

**FERTILIZAÇÃO COM SULFATO DE AMÔNIO NA CULTURA DO
MILHO EM UM SOLO DO CERRADO DE BRASÍLIA SOB
PASTAGEM DE *Brachiaria decumbens***

ANTONIO XAVIER DE CAMPOS

Tese apresentada à Escola Superior de
Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de
São Paulo, para obtenção do título de Doutor
em Agronomia, Área de Concentração: Solos e
Nutrição de Plantas.

P I R A C I C A B A
Estado do São Paulo - Brasil
Dezembro - 2004

**FERTILIZAÇÃO COM SULFATO DE AMÔNIO NA CULTURA DO
MILHO EM UM SOLO DO CERRADO DE BRASÍLIA SOB
PASTAGEM DE *Brachiaria decumbens***

ANTONIO XAVIER DE CAMPOS

Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. **PAULO CESAR OCHEUZE TRIVELIN**

Tese apresentada à Escola Superior de
Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de
São Paulo, para obtenção do título de Doutor
em Agronomia, Área de Concentração: Solos e
Nutrição de Plantas.

P I R A C I C A B A

Estado do São Paulo - Brasil

Dezembro - 2004

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DI VI SÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/ USP

Campos, Antonio Xavier de

Fertilização com sulfato de amônio em pré-semeadura e cobertura na cultura do milho em um solo do cerrado de Brasília sob pastagem de *Brachiaria decumbens* / Antonio Xavier de Campos. -- Piracicaba, 2004.
119 p.

Tese (doutorado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2005.
Bibliografia.

1. Capim braquiária 2. Cerrado 3. Cobertura do solo 4. Fertilização 5. Fertilizantes nitrogenados 6. Milho 7. Pastagem 8. Semeadura I. Título

CDD 633.15

“Permi tida a cópi a total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte - O autor”

AGRADECIMENTOS

- Aos meus pais e familiares pela lembrança constante dando-me força para continuar avançando.
- A minha esposa Ivone Kauric de Campos e ao meu filho André Kauric de Campos a certeza da presença e o incentivo na busca do saber.
- Ao Professor Dr. Marino J. Tedesco da Universidade Federal do Rio Grande do Sul por colocar-me no caminho da ciência.
- Ao Professor Dr. Paulo César Ocheuze Trivelin pela orientação técnica científica e pelo educar sempre presente no processo de formação de ensino e pesquisa.
- Ao Dr. Heitor Cantarella, do Instituto Agronômico de Campinas, Dr. Gonçalo E. França do Centro Nacional do Milho e Sorgo e Dr. Godofredo César Vitti da ESALQ/USP pela acolhida e contribuição na tomada de decisão da escolha do presente estudo de pesquisa;
- À Dra. Concepta M.Mcmanus Pimentel da Universidade de Brasília e Dra. Sônia Maria De Stefano Piedade da ESALQ/USP pela colaboração no desenvolvimento das análises estatísticas.
- À UnB (Universidade de Brasília) e FAV (Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária) pela confiança e apoio;

- À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, em especial ao Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, pela oportunidade concedida para a realização do curso de Doutorado;
- À Divisão de Biblioteca e Documentação da ESALQ/USP e CENA/USP pela leitura e normatização das referências bibliográficas
- Aos Funcionários da Fazenda Água Limpa da Universidade de Brasília em especial: Robson Figueiredo Cunha, Michael Quadros, Kallas Fonseca Mariano e Augusto Álvaro da Costa pelo suporte no desenvolvimento do trabalho de pesquisa no campo.
- Aos Funcionários do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas da ESALQ/USP e do Laboratório de Isótopos Estáveis – CENA/USP pela colaboração e amizade;
- Aos amigos (as) da Pós-Graduação da ESALQ/USP e CENA/USP em especial, Gilmar Ribeiro Nachtigall pela convivência, amizade e pelos bons momentos;

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	ix
SUMMARY	xi
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1 O cerrado.....	4
2.1.1 O clima	5
2.1.2 O solo.....	6
2.1.3 O manejo de solos no cerrado	8
2.2 A matéria orgânica do solo	11
2.3 O nitrogênio no solo	14
2.3.1 A relação C:N	16
2.3.2 A imobilização do nitrogênio	17
2.3.3 A distribuição do nitrogênio	19
2.3.4 As perdas do nitrogênio	20
2.4 Eficiência da fertilização nitrogenada	21
2.4.1 Época de aplicação de nitrogênio	22
2.4.2 O fertilizante nitrogenado	24
2.4.3 A localização do fertilizante nitrogenado	25
2.4.4 As doses de nitrogênio	26
2.5 A recuperação do nitrogênio aplicado como fertilizante	28
3 MATERIAL E MÉTODOS	33
3.1 Localização do experimento	33
3.2 Preparo da área experimental.....	35

3.2.1 Aplicação de calcário.....	36
3.2.2 Adubação corretiva.....	36
3.2.3 Adubação de pré-semeadura.....	37
3.2.3.1 Nitrogênio não marcado.....	37
3.2.3.2 Nitrogênio marcado.....	37
3.2.4 Adubação de semeadura.....	38
3.2.5 Adubação de cobertura.....	38
3.2.6 Semeadura.....	38
3.2.7 Controle fitossanitário.....	39
3.3 Amostragem e análise de solos.....	40
3.4 Amostragem e análise de tecido vegetal.....	42
3.5 Colheita do milho.....	45
3.6 Avaliação do nitrogênio marcado com ^{15}N	45
3.7 Delineamento experimental e análise estatística.....	47
3.8 Atividades desenvolvidas na área experimental.....	48
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	51
4.1 O clima.....	51
4.2 O solo.....	53
4.2.1 A matéria orgânica.....	53
4.2.2 O nitrogênio.....	55
4.2.3 O enxofre.....	57
4.2.4 O pH.....	59
4.2.5 O alumínio.....	61
4.2.6 O potássio.....	63
4.2.7 O cálcio.....	66
4.2.8 O magnésio.....	67
4.3 O capim-Braquiária.....	70
4.3.1 Massa seca do capim-Braquiária.....	70
4.3.2 O nitrogênio na parte aérea do capim-Braquiária.....	73

