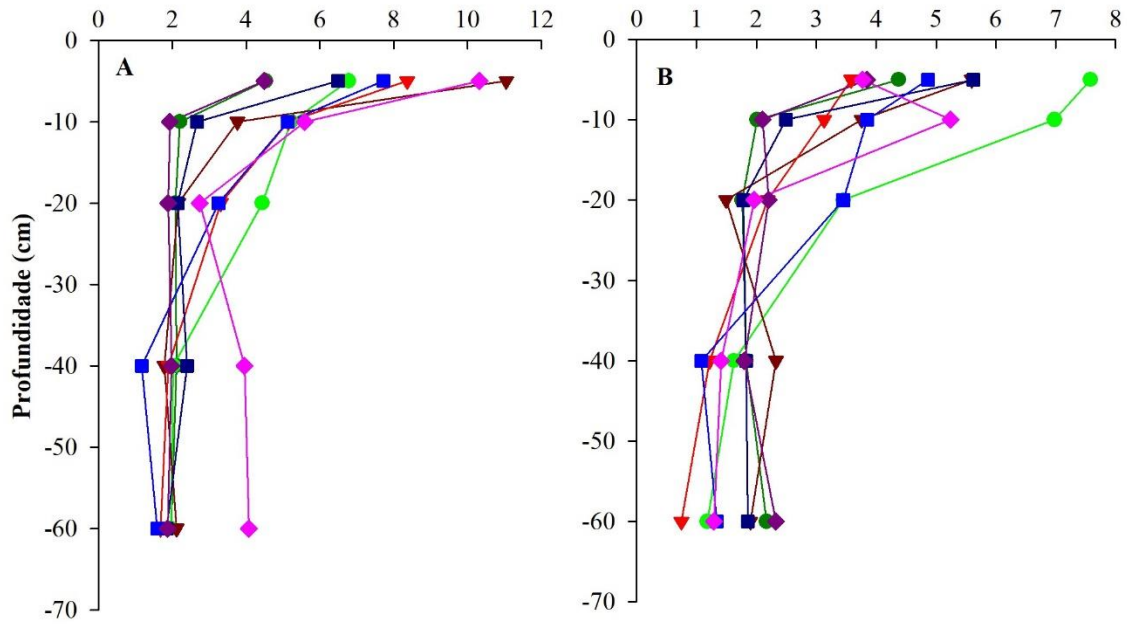
Com aplicação de N em cobertura, o processo de nitrificação se manteve similar ao tratamento sem aplicação devido às condições favoráveis de umidade e qualidade de substrato (C/N e lignina/N), porém, o amônio aumentou 68 mg kg⁻¹ do final do ciclo do milho (final das chuvas) para o início das chuvas também devido ao processo de mineralização, já que a cultura do milho absorveu grande parte de amônio da aplicação via ureia.

O manejo sem aplicação de N em cobertura, apresentou nitrato com maiores teores no solo no final das chuvas (em média 180 mg kg⁻¹), quando comparado ao amônio (média de 159 mg kg⁻¹). No início das chuvas, os teores médios de nitrato e amônio cresceram em relação ao final das chuvas, e atingiram valores de 249 e 258 mg kg⁻¹, respectivamente.

A distribuição de nitrogênio mineral (N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻) no perfil do solo de 0-60 cm de profundidade, com e sem aplicação de N em cobertura, nas datas de final e início do período chuvoso, encontra-se apresentada nas Figuras 15A, B, C e D e Tabelas 7, 8, 9 e 10.

Os teores de nitrato foram maiores na camada superficial dos sistemas com culturas anuais e decresceram em profundidade, com valores médios na camada de 0–10 cm de 39,02 mg kg⁻¹, valor próximo ao obtido por D'Andréa et al. (2004), que foi de 32,11 mg kg⁻¹ que também observaram maiores valores de nitrato na camada superficial e predomínio de amônio no cerrado nativo e na pastagem ao longo de praticamente todo o perfil.

Abril 2016
N mineral (mg kg^{-1})



Novembro 2016
N mineral (mg kg^{-1})

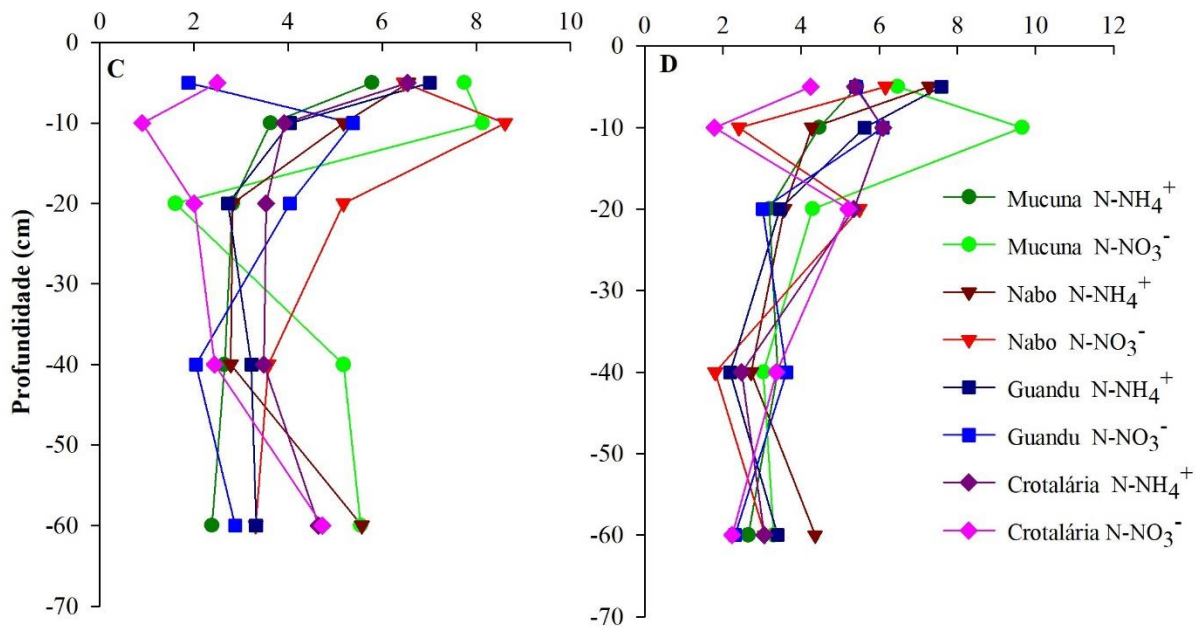


Figura 15. Teores (mg kg^{-1}) de N-NH_4^+ e N-NO_3^- em diferentes profundidades do solo sob espécies vegetais no final do período chuvoso A - Com Nitrogênio (CN) e B - Sem Nitrogênio (SN); no início do período chuvoso C - Com Nitrogênio (CN) e D - Sem Nitrogênio (SN) - Planaltina-DF.

No final do período chuvoso (Abril de 2016), nos tratamentos CN, para cada profundidade, os teores de amônio foram maiores ($p < 0,05$) somente na camada de 0-5 cm, para o solo sob nabo- forrageiro. Nas outras profundidades, não houve diferença significativa entre as plantas de cobertura no teor de amônio (Tabela 8). Por outro lado, para o solo sob mucuna-preta e guandu, os teores de NH_4^+ foram menores na camada de 0-5 cm e semelhante nas outras camadas de solo). No presente trabalho, o guandu e a mucuna, por possuírem maiores teores de lignina e lignina:N, podem ter promovido decomposição mais lenta dos resíduos vegetais e podem ter contribuído com alterações na dinâmica de decomposição dos resíduos na superfície do solo e promovido menores teores de amônio, principalmente na camada de 0-5 cm (Tabela 8)

Os teores de nitrato no solo foram semelhantes entre todas as plantas de cobertura em cada profundidade estudada, mas entre as profundidades, os teores de nitrato foram menores a partir da camada de 10-20 cm, comparados com a de 0-5 cm, para todas as plantas de cobertura (Tabela 8, Figura 15A).

Tabela 8. Média dos teores (mg kg^{-1}) de amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-) no solo sob uso de diferentes plantas de cobertura que receberam aplicação de N em cobertura (CN) após a colheita do milho no final do período chuvoso (Abril de 2016). Planaltina-DF, 2015/2016.