4.3.3 O potássio na parte aérea do capim-Braquiária	74
4.3.4 O cálcio na parte aérea do capim-Braquiária	74
4.3.5 O magnésio na parte aérea do capim-Braquiária	76
4.3.6 O enxofre na parte aérea do capim-Braquiária	77
4.4 A cultura do milho	78
4.4.1 Massa seca da parte aérea do milho	78
4.4.2 Massa seca de grãos de milho	81
4.4.3 Concentração de nitrogênio em grãos de milho	82
4.4.4 Concentração de nitrogênio na parte aérea do milho	82
4.4.5 Concentração de potássio na parte aérea do milho	86
4.4.6 Concentração de cálcio na parte aérea do milho	87
4.4.7 Concentração de magnésio na parte aérea do milho	88
4.4.8 Concentração de enxofre na parte aérea do milho	89
4.5 Recuperação de nitrogênio na parte aérea do milho	91
4.6 Considerações finais	92
5 CONCLUSÕES	94
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95

FERTILIZAÇÃO COM SULFATO DE AMÔNIO NA CULTURA DO
MILHO EM UM SOLO DO CERRADO DE BRASÍLIA SOB
PASTAGEM DE *Brachiaria decumbens*

Autor: ANTONIO XAVIER DE CAMPOS

Orientador: Prof. Dr. PAULO CESAR OCHEUZE TRIVELIN

RESUMO

Nos cerrados tem-se adotado o sistema de integração lavoura-pecuária por tratar-se de tecnologia de recuperação/renovação de pastagem em consórcio com culturas anuais, como a do milho. Nesse sistema a fertilização da lavoura recupera a pastagem e a mantém produtiva. Dentre os nutrientes aplicados nas fertilizações destaca-se o nitrogênio, que no solo sofre várias transformações e sua eficiência é comprometida com as épocas e doses de aplicação na pré-semeadura, em capim-Braquiária, e/ou em cobertura na cultura do milho. O objetivo do trabalho foi determinar as doses de nitrogênio na forma de sulfato de amônio e estabelecer a aplicação desse nutriente se em pré-semeadura e/ou em cobertura do milho no sistema de integração lavoura-pecuária. O experimento foi desenvolvido na Fazenda da Universidade de Brasília-UnB, em pastagem degradada de *Brachiaria decumbens* implantada em um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico típico. Procedeu-se à correção do solo com calcário dolomítico ($1,3 \text{ t ha}^{-1}$) e à adubação corretiva com 80 kg ha^{-1} de P_2O_5 , 50 kg ha^{-1}

de K_2O , respectivamente, na forma de superfosfato simples e cloreto de potássio. O nitrogênio na forma de sulfato de amônio, nas doses de 60 e 120 $kg\ ha^{-1}$, foi aplicado manualmente em pré-semeadura (73 dias antes da semeadura do milho), na posição dos sulcos para semeadura do milho. O capim-Braquiária foi dessecado com o uso do herbicida paraquat (2 L ha^{-1}) em duas aplicações. O milho híbrido simples AG-450 foi semeado manualmente, em sulcos espaçados de 0,80m, resultando em uma população de 62.500 plantas por hectare. Na semeadura do milho em todos os tratamentos aplicaram-se 30 $kg\ ha^{-1}$ de N, 110 $kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 e 70 $kg\ ha^{-1}$ de K_2O , respectivamente, nas formas de sulfato de amônio, superfosfato simples e cloreto de potássio. A adubação de cobertura do milho foi realizada, manualmente, no estágio V_4 do milho nas doses de 30, 60 e 120 $kg\ ha^{-1}$ de N na forma de sulfato de amônio, aplicando-se também 30 $kg\ ha^{-1}$ de sulfato de zinco. Tanto na pré-semeadura como na cobertura incluiu-se tratamento sem N-fertilizante (0 $kg\ ha^{-1}$ de N), mas que recebeu na semeadura do milho a dose de 30 $kg\ ha^{-1}$ de N como sulfato de amônio e na cobertura 30 $kg\ ha^{-1}$ de sulfato de zinco. O delineamento experimental foi em blocos casualizados no esquema de parcelas subdivididas com 12 tratamentos e 4 repetições. Os 12 tratamentos com doses de N corresponderam às combinações dos níveis de N em pré-semeadura e cobertura do milho. Nas parcelas dos tratamentos: 120-0 e 0-120 $kg\ ha^{-1}$ de N foram incluídas microparcelsas com as doses de sulfato de amônio marcado com ^{15}N (120 $kg\ ha^{-1}$), respectivamente, em pré-semeadura e cobertura. Foram realizadas análises do solo e de tecido vegetal, quantificada a massa seca e determinada a % de recuperação do nitrogênio do sulfato de amônio- ^{15}N . A média de massa seca do tecido vegetal e de grãos de milho apresentou acréscimo na produção quando o nitrogênio foi aplicado em cobertura, porém não foi significativo em relação à aplicação em pré-semeadura. As melhores respostas em produção de massa seca foram obtidas com as doses de N ($kg\ ha^{-1}$): 120-70 e 60-85, aplicadas em pré-semeadura e cobertura respectivamente. As maiores produções de grãos deram-se com as doses de N de 60-60 e 0-96 $kg\ ha^{-1}$ aplicadas, respectivamente, em pré-semeadura e cobertura do milho. A recuperação do N do sulfato de amônio foi de 79 e 40% quando aplicado em cobertura e na pré-semeadura respectivamente.

CORN FERTILIZATION WITH AMMONIUM SULFATE IN A BRASÍLIA CERRADO SOIL UNDER *Brachiaria decumbens* PASTURE

Author: ANTONIO XAVIER DE CAMPOS

Adviser: Prof. Dr. PAULO CESAR OCHEUZE TRIVELIN

SUMMARY

Crop/livestock integration systems have been adopted in the cerrados, since this is a technology for pasture recovery and renovation, used in association with annual crops, such as corn. In this system, the pasture is recovered and maintained productive by crop fertilization. Nitrogen is prominent among the nutrients applied in fertilizations; it undergoes several transformations in the soil, and its efficiency can be compromised by application seasons and rates in *Brachiaria* grass fertilized prior to sowing, and/or as sidedressing in corn. The objective of this work was to determine nitrogen rates in the form of ammonium sulfate and to establish application for this nutrient if prior to seeding and/or as sidedressing in corn, under a crop/livestock integration system. The experiment was developed at Universidade de Brasília-UnB's Farm, in a degraded *Brachiaria decumbens* pasture implemented on a typical Dystrophic RED-YELLOW LATOSOL. The soil was corrected with dolomitic lime (1.3 Mg ha^{-1}) and received corrective fertilization with $80 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$, $50 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$ in the form of single superphosphate and potassium chloride, respectively. Nitrogen in the form of

ammonium sulfate, at the rates of 60 and 120 kg ha⁻¹, was applied manually prior to seeding (73 days before corn seeding), at the furrow positions where corn was to be sown. The *Brachiaria* grass was desiccated with the herbicide paraquat (2 L ha⁻¹) in two applications. Single hybrid corn AG-450 was sown manually, in furrows spaced 0.80m apart, resulting in a population of 62,500 plants per hectare. Fertilization at corn seeding in all treatments consisted of 30 kg ha⁻¹ N, 110 kg ha⁻¹ P₂O₅, and 70 kg ha⁻¹ K₂O, applied in the form of ammonium sulfate, single superphosphate, and potassium chloride, respectively. Corn sidedressing was performed manually at the V₄ developmental stage of corn at the rates of 30, 60, and 120 kg ha⁻¹ N in the form of ammonium sulfate; the application also included 30 kg ha⁻¹ zinc sulfate. A treatment without fertilizer (0 kg ha⁻¹ N) was included both before seeding and as sidedressing, but receiving the rate of 30 kg ha⁻¹ N at corn seeding as ammonium sulfate and 30 kg ha⁻¹ zinc sulfate during the sidedressing application. The experimental design was randomized blocks in a split-plot scheme with 12 treatments and 4 replicates. The 12 treatments containing N rates corresponded to corn pre-sowing and sidedressing N rate combinations. Microplots were included in the plots of treatments 120-0 and 0-120, respectively, applied prior to sowing and as sidedressing, containing ¹⁵N-labeled ammonium sulfate rates (120 kg ha⁻¹). Soil and plant tissue analyses were carried out, dry mass was quantified, and the % of nitrogen recovery from the ¹⁵N-labeled ammonium sulfate was determined. The mean dry mass values in the plant tissue and in corn grain showed yield increases when nitrogen was applied as sidedressing, but were not significant in the pre-seeding application. The best dry mass yield responses were obtained with N rates (kg ha⁻¹) of: 120-70 and 60-85, applied before seeding and as sidedressing, respectively. The highest grain yields were verified at N rates of 60-60 and 0-96 kg ha⁻¹ applied before seeding and as sidedressing in corn, respectively. N recovery from the ammonium sulfate was 79 and 40%, when applied as sidedressing and before seeding, respectively.

1 INTRODUÇÃO

A cultura do milho e de pastagem com capim-Braquiária ocupam extensa área na região centro-oeste do Brasil e são importantes no desenvolvimento agropecuário da região.

Essas culturas são tradicionalmente plantadas pela maioria dos agricultores e pecuaristas no sistema convencional, de forma monocultural com danos prejudiciais ao ambiente. Na condução dessas culturas, em campo, historicamente, são realizadas de forma diferente com relação ao emprego de tecnologias; enquanto que o milho é altamente tecnificado no manejo da cultura, especialmente em relação às correções e fertilizações de solo, o capim-Braquiária resente-se da aplicação de técnicas de fertilização e dessa forma os pastos vão sendo degradados, causando com o tempo desequilíbrios na relação solo-planta-animal.

Estima-se que área degradada com pastagem no país esteja na ordem de 60.000.000 ha (Oliveira, 2001). A recuperação dessa área com plantio do milho favorece o retorno da mesma ao processo produtivo, como fonte de alimentos para animais e como fornecedora de palhada (resíduo vegetal depositado no solo) e de nutrientes para culturas sucessoras como milho, soja, feijão etc, iniciando-se, dessa forma, a adoção do sistema plantio direto na integração lavoura-pecuária.

Esse sistema está modificando a agricultura no cerrado, utilizando a diversificação e a integração das culturas, protegendo e conservando a água e o solo, além de evitar as perdas de suas características físicas, químicas e biológicas.

Na rotação de culturas, em geral, muitas espécies de gramíneas e leguminosas (aveia preta, milheto, tremoço, ervilhaca, nabo forrageiro, sorgo, serradela, milho, dentre outras) são propostas e recomendadas para serem utilizadas como adubos verdes, ou

como antecessora ao cultivo principal. Essas espécies são plantadas previamente à pré-semeadura a fim de imobilizar o fertilizante aplicado e torná-lo disponível no período de maior exigência da lavoura sucessiva.

Ressalta-se que a escolha dessas espécies que participarão da rotação de culturas irá influenciar na disponibilidade nutricional, na produção de grãos, na formação da palhada e, acima de tudo, a escolha tem que recair em espécies que toleram o inverno seco do cerrado.

O milho e o capim-Braquiária são culturas que respondem às adubações nitrogenadas e são adaptadas às condições edafoclimáticas do Cerrado. A integração dessas duas culturas é praticada para incrementar a produção e dar cobertura ao solo, no verão com o milho, e no inverno com a pastagem.

A integração da cultura do milho com o capim-Braquiária dão sustentação ao modelo de renovação/recuperação de pastagem por meio da redução do risco na formação da palhada, e na produção de grãos das culturas anuais que são usadas para ressarcir as despesas com insumos e serviços.

Há necessidade, no entanto do conhecimento das doses e épocas de aplicação de fertilizantes, notadamente o que contém nitrogênio, a fim de atender a demanda de nutrientes pelo capim-Braquiária e pelo milho que se incorporarão ao novo sistema.

Com relação à aplicação de nitrogênio na semeadura do milho, tanto no sistema convencional (SC) como no sistema plantio direto (SPD), e mesmo na integração lavoura-pecuária, há uma concordância geral em se recomendar à aplicação de 30 a 45 kg ha⁻¹ de N (Raij & Cantarella, 1996; Sá, 1996).

A aplicação no sulco de semeadura de doses mais elevadas de nitrogênio que as citadas anteriormente, favorece a salinização e/ou a alcalinização da rizosfera, reduzindo a taxa de absorção, principalmente de micronutrientes. Portanto, resta saber a dose e a época de aplicação de fertilizantes nitrogenados, se na pré-semeadura ou na cobertura do milho, e também determinar a porcentagem de recuperação do nutriente na referida cultura.

Resultados com aplicação de nitrogênio na integração lavoura-pecuária são incipientes, mas, alguns dados com o nitrogênio aplicado ao solo na época de pré-

semeadura, com as espécies acima assinaladas, mostraram igual produção de grãos de milho àquele aplicado no sistema convencional (Sá, 1996). Essa alternativa prática de aplicação do fertilizante é utilizada por vários produtores, em função do ganho, principalmente, sob o ponto de vista operacional.