Profundidade	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	20-40 cm	40-60 cm
Espécie	Teor de Amônio (NH_4^+) mg kg^{-1}				
Mucuna-preta	4,53 bA	2,21 aA	2,08 aA	2,12 aA	1,96 aA
Nabo-forrageiro	11,05 aA	2,36 aB	2,17 aB	1,78 aB	2,11 aB
Guandu	6,50 bA	2,67 aB	2,15 aB	2,41 aB	1,84 aB
Crotalária juncea	4,50 bA	1,94 aA	1,89 aA	1,98 aA	1,87 aA
CV%1	48,50				
CV%2	42,24				
Espécie	Teor de Nitrato (NO_3^-) mg kg^{-1}				
Mucuna-preta	6,78 aA	5,23 aAB	4,44 aB	2,03 aB	1,97 aB
Nabo-forrageiro	8,37 aA	5,14 aAB	3,31 aB	1,90 aB	1,68 aB
Guandu	7,72 aA	5,13 aAB	3,26 aB	1,17 aB	1,59 aB
Crotalária juncea	10,33 aA	5,59 aAB	2,74 aB	3,96 aB	4,08 aB
CV%1	55,57				
CV%2	67,28				

Médias seguidas de letras diferentes, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. CV%1: tratamento, CV%2: profundidade.

No final do período chuvoso (Abril de 2016), sem adubação de cobertura no milho (SN), os teores de amônio no solo foram semelhantes ($p < 0,05$) entre as plantas de cobertura para todas as profundidades (Tabela 9, Figura 15B).

Tabela 9. Média dos teores (mg kg^{-1}) de amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-) no solo sob uso de diferentes plantas de cobertura que não receberam aplicação de N em cobertura (SN) após a colheita do milho no final do período chuvoso (Abril de 2016). Planaltina-DF, 2015/2016.

Profundidade	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	20-40 cm	40-60 cm
Espécie	Teor de Amônio (NH_4^+) mg kg^{-1}				
Mucuna-preta	4,37 aA	2,01 aB	1,76 aB	1,83 aB	2,17 aB
Nabo-forrageiro	5,59 aA	3,76 aB	1,49 aB	2,33 aB	1,90 aB
Guandu	5,62 aA	2,49 aB	1,78 aB	1,83 aB	1,86 aB
Crotalária juncea	3,85 aA	2,11 aB	2,21 aB	1,80 aB	2,33 aB
CV% 1	27,01				
CV% 2	49,07				
Espécie	Teor de Nitrato (NO_3^-) mg kg^{-1}				
Mucuna-preta	7,58 aA	6,98 aA	3,45 aB	1,63 aB	1,18 aB
Nabo-forrageiro	3,59 bA	3,13 bA	2,19 bB	1,21 bB	0,75 bB
Guandu	4,87 abA	3,85 abA	3,45 abB	1,08 abB	1,34 abB
Crotalária juncea	3,78 abA	5,24 abA	1,96 abB	1,42 abB	1,29 abB
CV% 1	42,61				
CV% 2	48,40				

Médias seguidas de letras diferentes, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. CV% 1: tratamento, CV% 2: profundidade.

A avaliação de cada planta de cobertura nas diferentes profundidades mostrou maiores valores de amônio ($p < 0,05$) somente na camada de 0-5 cm para todas as plantas de cobertura. Os teores de nitrato foram maiores no solo sob mucuna-preta comparado com o nabo-forrageiro em todas as profundidades estudadas. Os teores de nitrato no solo sob cada planta de cobertura, diminuíram ($p < 0,05$) a partir da camada de 10-20 cm (Tabela 9, Figura 15B).

A adição ou não de nitrogênio na cultura do milho, CN e SN, respectivamente, sob as diferentes plantas de cobertura alteraram a dinâmica do nitrato e amônio no solo sob as diferentes plantas de cobertura, mostrando que nos tratamentos CN, os teores de nitrato foram

maiores sob mucuna que no nabo forrageiro na camada mais superficial e nos tratamentos SN, essas culturas se alteraram, com maiores valores no solo para amônio sob nabo-forrageiro, em todas as profundidades estudadas (Tabela 9, Figura 15B).

D'Andréa et al. (2004), verificaram que as formas de N mineral no solo, nitrato e amônio, sofreram influência marcante dos sistemas de manejo avaliados (cerrado nativo (CER), pastagem (PAS), plantio direto com milho e feijão (PD1), plantio direto com milho, feijão, arroz e tomate para indústria (PD2), plantio convencional de longa duração (PC1) e plantio convencional recente após pastagem (PC2)). Apesar de as medições terem sido feitas em apenas no final do período chuvoso de 2000, o que poderia dificultar a interpretação dos resultados em face do elevado dinamismo deste nutriente no solo, os teores de amônio foram mais elevados no cerrado nativo, assumindo valores significativamente menores em todos os sistemas avaliados, tanto sob plantio direto como convencional, até a profundidade de 20 cm. O amônio predominou no cerrado nativo e na pastagem ao longo de praticamente todo o perfil, enquanto os teores de nitrato foram maiores na camada superficial dos sistemas com culturas anuais (D'Andréa et al., 2004).

No início do período chuvoso, sob adubação em cobertura do milho (CN), os teores de amônio foram semelhantes entre as plantas de cobertura em todas as profundidades estudadas, mas considerando-se as camadas de solo, os teores de amônio diminuíram a partir da camada de 5-10 cm, para todas as plantas de cobertura (Tabela 10, Figura 15C).

Os teores de nitrato também foram semelhantes entre as plantas de cobertura em cada profundidade estudada, mas diferentemente dos teores de amônio no solo, não houve diferença significativa entre os teores de nitrato entre as profundidades estudadas em todas as plantas de cobertura.

Tabela 10. Média dos Teores (mg kg^{-1}) de amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-) no solo sob uso de diferentes plantas de cobertura que receberam aplicação de N em cobertura (CN) após o corte das plantas de cobertura, no início do período chuvoso (Novembro de 2016). Planaltina-DF, 2015/2016.

Profundidade	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	20-40 cm	40-60 cm
Espécie	Teor de Amônio (NH_4^+) mg kg^{-1}				
Mucuna-preta	5,78 aA	3,62 aB	2,82 aB	2,65 aB	2,38 aB
Nabo-forrageiro	6,56 aA	5,18 aB	2,82 aB	2,78 aB	5,57 aB
Guandu	7,01 aA	4,04 aB	2,72 aB	3,22 aB	3,32 aB
Crotalária juncea	6,54 aA	3,93 aB	3,53 aB	3,48 aB	4,65 aB
CV% 1	33,84				
CV% 2	35,06				
Espécie	Teor de Nitrato (NO_3^-) mg kg^{-1}				
Mucuna-preta	7,74 aA	8,13 aA	1,60 aA	5,18 aA	5,55 aA
Nabo-forrageiro	6,46 aA	8,61 aA	5,17 aA	3,58 aA	3,31 aA
Guandu	1,88 aA	5,38 aA	4,04 aA	2,04 aA	2,88 aA
Crotalária juncea	2,50 aA	0,91 aA	2,01 aA	2,44 aA	4,73 aA
CV% 1	59,93				
CV% 2	58,18				

Médias seguidas de letras diferentes, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. CV% 1: tratamento, CV% 2: profundidade.

No início do período chuvoso e nos tratamentos SN, similarmente, ao CN, não houve diferença entre os teores de amônio para cada planta de cobertura, em cada profundidade estudada, por outro lado, os teores de amônio, em geral, diminuiram nas camadas mais profundas do solo (Tabela 11, Figura 15D). Os teores de nitrato foram semelhantes entre as plantas de cobertura em cada profundidade, com exceção de 5-10 cm, em que os teores de nitrato no solo foram maiores no solo sob mucuna preta, comparado com o nabo forrageiro e a crotalária juncea. Entre as camadas de solo, as plantas de cobertura tiveram comportamento semelhante,

com exceção da mucuna que houve diminuição dos teores de nitrato, a partir da camada de 10-20 cm.

Tabela 11. Média dos Teores (mg kg^{-1}) de amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-) no solo sob uso de diferentes plantas de cobertura que não receberam aplicação de N em cobertura (SN) após o corte das plantas de cobertura, no início do período chuvoso (Novembro de 2016). Planaltina-DF, 2015/2016.