Alguns autores (Pöttker & Wiethölter, 2000; Basso & Ceretta, 1998), no entanto, assinalaram que a aplicação de N em pré-semeadura dá bons resultados quando a pluviosidade é bem distribuída durante o ciclo da cultura, mas, a falta de água causa diminuição da produção de palhada, imobilização do nitrogênio pela biomassa microbiana no solo e redução da disponibilidade do nutriente.

Por outro lado, também, a nitrificação e a lixiviação do adubo nitrogenado são intensas quando há excesso de chuva no período de adubação de nitrogênio em cobertura. Os dados não são consistentes em relação à dose adequada e a melhor época de aplicação do fertilizante nitrogenado se na pré-semeadura ou na cobertura do milho.

Um outro ponto a ser destacado refere-se à avaliação da eficiência da aplicação de nitrogênio que é realizada mediante o uso do método indireto, embora importante não revela a derivação do nutriente, se proveniente do solo ou do fertilizante aplicado. Uma complementação a esse método aparente é o uso da técnica de ^{15}N que avalia com satisfatória precisão, a quantidade de N fertilizante recuperado pela cultura e o que permanece no solo. Pelo exposto, justifica-se o uso dessa ferramenta para contribuir nas interpretações dos resultados a respeito do assunto.

Nesse contexto, pode-se levantar a hipótese que no sistema de integração lavoura-pecuária o nitrogênio aplicado em pré-semeadura, na pastagem de capim-Braquiária, apresentará a mesma eficiência que o aplicado em cobertura do milho como cultura sucessora.

O objetivo do trabalho foi determinar as doses de nitrogênio na forma de sulfato de amônio e estabelecer a aplicação desse nutriente se na pré-semeadura e/ou cobertura do milho no sistema de integração lavoura-pecuária.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O cerrado

O bioma cerrado corresponde a 22% do território nacional e situa-se em sua maior parte, entre o espaço mais densamente ocupado do Brasil, Sul-Sudeste e a região Norte. Nas diversas configurações os cerrados distribuem-se de forma descontínua por 12 estados da federação com destaque para Goiás, Tocantins, Minas Gerais, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, além do Distrito Federal, (Resende et al., 1996), cuja área geográfica está 100% sob cerrado.

Estima-se que o cerrado possui 207 milhões de hectares dos quais 136 milhões podem ser incorporados ao processo produtivo. Daí a importância desse ecossistema na produção de alimentos para o Brasil. Grande parte dessa área, aproximadamente 30 milhões de hectares, é ocupada com pastagem em estágio avançado de degradação que necessita de melhoria de qualidade para incorporar-se ao processo produtivo.

O modelo de agricultura tradicional é inadequado ao ambiente dos cerrados. Alguns sistemas de cultivos, diferentes do convencional, dentre os quais a integração lavoura/pecuária é mais viável. Esses sistemas introduzem técnicas que preconizam a rotação de culturas com manutenção da cobertura vegetal, sem o revolvimento do solo, e são mais condizentes com as peculiaridades edafoclimáticas regionais. Tais sistemas, na região, representam uma área com mais de oito milhões de hectares, (Salton et al., 1998), e para a expansão necessitam de apoio dos órgãos afins principalmente no que se refere à pesquisa.

Os cerrados são segundo Adámoli, et al. (1985) e Macedo (1996), um tipo particular de savana que abrangem terras onde coincidem as seguintes condições

climáticas e edáficas: clima tropical estacional, solos distróficos e relevo plano e suave ondulado na maior parte da superfície. Em geral, os solos ácidos de baixa fertilidade e o clima estacional são os dois principais fatores determinantes da presença dos cerrados.

2.1.1 O clima

A maior parte da região dos cerrados enquadra-se no tipo climático Aw (tropical estacional quente e úmido) da classificação de Köppen. Segundo Adámoli et al. (1985) e Macedo (1996), o Distrito Federal apresenta um clima estacional de altitude onde a temperatura média anual é de 20,6°C, com média das mínimas de 16,4°C. A amplitude de variação anual entre a temperatura média do mês mais quente e a do mês mais frio está em torno de 4,2°C.

A precipitação média anual é da ordem de 1600 mm e a duração da época seca é definida em termos de déficit hídrico que varia de quatro a seis meses coincidindo com os meses mais frios do ano. As chuvas são concentradas nos meses de outubro a abril (80%) e a seca nos meses de maio a setembro, com registros de vários anos com precipitação nula no inverno. O mês mais seco tem até 30 mm de chuva em média, embora em certos anos possa ser zero. Há, entretanto, uma grande variação na precipitação média anual e na distribuição das chuvas. Na estação chuvosa há ocorrência de período seco, com intervalo de tempo variável, denominado de veranico.

A evaporação apresenta valores maiores nos meses de agosto a setembro (188,3 mm e 189,2 mm) e menores em dezembro, fevereiro e abril (média de 66,6 mm).

A umidade relativa do ar média é mínima nos meses de agosto e setembro (51%) podendo registrar valores abaixo de 10%, alcançando valores mais elevados em dezembro, janeiro, fevereiro e março (80%).

A insolação apresenta de novembro a março valores médios abaixo de 159 horas, o máximo obtido é em agosto (303,2 horas) e o mínimo em dezembro (125,1 horas). A duração da insolação diária varia de 13,1 horas em dezembro e 11,2 horas em junho e julho. Em termos de radiação anual, os cerrados apresentam índices que variam em torno de 475 a 500 cal cm⁻² dia⁻¹.

O vento varia de 3,5 a 4,8 km h⁻¹ sendo o maior valor registrado nos meses de agosto/setembro e o menor valor nos meses de março, abril e maio.

2.1.2 O solo

No cerrado, mais de 95% das classes de solos são representados pelos Latossolos (50%), juntamente com os Podzólicos (15%), Areias Quartzosas (15%), Litólicos e cambissolos (10%) e plintossolos (6%) (Macedo, 1996).

No Distrito Federal os Latossolos são os mais comuns e intensamente incorporados à agricultura. Dentre os Latossolos, o componente LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico típico ocupa uma superfície de 450.000 km², representando 22,1% da área dos cerrados de Brasília (Leão, 1994).

Esse tipo de solo é derivado, predominantemente, de rocha metamórfica como ardósia, siltito, quartzito e filito de idade pré-cambriana que são rochas ácidas de vários metros de profundidades. São solos minerais, não hidromórficos, em avançado estágio de intemperização. Apresentam argilas de baixa atividade, pouca retenção de bases e virtualmente destituídos de minerais primários, formados por uma mistura em que predominam óxidos hidratados de ferro e/ou alumínio ou argilo-minerais 1:1, de capacidade de troca de cátions (CTC) muito baixa. Em geral, eles ocupam as superfícies mais elevadas (planaltos) em relação à paisagem circundante, e, estão associados às chapadas com declividade menor do que 8%. Essas chapadas apresentam relevo plano ou suave ondulado e ocorrem em superfícies em torno de 1100 m em relação ao nível do mar.

Os Latossolos são solos muito profundos (normalmente superiores a 2m), com seqüências de horizontes A, B, e C pouco diferenciados. As camadas superiores do solo, da superfície até 2-3 m de profundidade secam durante a estação seca. Pelo menos o primeiro metro, geralmente, fica abaixo do ponto de murcha, de maneira que as raízes neste nível não podem absorver água nos meses de seca, causando grandes prejuízos às plantas principalmente aquelas com sistemas de raízes superficiais. Onde o solo é raso, ele resseca completamente durante a estação seca, da superfície até a rocha-mãe. Caso

não haja frestas na rocha-mãe que contenha solo fino, armazenando água, as árvores e arbustos têm que se despir de toda a folhagem. O trecho assim permanece completamente decíduo.

Dentre as características físicas e morfológicas os componentes granulométricos principais são argila e areia. A argila varia de 15 a 80%, os altos teores de argila nesses solos não significam características, tais como alta capacidade de retenção de água, baixa infiltração, alta capacidade de troca catiônica e problemas de aração após chuvas intensas. Os minerais argilosos são do tipo 1:1 e a maior parte da fração argila é composta de óxido de ferro e de alumínio. O silte apresenta-se, relativamente, constante qualquer que seja as combinações entre argila e areia, situando-se entre 10 e 20%. As estruturas dominantes são em forma de blocos subangulares (fracamente desenvolvidos) ou maciças, ultrapequena, granular (Resende et al., 1988; Macedo, 1996; Reatto et al., 1998). Essa forte microestrutura granular nesses Latossolos faz com que ele tenha comportamento semelhante ao de solos arenosos.

Com relação às características químicas pode-se dizer que, quimicamente, mais de 95% dos Latossolos, nos cerrados, é Distrófico e ácido com baixa a média capacidade de troca catiônica e níveis de pH em torno de 4,0 e 5,5 o que os caracterizam como forte e medianamente ácido. (Lopes, 1984; Adámoli et al., 1985).

Os valores de carbono (C) em Latossolos argilosos variam de 0,5 a 2,4% nas camadas superficiais, decrescendo até 0,2% nas camadas inferiores, valores esses considerados de médio e alto. Em solos de textura média, os teores de C são menores. A atividade da matéria orgânica é baixa mesmo que os seus valores sejam altos.

Os valores médios da Capacidade de Troca de Cátion (CTC) no horizonte A dos Latossolos argilosos variam entre 3,9 e 13,9 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, enquanto nos de textura média situam-se entre 4,3 e 5,1 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ (Lopes, 1984).

Os valores da soma de bases (SB), na maioria dos Latossolos, são bastante baixos, variando de 0,2 a 3,8 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ nos horizontes superficiais, com exceção dos desenvolvidos a partir de rochas básicas, em que os valores situam-se em torno de 6,1 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$. Nas camadas inferiores do perfil aqueles valores decrescem consideravelmente. A porcentagem de saturação por bases, na maioria dos Latossolos, é

inferior a 50%, o que caracteriza solos distróficos. (Adámoli et al., 1985; Macedo, 1996 ; Reatto et al., 1998).

A maioria dos Latossolos é álico com saturação de alumínio (m) maior que 50%. Os valores de (m) permanecem constantes ao longo do perfil, a não ser em alguns perfis de Latossolo Vermelho Escuro ou Roxo, onde ocorre um incremento no horizonte B.

Os teores de fósforo disponível são extremamente baixos, situando-se em torno de 2 mg dm^{-3} .

No aspecto da mineralogia pode-se dizer que a fração argila é composta principalmente de caulinita, gibbsita, materiais amorfos, óxido de ferro livre e quartzo (Mothchi, 1977; Rodrigues, 1977). Estudos desenvolvidos sobre a mineralogia, da fração argila de Latossolos de diferentes partes do País, indicam como predominantes a caulinita e a gibbsita, que juntas, perfazem mais de 50% do total (Souza, 1977).

2.1.3 O manejo de solos no cerrado

As técnicas de manejo do solo que se dispõem para o plantio nos cerrados são o Sistema Plantio Direto (SPD), o Cultivo Mínimo (CM) a Sobresemeadura (SS), o Barreirão, o Sistema Santa Fé e o sistema integração lavoura/pecuária, além do Sistema Convencional (SC) de cultivo.

O sistema convencional de cultivo, por longo prazo, é inviável nos cerrados brasileiro. São bastante conhecidos os danos ambientais ocasionados por esse sistema de cultivo, devido ao uso de implemento inadequado que compacta as camadas superficiais, desestrutura e pulveriza a superfície do solo, favorece as invasoras e a ação da erosão hídrica e eólica (Séguy et al., 1984; Kluthcouski et al., 1991). Essa técnica está sendo substituída gradativamente e/ou associada com outros modelos de manejo do solo.

O cultivo mínimo deve ser evitado porque faz oxidar a palhada e ao ser incorporada no solo provoca uma perda significativa de umidade. Na sobresemeadura semeia-se a lavoura a semente (por ex: braquiária) sobre a lavoura (por ex. soja) quando a mesma está na fase de maturação fisiológica. A distribuição das sementes do capim-Braquiária pode ser de avião ou por distribuidor de adubos (pendular ou centrífuga)

dependendo da cultura estabelecida. O sucesso desse método depende principalmente das condições climáticas (chuva) desde a véspera da semeadura do capim-Braquiária até 10 dias após a emergência (Altmann, 2001).

O Plantio Direto é a alternativa mais adequada e baseia-se em programa de rotação de culturas. Caracteriza-se pelo cultivo em terreno coberto por palha e/ou plantas em desenvolvimento controladas por métodos químicos ou combinados e em ausência de preparo do solo por tempo indeterminado. (Muzilli, 1983; Derpsch & Calegari, 1985; Hernani & Salton, 1998).

A rotação de cultura apresenta papel importante na ciclagem de nutrientes uma vez que, de acordo com Mengel & Kirkby (1987), as espécies vegetais diferem entre si, com referência a quantidade de resíduos fornecidos, à eficiência de absorção de íons, e a exploração de diferentes profundidades de solo. Desta maneira, a rotação de cultura melhora, igualmente as características físicas, químicas e biológicas do solo, gerando condições satisfatórias de desenvolvimento às culturas.