Profundidade	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	20-40 cm	40-60 cm
Espécie	Teor de Amônio (NH_4^+) mg kg^{-1}				
Mucuna-preta	5,43 aA	4,46 aAB	3,19 aBC	3,40 aC	2,65 aBC
Nabo-forrageiro	7,27 aA	4,28 aAB	3,57 aBC	2,72 aC	4,36 aBC
Guandu	7,59 aA	5,62 aAB	3,45 aBC	2,18 aC	3,40 aBC
Crotalária juncea	5,38 aA	6,11 aAB	5,35 aBC	2,48 aC	3,06 aBC
CV% 1	50,60				
CV% 2	36,15				
Espécie	Teor de Nitrato (NO_3^-) mg kg^{-1}				
Mucuna-preta	6,47 aAB	9,65 aA	4,30 aB	3,04 aB	3,30 aB
Nabo-forrageiro	6,16 aA	2,41 bA	5,50 aA	1,80 aA	3,08 aA
Guandu	5,41 aA	6,09 abA	3,01 aA	3,62 aA	2,31 aA
Crotalária juncea	4,25 aA	1,80 bA	5,21 aA	3,37 aA	2,24 aA
CV% 1	65,45				
CV% 2	50,05				

Médias seguidas de letras diferentes, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. CV% 1: tratamento, CV% 2: profundidade.

As alterações nos teores de nitrato e amônio nas diferentes datas e nos tratamentos SN e CN podem ter ocorrido, possivelmente pelas alterações no conteúdo e composição química da matéria orgânica e atividade microbiana nesta camada de solo (Silva & Mendonça, 2007). Nas camadas subsuperficiais, em especial na profundidade de 40-60 cm, as diferenças nos resultados do N mineralizado acumulado são menos evidentes, possivelmente pela presença de MOS em

frações relativamente estabilizadas (substâncias húmicas), não sendo facilmente atacadas pelos microrganismos do solo (Qualls, 2004).

D'Andréa et al. (2004), verificaram que as formas de N mineral no solo, nitrato e amônio, sofreram influência marcante dos sistemas de manejo avaliados (cerrado nativo (CER), pastagem (PAS), plantio direto com milho e feijão (PD1), plantio direto com milho, feijão, arroz e tomate para indústria (PD2), plantio convencional de longa duração (PC1) e plantio convencional recente após pastagem (PC2)).

No estudo feito por D'Andréa et al. (2004), apesar das medições terem sido feitas apenas no final do período chuvoso em fevereiro de 2000, o que poderia dificultar a interpretação dos resultados em face do elevado dinamismo do nitrogênio mineral no solo, os teores de amônio foram mais elevados no cerrado nativo, assumindo valores significativamente menores em todos os sistemas avaliados, tanto sob plantio direto como convencional, até a profundidade de 20 cm. No solo sob pastagem (PAS) os teores de amônio foram menores que no cerrado nativo somente na camada superficial (D'Andréa et al., 2004).

Mariano et al. (2013), verificaram aumento abrupto de N mineralizado durante os períodos iniciais de incubação aeróbica, especialmente para amostras de solo da profundidade de 0-20 cm quando comparado as profundidades do subsolo.

5.3 Conclusão

As espécies de plantas de cobertura estudadas, em geral, apresentam diferentes habilidades para utilizar e liberar nitrogênio sob a forma mineral no solo. Seu teor de lignina e lignina:N podem ser características importantes ao se considerar o N no solo.

A forma predominante de N-mineral no solo foi o nitrato. Independente do manejo com ou sem N, o início das chuvas representa o período com os maiores teores de nitrato e amônio no solo, provavelmente em função dos resíduos culturais e do histórico de manejo.

Entre as profundidades, os teores de nitrato foram menores a partir da camada de 10-20 cm, comparados com a de 0-5 cm, para todas as plantas de cobertura

Entre as espécies estudadas, a mucuna-preta apresentou concentração de N-mineral mais elevada no solo.

5.4 Referências Bibliográficas

ALBUQUERQUE, A. W. de; SANTOS, J. R.; MOURA FILHO, G.; REIS, L. S. Plantas de cobertura e adubação nitrogenada na produção de milho em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, p.721-726, 2013.

CANTARELLA, H; MARCELINO, R. Fontes alternativas de nitrogênio para a cultura do milho. In FANCELLI, A.L. (Ed). Milho nutrição e adubação. Piracicaba SP: Esalq/USP, 2008. p.36-55.

CARVALHO, A. M.; AMABILE, R. F. **Cerrado**: Adubação verde. Brasília, DF: Embrapa Cerrados, 2006.

CARVALHO A. M., BUSTAMANTE M. M. C.; SOUSA JUNIOR, J. G. A.; VIVALDI, L. J. Decomposition of plant residues in Latosol under corn crop and cover crops. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.2831-2838, 2008. DOI:10.1590/S0100-06832008000700029

CARVALHO, A. M.; COELHO, C. M.; DANTAS, R. A. de; FONSECA, O. P.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; FIGUEIREDO, C. C. Chemical composition of cover plants and its effect on maize yield in no-tillage systems in the Brazilian savanna. **Crop and Pasture Science**, v.63, p.1075-1081, 2012. DOI:10.1071/CP12272

CARVALHO, A. M. de; COSER, T. R.; DANTAS, R. A. de; REIN, T. A.; SILVA, R. R.; SOUZA, K. W. Manejo de plantas de cobertura na floração e na maturação fisiológica e seu efeito na produtividade do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** (Online), v.50, p.551-561, 2015.

CARVALHO, A. M. de, SOUZA, L. L. P., GUIMARÃES JÚNIOR, R., ALVES, P. C. A. C., VIVALDI, L. J., 2011. Cover plants with potential use for crop-livestock integrated systems in the Cerrado region. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1200–1205. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000012>

COLLIER, L. S.; CASTRO, D. V.; DIAS NETO, J. J.; BRITO, D. R.; RIBEIRO, P. A. de A. Manejo da adubação nitrogenada para o milho sob palhada de leguminosas em plantio direto em Gurupi, TO. **Ciência Rural**, v.36, p.1100-1105, 2006.

CRUSCIOL, C. A. C.; GARCIA, R. A.; CASTRO, G. S. A.; ROSOLEM, C. A. Nitrate role in basic cation leaching under no-till. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, n.6, p.1975-1984, 2011.

CRUVINEL, E. B. F.; BUSTAMANTE, M. M. C.; KOSOVITS, A. R.; ZEPP, R. G. Soil emissions of NO, N₂O and CO₂ from croplands in the Savanna region of central Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.144, n.1, p.29-40, 2011.

D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; GUILHERME, L. R. G. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de N-mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.179-186, 2004. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2004000200012>

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa do Solo. Sistema brasileiro de classificação de solos. 5.ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2018. 356p.

JUSTINO, G. C.; CAMBRAIA, J.; OLIVA, M. A.; OLIVEIRA, J. A. de. Absorção e redução de nitrato em duas cultivares de arroz na presença de alumínio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.41, n.8, p.1285-1290, 2006.

MARIANO, E.; TRIVELIN, P. C. O.; LEITE, J. M.; XAVIER, M.; MEGDA, V.; OTTO, R.; FRANCO, H. C. J. Incubation methods for assessing mineralizable nitrogen in soils under sugarcane. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p.450-461, 2013.

MORO, E.; CRUSCIOL, C.A.C.; NASCENTE, A. S.; CANTARELLA, H. Teor de nitrogênio inorgânico no solo em função de plantas de cobertura, fontes de nitrogênio e inibidor de nitrificação. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.43, n.4, p.424-435, 2013.

NASCENTE, A. S.; LI, Y.; CRUSCIOL, C. A. C. Cover crops and no-till effects on physical fractions of soil organic matter. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.130, n.1, p.52-57, 2013a.

NASCENTE, A. S.; CRUSCIOL, C. A. C. Cover crops affecting levels of ammonium and nitrate in the soil and upland rice development. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.34, n.5, p.2189-2202, 2013b.

PACHECO, L. P.; BARBOSA J. M.; LEANDRO, W. M.; MACHADO, P. L. O. A.; ASSIS, R. L.; BEÁTA EMOKE MADARI, B. E.; PETTER, F. A. Produção e ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura nas culturas de arroz de terras altas e de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.35, p.1787-1799, 2011.

QUALLS, R. G. Biodegradability of humic substances and other fractions of decomposing leaf litter. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.68, p.1705-1712, 2004.

ROBERTSON, J. B.; VAN SOEST, P. J. The detergent system of analysis and its application to humans foods. In: JAMES, H.P.T., THEANDER, O. (Ed). **The analysis of dietary fiber in food**. New York: Marcel Dekker, p.123-158, 1981.

SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M. de C.; VENZKE FILHO, S. DE P.; FEIG, B. J.; CERRI, C. C. Mineralização e desnitrificação do nitrogênio no solo sob sistema plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v.69, n.4, p.923-936, 2010. Dec. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052010000400019>

SILVA, E. D.; AMBROSANO, E.; SCIVITTARO, W.; MURAOKA, T.; BUZETTI, S.; CARVALHO, A. Adubação verde como fonte de nutrientes às culturas. In: LIMA FILHO, O. F. DE L.; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. C. (ed). **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil**. Brasília: Embrapa, p.265-305. 2014.

SILVA, E. C. da; MURAOKA, T.; BUZETI, S.; VELOSO, M. E. C.; TRIVELIN, P. C. O. Aproveitamento do nitrogênio (15 N) da crotalaria e do milheto pelo milho sob plantio direto em Latossolo Vermelho de Cerrado. **Ciência Rural**, v.36, p.739-746, 2006.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade solo solo**. Viçosa: UFV, p.275-374, 2007.

SOARES, D. S.; GEROSA, M. L.; Marchão, R. L.; MACIEL, G. A.; OLIVEIRA, A. D. de; MALAQUIAS, J. V.; CARVALHO, A. M. de. How diversity of crop residues in long-term no-tillage systems affect chemical and microbiological soil properties. **Soil & Tillage Research**, v.194, p.1-12, 2019.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. (editores). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2.ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416p.: il, (algumas color.).

STEIN, L. Y.; MARTIN, G. K. The nitrogen cycle. **Current Biology**. v.26, n.3, R94-R98, 2016. DOI:10.1016/j.cub.2015.12.021

CAP. 3 – FRAÇÕES DE CARBONO NO SOLO CULTIVADO COM MILHO E PLANTAS DE COBERTURA NO CERRADO

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar as frações de carbono no solo cultivado com milho no sistema plantio direto com ou sem nitrogênio em cobertura no milho e em sucessão às plantas de cobertura no Cerrado. O experimento foi conduzido na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF (Brasil). O delineamento experimental foi em blocos ao acaso e em parcelas subdivididas com três repetições. As plantas de cobertura representaram as parcelas, e a aplicação de N em cobertura, as subparcelas. As seguintes espécies de plantas de cobertura foram cultivadas em sucessão ao milho (híbrido 30F53VYHR): guandu 'BRS mandarim' [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.]; crotalária juncea (*Crotalaria juncea* L.); nabo-forageiro (*Raphanus sativus* L.) e mucuna-preta (*Mucuna aterrima* Merr.). Após a colheita das culturas de cobertura foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm e, após a colheita do milho foram coletados os resíduos culturais na superfície do solo. As plantas de cobertura alteram as frações químicas e físicas do solo, principalmente o ácido fúlvico (AF) e o carbono orgânico particulado do solo. A adição de N em cobertura diminuiu o ácido fúlvico e aumentou a razão ácido húmico/ácido fúlvico (AH/AF) e o carbono orgânico particulado na camada mais de 10-20 cm do solo.

Termos para indexação: Manejo conservacionista, fertilização, dinâmica de nutrientes, adubo verde, carbono do solo.

CARBON FRACTIONS IN SOIL UNDER NO-TILL MAIZE AND COVER CROPS IN THE CERRADO

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the carbon fractions in the soil cultivated with corn in the no-tillage system with or without nitrogen in cover in corn and in succession to cover

plants in the Cerrado. The experiment was conducted at Embrapa Cerrados, Planaltina, DF (Brazil). The experimental design was in randomized blocks and in split plots with three replications. The cover plants represented the plots, and the application of N in cover, the subplots. The following species of cover crops were grown in succession to corn (hybrid 30F53VYHR): pigeonpea 'BRS mandarin' [*Cajanus cajan* (L.) Millsp]; sunn hemp (*Crotalaria juncea* L.); oilseed radish (*Raphanus sativus* L.) and black mucuna (*Mucuna aterrima* Merr.). After harvesting the cover crops, soil samples were collected at depths of 0-10 and 10-20 m and, after the corn harvest, cultural residues were collected on the soil surface. The cover plants alter the chemical and physical fractions of the soil, mainly fulvic acid (FA) and the particulate organic carbon of the soil. The addition of N in cover decreased fulvic acid and increased the humic acid / fulvic acid (HA / FA) ratio and the particulate organic carbon in the layer more than 10-20 cm from the soil.

Index terms: Conservation management, fertilization, nutrient dynamics, green manure, soil carbon.

6 INTRODUÇÃO

O milho é uma das culturas mais relevantes do mundo e em Goiás, a produção do milho primeira safra atingiu 2.218,4 mil toneladas, com produtividades confirmadas, atingindo 7.980 kg ha⁻¹ (CONAB, 2020).

O cultivo de milho em sucessão às plantas de cobertura (Carvalho et al., 2015; Wittwer et al., 2017) no Cerrado mantém o solo coberto na entressafra (Carvalho et al., 2016; Pissinati et al., 2018), protegendo-o contra a erosão (Anache et al., 2018). Conseqüentemente, promove estabilidade de agregados (Nascimento et al., 2019), incrementa as frações de C e N (Santos et al., 2014, Veras et al. 2016), além da fertilidade, que tem como principal componente a matéria orgânica do solo (MOS), cujas frações químicas e físicas (Santos et al., 2014) são indicadores da qualidade do solo (Plaza-Bonilla et al., 2016; Nascimento et al., 2019).

No fracionamento físico, destaca-se a MOS particulada (>53 µm), que consiste em fragmentos de plantas, animais e fungos, sendo sensível às alterações do manejo do solo por ser

uma fração lábil (Bayer et al., 2001), além de reserva de carbono orgânico em macro e micro agregados do solo (Silva et al., 2016; Sato et al., 2019). As frações químicas são compostas por frações lábeis, como o carbono lábil, que também é sensível ao manejo do solo e as frações húmicas que são mais recalcitrantes e predominam em áreas nativas (Nascimento et al., 2017). Os resíduos vegetais adicionados ao solo podem alterar suas frações húmicas e a fração insolúvel húmica é menos afetada pelo manejo (Hayes et al., 2017).

As frações químicas e físicas da MOS podem ser alteradas pela qualidade e quantidade de resíduos vegetais adicionados (Soares et al., 2019) e pelos sistemas de manejo (Nascimento et al., 2017). A disposição temporal e o uso de plantas de cobertura com elevada produção de fitomassa podem interferir positivamente sobre os estoques de C e N e nas frações da MOS (Bayer et al., 2001; Figueiredo et al., 2018; Soares et al., 2019), incluindo a fração particulada (Santos et al., 2014).

Os resíduos vegetais liberam carbono (C), nitrogênio (N) e outros nutrientes no solo durante o processo de decomposição, dos quais uma parte retorna à atmosfera (Figueiredo et al., 2018; Sato et al., 2019) e outra é imobilizada pelos microrganismos decompositores (Paz-Ferreiro & Fu, 2013), parte permanece na forma prontamente disponível para as plantas (Santos et al., 2014), e o restante é perdido por lixiviação (Meisinger & Ricigliano, 2017).

Assim, a hipótese deste estudo é que o cultivo de milho em sucessão às plantas de cobertura altere as frações físicas e químicas do carbono do solo em sistema plantio direto no Cerrado. O objetivo deste trabalho foi avaliar as frações de carbono no solo cultivado com milho em sucessão às plantas de cobertura, com ou sem aplicação de N no Cerrado.

6.1 Material e métodos

O experimento foi conduzido na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF (15° 35 '30 "S, 47° 42' 30" W). O clima da região é Aw, conforme classificação de Köppen, com precipitação média e temperatura média anual de 1.345,8 mm and 21,87 °C, respectivamente (Silva et al., 2017).

Antes do experimento, a área havia sido cultivada com rotação de soja/milho de 1999 a 2004. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico, de acordo com a

classificação e solos do Brasil (EMBRAPA, 2018), As características químicas do solo no início do experimento foram as seguintes: pH(H₂O) 6,0; matéria orgânica 21,7 g kg⁻¹; P_{Mehlich-1} 0,9 mg kg⁻¹; Al³⁺ 0,1 cmol_c kg⁻¹; Ca²⁺+Mg²⁺ 2,9 cmol_c kg⁻¹; K⁺ 0,1 cmol_c kg⁻¹.