Esse sistema de cultivo é realizado com sucesso no sul do País usando leguminosas e gramíneas em sucessão e rotação com as culturas principais e com respaldo de inúmeros experimentos, cujos resultados são apresentados por pesquisadores dentre os quais Derpsch (1984), Sá (1993) e Basso & Ceretta (1998).

Uma das dificuldades que se encontrou para introduzir o SPD, no cerrado, foi o plantio de culturas na estação de outono/inverno, devido o período da seca. Entre as culturas como alternativa de sucessão foi utilizado o arroz ou o milho como principal, seguido de soja ou milheto para safrinha a fim de promover o desenvolvimento do sistema radicular e a produção de palha para a cobertura de solo.

Outra técnica de utilização mais recente, nos cerrados é o sistema de integração lavoura/pecuária. Esta técnica surgiu com o sistema Barreirão como tecnologia de recuperação/renovação de pastagem em consórcio com culturas. Primeiro, o arroz de sequeiro e gradativamente a introdução de milho, milheto e o sorgo, obtendo-se avanço em relação ao sistema convencional de plantio.

Uma alternativa de manejo do solo utiliza a semeadura do capim-Braquiária simultaneamente com a lavoura principal (soja, feijão) colocando as sementes em

profundidades diferentes ou as sementes do capim-Braquiária semeadas logo após a germinação da cultura principal. Esta técnica é denominada de sistema Santa Fé.

Nesse sistema de integração a lavoura garante a reposição de nutrientes e se conduzida sob plantio direto (revolvimento apenas na linha de plantio) evita a perda de matéria orgânica podendo até aumentar seu conteúdo no solo. A fertilização deixada pela lavoura recupera a pastagem e a mantém produtiva.

A integração lavoura-pecuária é tema de grande demanda atual capaz de promover e impulsionar o desenvolvimento da agropecuária do País. Essa integração através do sistema plantio direto tem viabilizado a atividade rural em muitas propriedades no Sul do Brasil (Salton, 1999b), e pode ser alternativa viável para a minimização dos riscos do negócio agrícola.

O uso do milho na integração da lavoura-pecuária ainda é incipiente, mas algumas pesquisas preliminares com soja nesse sistema mostram resultados positivos de melhoria de produtividade das pastagens, da carne, do leite, e dos rebanhos, (Machado et al., 1999) além de fornecer excelente cobertura morta (palha) para o cultivo. A cultura da soja implantada sobre pastagem de *Brachiaria decumbens*, de dois anos, foi beneficiada com maior volume e maior profundidade de raízes. (Salton et al., 1999a).

Embora haja aumento da relação C:N, devido o sistema radicular da gramínea, na região da germinação de sementes de soja, estas raízes ao se decomporem provocam a decomposição natural da superfície do solo que outrora estava compactada possibilitando maior infiltração de água, ar e nutriente (Broch, 1999). Esse autor relata que a maior mudança que ocorre nesse sistema em comparação ao plantio direto sobre coberturas tradicionais (aveia, milheto, trigo, milho safrinha), diz respeito à relação C:N e a alelopatia que podem ser minimizados com a distribuição regular de precipitação pluviométrica.

Outra vantagem que esse método apresenta diz respeito aos microrganismos que habitam o solo e, ao movimentarem-se, abrem galerias, aumentando, com isso, a permeabilidade e a aeração do solo. Ainda podem contribuir para a sua estruturação por meio dos exsudados gomosos. Se não tiver material orgânico, os microrganismos utilizam esses exsudados promovendo a desestruturação do solo (Primavesi, 1982).

No plantio direto da soja sobre pastagem, na região do município de Maracajú (MS), verificou-se que o cultivar de ciclo precoce de soja semeado no início do período recomendado, a colheita de soja dá-se em torno de 10 a 15 de março, ocorrendo logo a seguir a formação espontânea de pastagens pelas sementeiras que estavam no solo. Esse é um fator importante no processo de integração uma vez que em torno de 80 dias após a colheita da soja têm-se pastagem de excelente qualidade a custo zero na época mais crítica do ano, ou seja, nos meses de junho, julho e agosto. Entretanto ao se utilizar cultivares de ciclo médio, cuja colheita acontecerá após 15 a 20 de março, não há boa formação de pastagem, ocorrendo somente no início da regularização das chuvas (setembro a outubro).

2.2 A matéria orgânica do solo

A matéria orgânica do solo (MOS) é resultante, principalmente, da deposição de resíduos de origem animal e vegetal. Esses resíduos ao serem depositados sofrem, inicialmente, decomposição parcial pela mesofauna e, posteriormente, pela ação decompositora dos microrganismos. Uma parte do carbono presente nos resíduos, é liberado para a atmosfera como CO₂, e o restante passa a fazer parte da matéria orgânica, como um componente do solo. A estabilidade do sistema depende, portanto, das taxas de adição e de perdas.

A decomposição microbiana e a erosão segundo Greenland et al. (1992) e Piccolo (1996), provocam perdas nos solos tropicais e subtropicais nos primeiros anos de cultivos que atingem mais de 50% da MO previamente acumulada. A magnitude desses processos, em dadas condições edafoclimáticas, depende direta ou indiretamente do manejo do solo.

Bayer (1996) estimulou as taxas de decomposição e os conteúdos estáveis de carbono orgânico e nitrogênio total em um solo Podzólico Vermelho Escuro, no Rio Grande do Sul, submetido a diferentes métodos de preparo e sistema de cultura. A taxa de decomposição anual da matéria orgânica foi estimada em 2,9% no plantio direto e em 5.4% no preparo convencional, o que representa redução de 85% no valor da taxa de

perda de carbono orgânico por hectare, apenas devido ao fato de eliminar o revolvimento do solo.

Nos trabalhos realizados por Parra (1986), na região do Paraná, foi verificado aumento de 27% no teor de matéria orgânica no plantio direto sobre o plantio convencional. O efeito do plantio direto no aumento da matéria orgânica segundo Vieira (1981), foi superior onde os resíduos depositados na superfície reduzem a amplitude entre as temperaturas enquanto no plantio convencional não ocorre esse efeito.

Black (1973), demonstrou os efeitos da palha de trigo sobre os teores de matéria orgânica, nitrogênio, carbono e relação C:N, nas camadas de até 15 cm de profundidade os quais aumentaram com as quantidades de palha adicionada ao solo.

A perturbação antrópica do sistema estável (solo + cobertura vegetal) normalmente causa mais perdas do que ganhos de carbono, implicando a redução do seu teor ao longo do tempo e a degradação da qualidade do solo no desempenho das suas funções básicas Doran (1997). Para que o sistema atinja estado estável é fundamental que as taxas de adição e de perdas se equivalam (Addiscot, 1992). Daí conclui-se que a adição esporádica ou em pequenas quantidades de resíduos não influencia o teor de matéria orgânica do solo, porque a maior parte de carbono adicionado ao solo é volatilizado na forma de CO₂ e, dessa forma a adição de matéria orgânica ao solo deve ser uma prática continuada.

A manutenção, a recuperação de alto teor de matéria orgânica e da capacidade produtiva do solo em grandes áreas pode ser conseguido pela utilização de pastagens, por redução do revolvimento do solo no caso de sistemas de produção intensiva, e pela adoção de um sistema de rotação de culturas ou outro manejo conservacionista do solo aliado ao bom desenvolvimento das plantas, com inclusão de leguminosas e espécies de alta produção de resíduos (Testa et al., 1992; Mielniczuc et al., 1993; Bayer, 1996).

Tem-se observado que os resíduos da leguminosa são decompostos facilmente e não formam palhada suficiente para cobrir a superfície do solo e formar a matéria orgânica e, por isso, no início da formação do material orgânico e na continuidade eficiente do sistema é indispensável que provoca na superfície do solo a manutenção permanente de uma quantidade de aproximadamente 6 t ha⁻¹ de massa seca. Esse

acúmulo de matéria orgânica prevalece com a influência da temperatura, da umidade e de espécies com maior longevidade de persistência à decomposição.

No Sul do País, as culturas comumente empregadas pelos produtores envolvem basicamente o trigo ou a cevada ou o triticale, as aveias e uma leguminosa normalmente a ervilhaca, no período outono-inverno, e a soja e o milho no período de primavera-verão, (Denardin & Kockhan, 1993), mas, as culturas de milho e das aveias integradas de forma planejadas no sistema de rotação de culturas em função do alto potencial de produção de fitomassa e da elevada relação C:N desta, são quem garantem a manutenção da cobertura morta do solo dentro da quantidade acima preconizada.

Nos cerrados, principalmente nas condições de Brasília, não se tem muito sucesso com aveia preta plantada na safrinha (outono/inverno) para produção de palhada, ela vem apresentando problemas de tolerância à seca e até mesmo problema de ferrugem em alguns anos. Mediante tal situação a palhada, nesse período, ainda é formada com restos de cultivos de milho, sorgo, milheto em sucessão com milho ou soja. Este tipo de manejo comporta-se, no tempo, como uma monocultura e constitui-se uma ameaça à exploração de longo prazo e a sustentabilidade (Spehar & Cabezas, 1999).

Observações realizadas às proximidades de Brasília mostraram que as probabilidades de sucesso da cultura de milho, em safrinha, são de 79%, 56% e 9% respectivamente, para plantio nos meses de janeiro, fevereiro e março. Para o sorgo as probabilidades para esses períodos de plantio, são 91%, 100% e 24%. Apenas o milheto permite plantio no mês de abril, com probabilidade de 6%, como cultura de safrinha, e de 26% para cobertura do solo. O período crítico (50 a 70 dias) dessas culturas deve ocorrer até, no máximo 20 de maio, a partir daí não há mais disponibilidade hídrica no solo (Altmann, 2001).

Sabe-se que nos cerrados do Distrito Federal tem-se grande dificuldade na produção da palhada para cobrir o solo. As braquiárias e outras pastagens podem ser recomendadas para a fase inicial da formação do material orgânico porque normalmente produzem grande quantidade de massa seca, geralmente, com relação C:N (Carbono: Nitrogênio) elevada superior a 40:1. Quanto maior essa relação mais lenta é a taxa de decomposição da palha mantendo a cobertura morta por mais tempo.

Além disso, as gramíneas apresentam o sistema radicular abundante e agressivo que contribui para a melhoria da infiltração de água, da agregação e da aeração do solo. Mesmo as pastagens degradadas por estarem estabelecidas suas raízes ocupam grande espaço do solo e são facilmente recuperadas com a aplicação de fertilizantes minerais destacando-se o nitrogênio. A planta contorna o período da estiagem e pode ser utilizada para feno em pé, pastagens diferidas, silagem ou como palhada da cultura subsequente no sistema integração lavoura-pecuária e dessa forma mantém-se a cobertura do solo no período seco com pastagem e no período chuvoso com lavoura.

2.3 O nitrogênio no solo

O nitrogênio é um constituinte de compostos orgânicos no solo e cerca de 98% encontra-se sob a forma orgânica (Jenkinson, 1968). O teor total de N na camada superficial (0 a 20 cm) do solo varia em geral de 0,05 a 0,5% o que equivale a 1000 e 10000 Kg ha⁻¹ de N respectivamente. Geralmente, menos de 5% do N total está em formas inorgânicas como o íon (NH₄⁺) e o íon nitrato (NO₃⁻).

A implantação do plantio direto principalmente nas suas condições ambientais devido ao seu não revolvimento produz acúmulo de resíduos orgânicos na superfície, e conseqüente aumento da atividade biológica. As reações de mineralização do material orgânico e as transformações do N amoniacal serão intensas.

O N-amoniacal segue vários caminhos: a) absorvido em quantidades razoáveis por alguns dos próprios amonificadores ou por outros microrganismos capazes de utilizar este composto. b) absorvido pelas plantas que tem a capacidade de absorver diretamente essa forma de N. c) adsorvido pelos minerais de argila fazendo parte do complexo de troca do solo. d) fixado no solo e inclusão entre as lâminas dos minerais de argila do tipo 2:1 tornando-se indisponível para as plantas. e) oxidado a nitrato por certas espécies de bactérias quimiolitotróficas que utilizam como fonte de energia, iniciando assim o processo de nitrificação (Fancelli, 1987; Victoria et al., 1992; Bissani et al., 2004).

Na nitrificação há formação de dois íons H^+ para cada NH_4^+ nitrificado, portanto a adição de adubos amoniacais (ou uréia, que se transforma em NH_4^+ no solo) pode provocar acidificação do solo, conforme a reação a seguir: $NH_4^+ + 1,5 O_2 \rightarrow NO_2^- + 2H^+ + H_2O + 66 \text{ Kcal}$, mas esta nitrificação é favorecida pela elevação do pH.