A sucessão entre milho e plantas de cobertura é realizada na área experimental desde a safra 2004/2005 em sistema plantio direto, com as seguintes plantas de cobertura: guandu 'BRS mandarin' [*Cajanus cajan* (L.) Millsp]; crotalária juncea (*Crotalaria juncea* L.); nabo-forrageiro (*Raphanus sativus* L.) e mucuna-preta (*Mucuna aterrima* Merr). O espaçamento entre linhas para as plantas de cobertura foi de 0,5 m entre linhas e a densidade de semeadura a recomendada por Carvalho & Amabile (2006) (Tabela1).

Utilizou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso, com parcelas subdivididas e três repetições. As parcelas foram compostas pelas plantas de cobertura (12mx8m) e as subparcelas (12 m x 4 m), pela aplicação (CN) ou não de nitrogênio (SN) em cobertura na cultura do milho. A área total do experimento é de 3420 m².

Em novembro de 2015, foi realizado o plantio do milho híbrido 30F53VYHR, com cinco sementes viáveis por metro linear e espaçamento entre linhas de 0,75 m, totalizando uma população de 65.000 plantas por hectare. Na semeadura da cultura foi realizada adubação de manutenção no sulco de plantio, tendo-se utilizado 500 kg ha⁻¹ da fórmula NPK4-30-16, além de 2 kg ha⁻¹ de Zn (ZnSO₄.7H₂O) e de 10 kg ha⁻¹ de FTE BR 12, como fonte de micronutrientes, com a seguinte composição química: 3,2% de S; 1,8% de B; 0,8% de Cu; 2,0% de Mn; 0,1% de Mo; 9,0% de Zn; e 1,8% de Ca. Foram realizadas duas fertilizações com 65 kg ha⁻¹ de N, em cobertura, na forma de ureia, aplicadas quando as plantas emitiram o quarto e o oitavo par de folhas, respectivamente, o que totalizou 150 kg ha⁻¹ de N aplicado em cobertura de acordo com as recomendações de Sousa & Lobato (2004).

Na maturação do milho próximo ao ponto de colheita, em Março de 2016, quatro linhas de 4 m de comprimento foram colhidas em cada subparcela, para quantificação da produtividade de grãos de milho, após a correção da umidade para 13%. Foram coletadas amostras da palhada logo depois da colheita do milho com amostrador de hastes de ferro com a dimensão de 0,38m x 0,58m.

As amostras de palhada do milho foram secas a 65°C até peso constante. Uma subamostra de 500 g foi pesada para quantificar a massa seca, e convertida para kg por hectare. Parte das amostras secas foi triturada e 3g foram pesadas e colocadas em cadinhos de porcelana e mantidas em estufa a 105°C por 8 horas. A matéria seca foi calculada pela diferença entre o peso da amostra antes e depois da secagem a 105°C. A concentração de N no tecido foliar da palhada, foi analisada colorimetricamente com um Lachat 228 Quikchem FIA (Lachat Instruments, 5600 Lindburg Drive, Loveland CO 80539 USA).

As análises de matéria seca a 105°C, teores de fibra em detergente ácido (FDA), de fibra em detergente neutro (FDN) e lignina foram realizadas de acordo com o método sequencial (Robertson e Van Soest 1981). As concentrações de hemicelulose e celulose foram determinadas pelas diferenças entre FDN e FDA e entre FDA e lignina, respectivamente.

Após a colheita das culturas de cobertura, as amostras de solo foram coletadas nas camadas de 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m, formando uma amostra composta de oito subamostras para cada profundidade. As amostras de solo foram secas ao ar e peneiradas a 2 mm e armazenadas no Laboratório de Microbiologia do Solo da Universidade de Brasília.

O carbono orgânico do solo foi determinado por combustão a seco usando um analisador elementar (Perkin Elmer CHN/O 2400). O fracionamento físico-granulométrico da MOS foi realizado de acordo com Cambardella & Elliott (1992), com ajustes no peso da amostra (Bongiovanni & Lobartini, 2006). Vinte gramas de solo seco ao ar foram colocados em frascos de 500 ml com 70 mL de hexametáfosfato de sódio (5 g L⁻¹) e agitou-se por 15 h em agitador horizontal a 130 rpm. Após esse período, a suspensão foi passada em peneira de 53 µm e lavada com jatos de água. O material retido na peneira foi seco a 45°C e triturado para análise do carbon total. O carbon total (CT) dessa fração do solo foi determinado pelo método de combustão a seco usando um analisador elementar (Perkin Elmer CHN/O 2400). O carbon orgânico associado à fração mineral (COM) foi calculado pela diferença entre CT e COP.

A determinação das frações húmicas foi realizada de acordo com Swift (1996), com 0,1 mol L⁻¹ NaOH como extrator (razão 10:1 extrator para solo). A partir disso, foram obtidas as seguintes frações: ácido húmico (C-AH), ácido fúlvico (C-AF) e humina (C-HUM), de acordo com o princípio da diferença de solubilidade em meio básico e/ou ácido. A fração de humina é

insolúvel em pH básico e precipita com NaOH. As frações extraídas foram separadas em AH e AF por acidificação por extrator com 6 M HCl a pH 1. O precipitado (C-AH) e o sobrenadante (C-AF) foram separados por centrifugação por 30 minutos a 4500 rpm. Todas as frações húmicas foram determinadas por digestão úmida com dicromato de potássio 1 N em meio ácido, de acordo com o método de Yeomans and Bremner (1988), com aquecimento externo.

A análise de variância foi realizada através do Programa R versão 3.5.0 e a comparação de médias feita pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

6.2 Resultados e discussão

Após a colheita do milho, os teores de celulose, hemiceluloses, lignina e NT foram estatisticamente semelhantes (Tabela 7), devido à maior proporção de palhada do milho em relação à produção de biomassa das plantas de cobertura e à baixa razão C/N dos resíduos vegetais dessas plantas de cobertura (Carvalho et al., 2012; 2015), suprimindo a contribuição das plantas de cobertura na produção de palhada.

Os teores de N total na palhada do milho foram de $6,96 \text{ g kg}^{-1}$ e $5,60 \text{ g kg}^{-1}$ ($p < 0,05$), nos tratamentos com (CN) e sem aplicação de N em cobertura (SN) no milho, respectivamente (Tabela 12), evidenciando que a adubação nitrogenada em cobertura no milho (CN) promoveu maiores teores desse nutriente na palhada da cultura ($p < 0,05$). Os valores da razão lignina:N apresentaram o mesmo comportamento que os teores de N na palhada ($p < 0,05$), indicando potencial de liberação de N para as plantas de cobertura em sucessão, o que contribui para seu desenvolvimento na entressafra sem necessidade de aplicação de fertilizante nitrogenado (Carvalho et al., 2012; 2015). A razão lignina/N foi de 10,21 e 7,95, no SN e CN, respectivamente ($p < 0,05$) mostrando também a contribuição da adubação nitrogenada em cobertura no milho para maior liberação de nutrientes nos resíduos culturais mantidos na superfície do solo, pois o tratamento CN acumulou mais N ($p < 0,05$) na sua palhada.

Tabela 12. Produção de matéria seca (kg ha^{-1}), absorção de N (kg ha^{-1}) nos resíduos culturais e produtividade do milho.

Plantas de cobertura	Resíduos culturais	N	Produtividade
Mucuna-preta	8358,29 a	55,44 a	9328,91 a
Nabo-forrageiro	8277,15 a	50,98 a	10152,63 a
Guandu	8916,29 a	54,378 a	9571,39 a
Crotalária juncea	7015,43 a	43,71 a	9268,52 a
Fertilização			
CN	8107,68 a	56,37 a	10827,05 a
SN	8175,89 a	45,88 a	8333,67 b
CV% ⁽¹⁾	16,42	17,78	8,634
CV% ⁽²⁾	15,63	25,47	6,32

Médias seguidas por letras iguais não se diferem pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). ⁽¹⁾ Coeficiente de variação relacionada com plantas de cobertura. ⁽²⁾ Coeficiente de variação do efeito de fertilização.

A parcela de milho cultivado após guandu apresentou 1,27 vezes mais resíduos culturais do que após crotalaria juncea. As leguminosas mucuna-preta e crotalaria juncea possuem baixa relação C/N e lignina/N, com valores 6,87 e 8,09 para C/N e 2,08 e 1,94 para lignina/N, respectivamente, na floração, porém, o guandu possui mais alta razão C/N e lignina/N, com valores, 9,07 e 2,97, respectivamente (Carvalho et al., 2012). É possível que devido a esses maiores valores de C/N e lignina/N, parte dos resíduos vegetais do guandu tenham permanecido no solo e contribuído para uma maior produção da palhada ao final do ciclo do milho, mesmo não significativo, que também possui uma alta razão C/N.

A produtividade média do milho em sucessão às plantas de cobertura, nos tratamentos com e sem aplicação de N em cobertura foi de 10827,05 kg ha^{-1} e 8333,67 kg ha^{-1} , respectivamente, representando incremento de 23% com a adição de N em cobertura que como relatado por Carvalho et al. (2015), é uma cultura que apresenta alta exigência por N. Apesar de não ter promovido diferenças significativas de produtividade do milho, o uso de plantas de cobertura melhora as propriedades do solo, incrementando os teores de matéria orgânica (Recalde et al., 2015) e suas frações químicas e físicas (Santos et al., 2014; Soares et al., 2019).

Esse processo está associado a ciclagem e acúmulo de nutrientes, agregação do solo e dinâmica da água, além de ser fonte de energia para a atividade biológica do solo (Recalde et al., 2015), consequentemente, é uma prática fundamental para manter a qualidade do solo (Carvalho et al., 2015).

Houve efeito das plantas de cobertura ($p < 0,05$) no fracionamento químico (humina, ácido húmico e ácido fúlvico) e físico (carbono orgânico particulado) do carbono orgânico, nas duas camadas de solo avaliadas (Tabela 13), mas os valores de COT foram semelhantes nas duas camadas de solo. Santos et al. (2014) também obtiveram valores semelhantes de COT na camada de 0-10 cm, com as plantas de cobertura *C. cajan*, *C. brasiliensis*, *S. biocolor* e *U. ruziziensis* em sucessão ao milho, nesse mesmo experimento.

Na camada de 0-10 cm, o solo cultivado com nabo-forageiro apresentou menor teor de AF ($4,93 \text{ g kg}^{-1}$) que sob mucuna-preta e guandu ($5,93$ e $5,87 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente). A razão AH/AF foi maior ($p < 0,05$) no solo sob nabo-forageiro ($0,67 \text{ g kg}^{-1}$) (Tabela 13). A razão AH/AF no solo em todos os tratamentos com uso das plantas de cobertura foi inferior a 1, indicando rápida mineralização dos resíduos vegetais e humificação da matéria orgânica do solo (Canellas et al., 2004).

Quanto ao efeito da aplicação de N em cobertura (CN) no milho, na camada de 0-10 cm, os teores de humina foram maiores no solo sem aplicação de N em cobertura, indicando que sem a aplicação de N em cobertura ocorre alteração no acúmulo de compostos mais recalcitrante e mais resistente à degradação desta fração insolúvel (Hayes et al., 2017), o que pode aumentar as reservas de C no solo.

Na camada de 10-20 cm (Tabela 13), o teor de AF foi maior no solo sob crotalaria juncea ($6,09 \text{ g kg}^{-1}$). Em relação à fração AH, o solo sob guandu ($1,25 \text{ g kg}^{-1}$) diferiu ($p < 0,05$) da mucuna-preta ($0,84 \text{ g kg}^{-1}$). Os teores de AH e a razão AH/AF foram maiores no solo sob guandu ($1,25$ e $0,22$, respectivamente) e menores sob mucuna-preta ($0,84$ e $0,15$, respectivamente). Devido à adubação com N em cobertura no milho houve uma diminuição dos teores de ácido fúlvico e aumento da razão AH/AF, indicando maior mineralização dos resíduos vegetais na presença do fertilizante nitrogenado em cobertura no milho, possivelmente, devido a redução da razão C/N no solo.

Tabela 13. Carbono orgânico (CO), frações de carbono em ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH), humina (Hum), em g kg^{-1} , relação AH/AF em Latossolo dos resíduos culturais

do milho plantado sucessivamente as plantas de cobertura com (CN) e sem (SN) adubação nitrogenada.

Plantas de cobertura	COT	AF	AH	Hum	AH/AF	COP	COAM
0,0-0,10 m							
Mucuna-preta	22,98 a	5,93 a	2,62 a	8,56 a	0,44 b	2,28 ab	20,70 a
Nabo-forageiro	22,85 a	4,93 b	3,19 a	9,25 a	0,67 a	2,38 ab	20,47 a
Guandu	22,62 a	5,87 a	2,86 a	8,59 a	0,49 b	2,67 a	19,95 a
Crotalária juncea	22,67 a	5,47 ab	2,50 a	8,53 a	0,46 b	1,92 b	20,75 a
Fertilização							
CN	22,72 a	5,50 a	2,90 a	8,53 b	0,55 a	2,33 a	20,38 a
SN	22,84 a	5,60 a	2,68 a	8,93 a	0,48 a	2,29 a	20,55 a
CV% ⁽¹⁾	8,15	8,39	19,04	6,08	14,55	10,93	8,71
CV% ⁽²⁾	9,25	10,47	10,76	4,70	18,67	20,28	9,65
0,10-0,20 m							
Mucuna-preta	17,40 a	5,58 b	0,84 b	7,42 a	0,15 b	1,65 a	15,75 a
Nabo-forageiro	18,68 a	5,34 b	1,10 ab	7,34 a	0,21 ab	2,08 a	16,60 a
Guandu	20,12 a	5,64 b	1,25 a	7,76 a	0,22 a	2,28 a	17,83 a
Crotalária juncea	18,03 a	6,09 a	1,23 ab	7,38 a	0,21 ab	1,58 a	16,45 a
Fertilização							
CN	18,91 a	5,30 b	1,14 a	7,45 a	0,22 a	2,15 a	16,76 a
SN	18,21 a	6,03 a	1,07 a	7,50 a	0,18 b	1,65 b	16,56 a
CV% ⁽¹⁾	7,75	3,39	18,07	3,11	17,35	31,41	8,13
CV% ⁽²⁾	9,84	6,71	20,23	3,57	18,86	25,06	9,37

Médias seguidas por letras iguais não se diferem pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). ⁽¹⁾ Coeficiente de variação relacionada com plantas de cobertura. ⁽²⁾ Coeficiente de variação do efeito de fertilização.

Houve diferença entre as plantas de cobertura em relação à AH/AF ($p < 0,05$), sendo o maior valor obtido para o solo com uso de Nabo-forageiro na camada de 0,0-0,10 m do solo, e na camada de 0,10-0,20 m no solo com uso de guandu, nabo-forageiro e juncea. A relação AH/AF pode ser considerada um bom indicador da qualidade do húmus pois expressa o grau de evolução do processo de humificação da matéria orgânica e a capacidade de mobilidade do C no solo (Sousa et al., 2015). A relação AH/AF variou entre 0,44 e 0,67 g kg⁻¹ na camada de 0-10 cm, demonstrando maior grau de humificação e, conseqüentemente, de mineralização, de

mobilidade de carbono no solo do que na camada de 10-20 cm que variou entre 0,15 a 0,22 g kg⁻¹ (Tabela 13).

Quanto ao fracionamento físico do carbono orgânico (COP), o solo sob guandu em sucessão ao milho apresentou maiores valores ($p < 0,05$) do que aquele sob crotalaria juncea na camada de 0-10 (Tabela 13). O COP é uma fração lábil de carbono associada com a formação e estabilização de agregados no solo (Six et al., 2002, Silva et al., 2016).

Na camada de 10-20 cm, o COP foi maior ($p < 0,05$) no tratamento CN em relação ao SN, concordando com Santos (2014), que também mostraram esse comportamento em ambas as camadas com uso de guandu, indicando que a adição de N em cobertura aumenta essa fração de carbono, provavelmente devido a um maior sistema radicular que pode contribuir com uma maior estabilidade de agregados do solo.

Houve efeito das plantas de cobertura ($p < 0,05$) nos teores de carbono lábil (CL) do solo (Tabela 14). Na camada de 0,0-0,10 m, aplicação de N em cobertura no milho em sucessão ao nabo-forrageiro promoveu o aumento de CL ($p < 0,05$), com 2,71 vezes mais que o solo sob milho em sucessão à crotalaria juncea. A maior razão CL/COT para o solo foi 0,11 sob uso de nabo-forrageiro, diferindo significativamente ($p < 0,05$) das demais plantas de cobertura.

Na camada 0,10-0,20 m do solo sob milho em sucessão ao guandu e mucuna-preta, o CL apresentou menores valores com aplicação de N em cobertura, e para o nabo-forrageiro (1,22 g kg⁻¹), o CL representou 6% do COT. Portanto, o nabo-forrageiro apresentou efeito oposto nas camadas de solo estudadas quanto aos tratamentos CN e SN. Assim como o COP, o CL é modificado pelas plantas de cobertura e à adição de N em cobertura (Silva et al., 2014).

Tabela 14. Carbono lábil (CL) em g kg⁻¹ e fração do C lábil em relação ao COT (g CL g COT⁻¹) em solo sob cultivo de milho, com (CN) e sem (SN) aplicação de nitrogênio em cobertura, em sucessão a plantas de cobertura, nas camadas de 0-10 e 10-20 cm.

Plantas de cobertura	CL		g CL g COT ⁻¹	
	CN	SN	CN	SN
			0,0-0,10 m	
Mucuna-preta	1,27 abA	1,31 aA	0,051bA	0,060aA
Nabo-forrageiro	2,39 aA	1,43 aB	0,11aB	0,061aA
Guandu	1,31 abA	1,10 aA	0,055bA	0,045aA
Crotalária juncea	0,88 bA	1,10 aA	0,041bA	0,045aA
CV% (1)		48,69	43,42	
CV% (2)		21,16	49,83	
			0,10-0,20 m	
Mucuna-preta	1,08 aA	0,33 cB	0,063aA	0,019cB
Nabo-forrageiro	1,17 aA	1,22 aA	0,062aA	0,066a
Guandu	1,02 aA	0,51 bcB	0,046aA	0,028bcA
Crotalária juncea	0,96 aA	1,01 abA	0,054aA	0,056abA
CV% (1)		26,20	21,90	
CV% (2)		20,98	24,12	

Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5%, minúscula na coluna e maiúsculas na linha. ⁽¹⁾Coeficiente de variação relacionada com plantas de cobertura. ⁽²⁾Coeficiente de variação do efeito de fertilização.

A humina representou entre 35 e 40% do COT (Tabela 15), semelhantemente ao obtido por Silva et al. (2016), que encontraram valores desta fração entre 29 e 33% do COT. A humina pode ser uma importante reserva de carbono devido à sua insolubilidade e composição química formada por grupos de hidrocarbonetos alifáticos (Hayes et al. 2017), mantendo-se no solo por mais tempo devido à sua maior recalcitrância.

Tabela 15. Frações de ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH), humina (Hum), carbono orgânico particulado (COP), carbono orgânico associado aos minerais (COAM) em relação ao carbono orgânico total (COT) em Latossolo cultivado com milho, com (CN) e sem (SN) aplicação de nitrogênio em cobertura, em sucessão a plantas de cobertura, nas camadas de 0-10 e 10-20 cm.

Plantas de cobertura	AF/COT	AH/COT	HUM/COT	COP/COT	COAM/COT
0,0-0,10 m					
Mucuna-preta	0,26 a	0,11 a	0,37 a	0,10 a	0,90 a
Nabo-forageiro	0,21 a	0,14 a	0,40 a	0,10 a	0,89 a
Guandu	0,24 a	0,12 a	0,35 a	0,11 a	0,87 a
Crotalária juncea	0,24 a	0,11 a	0,38 a	0,09 a	0,91 a
Fertilização					
CN	0,24 a	0,12 a	0,37 a	0,10 a	0,89 a
SN	0,24 a	0,11 a	0,38 a	0,10 a	0,90 a
CV% ⁽¹⁾	10,92	15,52	10,02	14,64	3,17
CV% ⁽²⁾	12,51	11,19	6,47	15,68	2,24
0,10-0,20 m					
Mucuna-preta	0,32 a	0,048 a	0,43 a	0,10 a	0,54 a
Nabo-forageiro	0,29 b	0,058 a	0,39 a	0,11 a	0,60 a
Guandu	0,28 b	0,063 a	0,39a	0,11 a	0,55 a
Crotalária juncea	0,34 a	0,068 a	0,41 a	0,09 a	0,49 a
Fertilização					
CN	0,28 b	0,06 a	0,40	0,11a	0,59
SN	0,33 a	0,06 a	0,41	0,09 b	0,50
CV% ⁽¹⁾	4,58	19,48	8,22	27,95	29,44
CV% ⁽²⁾	10,81	20,15	9,23	19,80	20,49

Médias seguidas por letras iguais não se diferem pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). ⁽¹⁾ Coeficiente de variação relacionada com plantas de cobertura. ⁽²⁾ Coeficiente de variação do efeito de fertilização.

Na camada de 10-20 cm, as plantas de cobertura se diferenciaram somente quanto à razão AF/COT ($p < 0,05$), (Tabela 16) com maiores valores no solo sob uso de crotalaria juncea e mucuna-preta. No solo sob guandu esta fração foi de 28% do COT, sendo o dobro do obtido por Silva et al. (2016) no mesmo experimento com as referidas plantas de cobertura, indicando

que ao longo do tempo houve uma melhoria da qualidade química das frações de carbono do solo.

Houve, ainda, efeito significativo da adição de N em cobertura no milho nas frações químicas e físicas do solo ($p < 0,05$). O AF/COT foi maior no tratamento SN (33%) que no CN (28%) e o COP/COT foi maior no CN (11%) em relação ao SN (9%), indicando que a adubação nitrogenada em cobertura no milho altera estas frações, possivelmente, pela alteração da razão C/N do solo, conseqüentemente, da dinâmica e ciclagem de nutrientes no solo.

6.3 Conclusão

1. As plantas de cobertura alteram as frações químicas e físicas do solo, principalmente, o ácido fúlvico, com maiores valores dessa fração no solo sob uso de mucuna, guandu e crotalaria juncea.

2. As plantas de cobertura alteram o carbono particulado do solo na camada de 0-10 cm e o guandu promove aumento em relação à crotalaria juncea.

3. A adição de N em cobertura no milho diminui o AF e aumenta a razão AH/AF e o COP na camada de 0,10-0,20 m, aumentando assim a disponibilidade de N nessa profundidade.

6.4 Referências Bibliográficas

ANACHE, J.A.A.; FLANAGAN, D.C.; SRIVASTAVA, A.; WENDLAND, E. C. Land use and climate change impacts on runoff and soil erosion at the hillslope scale in the Brazilian Cerrado. **Science of The Total Environment**, v.622, p.140-151, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.257>

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MATIN-NETO, L.; ERNANI, P.R. Stocks and humification Degree of organic matter fractions as affected by no-tillage zona subtropical soil. **Plant and Soil**, v.238, p.133-140, 2001.

BONGIOVANNI, M. D.; LOBARTINI, J. C. Particulate organic matter, carbohydrate, humic acid contents in soil macro and micro aggregates as affected by cultivation. **Geoderma**, v.136, p.660-665, 2006.

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, v.56, p.777-783, 1992.

CANELLAS, L. P.; ESPINDOLA, J. A. A.; REZENDE, C. E.; CAMARGO, P. B.; ZANDONADI, D. B.; RUMJANEK, V. C.; GUERRA, J. G. M.; BRAZ – FILHO, R. Organic matter quality in a soil cultivated with perennial herbaceous legumes. **Scientia Agrícola**, v.61, p.53-61, 2004. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162004000100010>

CARVALHO, A. M. de; BUSTAMANTE, M. M. C. da; COSER, T. R.; MARCHÃO, R. L.; MALAQUIAS, J. V. Nitrogen oxides and CO₂ from an Oxisol cultivated with corn in succession to cover crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** (Online), v.51, p.1213-1222, 2016.

CARVALHO, A. M. de; COELHO, C. M.; DANTAS R. A.; FONSECA, O. P.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; FIGUEIREDO, C. C. Chemical composition of cover plants and its effect on maize yield in no-tillage systems in the Brazilian savanna. **Crop & Pasture Science**, v.63, p.1075-1081, 2012. DOI:10.1071/CP12272

CARVALHO, A. M. de; COSER, T. R.; DANTAS, R.A de; REIN, T. A.; SILVA, R. R. ; SOUZA, K. W. Manejo de plantas de cobertura na floração e na maturação fisiológica e seu efeito na produtividade do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** (Online), v.50, p.551-561, 2015.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileiro – grãos**: Oitavo levantamento, maio 2020 – safra 2019/2020. Brasília: Companhia

Nacional de Abastecimento. 2020. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>>. Acesso em: mai. 2020.

FIGUEIREDO, C. C.de; OLIVEIRA, A. D. de.; SANTOS, I. L. ; FERREIRA, E. A. B. ; MALAQUIAS, J. V. ; CARVALHO, A.M.de ; SANTOS JR., J. D. G. . Relationships between soil organic matter pools and nitrous oxide emissions of agroecosystems in the Brazilian Cerrado. **Science of the Total Environment**, v.618, p.1572-1582, 2018.

HAYES, M. H.; MYLOTTE, R.; SWIFT, R. S. Humin: its composition and importance in soil organic matter. **Advances in Agronomy**, v.143, p.47-138, 2017. DOI: 10.1016/bs.agron.2017.01.001

MEISINGER, J. J.; RICIGLIANO, K. A. Nitrate Leaching from Winter Cereal Cover Crops Using Undisturbed Soil-Column Lysimeters. **Journal of Environment Quality**, v.46, p.576-584, 2017. DOI:10.2134/jeq2016.09.0372

NASCIMENTO, R. S. M. P.; RAMOS, M. L. G.; FIGUEIREDO, C. C.; SILVA, A. M. M.; SILVA, S. B.; BATISTELA G. Soil organic matter pools under management systems in Quilombola Territory in Brazilian Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.21, p.254-260, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/18071929/agriambi.v21n4p254-260>

NASCIMENTO, D.M.; CAVALIERI-POLIZEL, K.M.V.; SILVA, A.H.; FAVARETTO, N.; PARRON, L.M. Soil physical quality under long-term integrated agricultural production systems. **Soil Tillage Research**, v.186, p.292-299, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.08.016>

PAZ-FERREIRO, J.; FU, S. Biological Indices for Soil Quality Evaluation: Perspectives and Limitations. *Land. Degradation & Develop*, v.27, p.14-25, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.2262>

PLAZA-BONILLA, D.; NOLOT, J.-M.; PASSOT, S.; RAFFAILLAC, D.; JUSTES, E. Grain legume-based rotations managed under conventional tillage need cover crops to mitigate soil organic matter losses. *Soil & Tillage Research*, v.156, p.33–43, 2016.

PISSINATI, A.; MOREIRA, A.; SANTORO, P.H. 2018. Yield components and nutrients content in summer cover plants used in crop rotation in no-tillage system. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.49, p.1604-604, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1080/00103624.2018.1474899>

RECALDE, K. M. G.; CARNEIRO, L. F.; CARNEIRO, D. N. M.; FELISBERTO, G.; NASCIMENTO, J. S.; PADOVAN, M. P. Weed suppression by green manure in an agroecological system. *Revista Ceres*, v.62, n.6, p.546–552, 2015. DOI:<http://dx.doi.org/10.1590/0034-737X201562060006>

ROBERTSON, J.B.; VAN SOEST, P.J. The detergent system of analysis and its application to humans foods. In: JAMES, H.P.T., THEANDER, O. (Ed). **The analysis of dietary fiber in food**. New York: Marcel Dekker, 1981, p.123-158.

SANTOS, I. L. D.; CAIXETA, C. F.; SOUSA, A. A. T. C. D.; FIGUEIREDO, C. C., RAMOS, M. L. G. & CARVALHO, A. M. D. Cover plants and mineral nitrogen: effects on organic matter fractions in an oxisol under no-tillage in the cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* (Online), v.38, n.6, p.1874-1881, 2014. DOI:<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000600022>

SATO, J. H.; FIGUEIREDO, C. C. de; MARCHÃO, R. L.; OLIVEIRA, A. D. de; VILELA, L.; DELVICO, F. M.; ALVES, B. J. R.; CARVALHO, A. M. de. Understanding the relations between soil organic matter fractions and N₂O emissions in a long-term integrated crop–livestock system. **European Journal of Soil Science**, p.1-14, 2019.

SILVA, A. N.; FIGUEIREDO, C. C. de; CARVALHO, A. M. de; SOARES, D. S.; SANTOS, D. C. R.; SILVA, V. G. da. Effects of cover crops on the physical protection of organic matter and soil aggregation. **Australian Journal of Crop Science**, v.10, p.1623-1629, 2016.

SILVA, F. A. M. da; EVANGELISTA, B. A.; MALAQUIAS, J. V.; OLIVEIRA, A. D. de; MULLER, A. G. **Análise temporal de variáveis climáticas monitoradas entre 1974 e 2013 na Estação Principal da Embrapa Cerrados**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 121p., 2017.

SIX, J.; CONANT, R. T.; PAUL, E. A.; PAUSTIAN, K. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. **Plant and Soil**, v.241, p.155-176, 2002. DOI:10.1023/A:1016125726789

SOARES, D. dos S.; RAMOS, M. L. G.; MARCHÃO, R. L.; MACIEL, G. A.; OLIVEIRA, A. D. de; MALAQUIAS, J. V.; CARVALHO, A. M. de. How diversity of crop residues in long-term no-tillage systems affect chemical and microbiological soil properties. **Soil & Tillage Research**, v.194, 12p, 2019.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. (editores). Cerrado: correção do solo e adubação. 2.ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416p.: il, (algumas color.).

SOUSA, R. F.; BRASIL, E. P. F.; FIGUEIREDO, C. C.; LEANDRO, W. M. Soil organic matter fractions in preserved and disturbed wetlands of the cerrado biome. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, p.222-231, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20150048>

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.19, n.13, p.1467-1476, 1988.

VERAS, M. de S.; RAMOS, M. L. G.; FIGUEIREDO, C. C.; CARVALHO, A. M. de; SOUZA, K. W.; PULROLNIK, K. Cover Crops and Nitrogen Fertilization Effects on Nitrogen Soil Fractions under Corn Cultivation in a No-Tillage System. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** (Online), v.40, p. p. e0150059, 2016.

WITTEWER, R. A.; DORN, B.; JOSSII, W.; HEIJDEN, M. G. A. VAN DER. Cover crops support ecological intensification of arable cropping systems. **Scientific Reports**, v.7, n.41911, 2017. DOI: 10.1038/srep41911

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A década que se inicia o ano de 2020 destaca-se como o ano que trará mudanças para melhor ou para pior na busca de uma trajetória mais sustentável para o mundo no que se refere ao oceano, biodiversidade e mudanças climáticas. As tendências climáticas mostram um aumento nas emissões de gases de efeito estufa, enquanto os cientistas enfatizam que tais emissões precisam cair pela metade até 2030 e chegar a valores líquidos zero até 2050.

Tecnologias tem sido testadas e comprovadas no setor agrícola para reduzir as emissões de N- N-N₂O, baseando-se na ciência e propiciando vantagens econômicas, sociais e ambientais. O presente trabalho ao estudar o sistema plantio direto com milho em sucessão a plantas de cobertura: guandu 'BRS mandarim' [*Cajanus cajan* (L.) Millsp]; crotalária juncea juncea (*Crotalaria juncea* L.); nabo forrageiro-forrageiro (*Raphanus sativus* L.) e mucuna-preta-preta (*Mucuna-preta aterrima* Merr.), disponibiliza informações sobre os fluxos de N-N₂O, os teores de nitrato no solo e as frações químicas e físicas de carbono orgânico no solo.

Constatou-se que, levando em conta as condições edafoclimáticas da região estudada, a fertilização de N em cobertura com ureia, há um aumento dos fluxos de N-N₂O do solo independente das plantas de cobertura utilizadas e que a planta de cobertura em sucessão ao milho que promoveu maior emissão no cultivo do milho em sucessão foi o guandu e a planta que seria a mais recomendada para diminuir as emissões de N-N₂O foi a crotalária-juncea.

Já para a disponibilização de nutrientes para o milho, a combinação milho em sucessão a mucuna-preta destacou-se dentre as demais plantas estudadas e o início das chuvas representa o período com os maiores teores de nitrato e amônio no solo. No que se refere ao sequestro de carbono a não fertilização em cobertura do milho promoveu melhores resultados para a camada superficial do solo até 10 cm.

O solo sob nabo forrageiro promoveu maiores concentrações de carbono lábil na camada mais superficial, o que ser fonte prontamente disponível à microbiota do solo e maior razão AH/AF, indicando maior qualidade do solo. O solo sob guandu promoveu maiores teores de carbono orgânico particulado, que está associado à estabilidade de agregados no solo e disponibilidade de nutrientes. Além disso, o solo sob guandu também promoveu maiores teores

de ácido húmico na camada de 10-20 cm, que está relacionado à qualidade da matéria orgânica do solo.