Em condições adversas para o desenvolvimento dos microrganismos a nitrificação é mais afetada do que a mineralização da matéria orgânica devido à especialização dos nitrificadores. Em clima seco ou em baixo pH, por exemplo, a nitrificação pode parar bem antes da mineralização (Bissani et al., 2004).

Em solos ácidos a população desses grupos nitrificadores (nitrossomonas e nitrobacter), é extremamente baixa. A aplicação de quantidades elevadas de fertilizantes amoniacais a solos alcalinos inibe a segunda fase de nitrificação (Aquino, 1984). Nessas condições, a amônia formada é tóxica a nitrobacter sem exercer influencia a nitrossomonas. Como resultado, quantidades tóxicas de nitrito poderão se acumular no solo.

Muzilli (1981), não constatou a ocorrência de acidificação mais acentuada em solo não revolvido. Pavan (1985), explica esse fato afirmando que a mineralização dos restos culturais nessa condição é menos intensa, resultando, portanto, em menor liberação de ácido que, aliado ao maior teor de umidade do solo (efeito de diluição) poderá minimizar o efeito de acidificação do solo.

Estudos realizados por Victoria et al. (1992), mostraram que o conteúdo de N-orgânico e N-mineralizado no plantio direto foi duas vezes superior ao preparo convencional na camada 0-7 cm, e nessa camada o N-mineral foi basicamente representado pelo $N-NO_3^-$. Isso indica maior atividade de microrganismos nitrificadores, pois nessa camada do perfil, a umidade, a temperatura, o teor de carbono, o pH e a disponibilidade de nutrientes para a atividade desses agentes são mais favoráveis em plantio direto do que no preparo convencional.

Thomas et al. (1980) constataram nos solos arados, um incremento na produção de nitratos, provavelmente devido ao contato íntimo estabelecido entre os microrganismos nitrificadores e os restos culturais incorporados e verificaram que nos solos não revolvidos o nitrato produzido e disponível é consideravelmente menor

embora quando da análise do solo o nitrogênio total (orgânico e inorgânico) comportou-se de forma similar sendo freqüentemente maior no plantio direto.

2.3.1 A relação C:N

A maior parte do N do solo encontra-se nos compostos orgânicos. Nessa forma não é disponível para as plantas. A quantidade de N inorgânico presente no solo depende dos teores relativos de C e N, da composição dos materiais carbonados presentes e da atividade microbiana.

Num sistema biológico em equilíbrio dinâmico, em todo momento forma material orgânico por alguns organismos vivos, enquanto que outros organismos decompõem produtos orgânicos, portanto do ponto de vista prático evitar as adições de restos vegetais com alta relação C:N a um solo, na época imediatamente anterior ao plantio de uma cultura, pois a imobilização (N utilizado pelos microrganismos) causará deficiências de N na cultura, caso não adicionar, concomitantemente, N mineral no solo.

Desta forma a relação C:N das culturas em uma rotação influi na taxa de mineralização de resíduos orgânicos, influi na imobilização e influi na liberação de nitrogênio ao solo. A decomposição é inversamente proporcional ao teor de lignina e à relação C:N de resíduos vegetais ou sejam, quanto maior a relação C:N, mais lenta será a decomposição dos resíduos depositados na superfície, e conseqüentemente menos N-mineral disponível às plantas. O conhecimento da relação C:N é importante no uso e estágio de decomposição dos resíduos orgânicos.

Monegat (1991), determinou os teores de nitrogênio e carbono de várias culturas e encontrou na palhada do milho (resíduos de colheita) os valores de C (47,7%), N (0,93%) e C:N (51,29%). Assim, resíduos com relação C:N maiores que 25, formam coberturas mais estáveis no solo, enquanto valores menores, favorecem a mineralização uniforme dos resíduos vegetais com reflexos positivos sobre o suprimento de nitrogênio para plantas não leguminosas (Derpsch & Calegari, 1985; Heinzmann, 1985; Sá, 1993).

A relação C:N de materiais vegetais incorporados a um solo tem influência marcante nas transformações de N, em especial na nitrificação. Em um solo contendo N

ao adicionar quantidades elevadas de resíduos orgânicos com alta relação C:N, a microbiota quimiorganotrófica (bactérias, fungos e actinomicetos) que atuam na decomposição da matéria orgânica torna-se ativa, multiplicando-se rapidamente e produzindo CO₂ em grandes quantidades. Nessas condições, o nitrato e o amônio desaparecem do solo e durante certo período (quatro a oito semanas), predominam condições de pouca ou nenhuma disponibilidade de N mineral para os vegetais superiores.

O tempo necessário para que ocorra o decréscimo da relação C:N até níveis onde passa a predominar a mineralização depende de fatores como a localização, a quantidade, a qualidade e teor da matéria orgânica, temperatura e nível de atividade microbiana do solo, (Campbell et al., 1981; Jansen & Kucey, 1988; Palm & Sanches, 1991; Myers et al., 1994).

Com a continuidade do processo de decomposição, diminui a relação C:N do solo, uma vez que o carbono está sendo perdido na forma de CO₂ e o N sendo conservado pela formação da massa celular microbiana. Essa situação continua até que os resíduos vegetais atinjam relação C:N em torno de 20. Nesse ponto, a atividade de microrganismos decompositores, pela falta de C facilmente oxidável, diminui gradualmente e também a formação de CO₂. O N deixa de ser limitante para os processos microbianos passando então, a haver liberação de N-mineral. A nitrificação volta a ser ativa, produzindo nitrato em níveis até superiores às condições originais.

2.3.2 A imobilização do nitrogênio

A decomposição dos resíduos orgânicos é um processo essencialmente biológico e por isto sujeito às peculiaridades do desenvolvimento e da atuação dos microrganismos. A relação (C:N) do material em decomposição indicará qual o destino imediato do N nos resíduos orgânicos.

Se a relação for baixa em geral menor que 25 a 30, como ocorre em leguminosas até o período da floração, há liberação rápida de NH₄⁺, que pode ser absorvido pelas

plantas, e como o material orgânico é facilmente decomponível significa uma disponibilidade de energia para os microrganismos, cuja população tenderá a crescer.

Acima desses valores da relação C:N, há imobilização temporária pelos microrganismos do N contido nos resíduos e haverá falta de N em relação à quantidade de energia disponível representada pelo carbono. Nesse caso, os microrganismos competem com as plantas pelo N-mineral podendo imobilizá-lo, induzindo assim deficiência temporária de N para as plantas (Fancelli, 1987).

Esse fato tem favorecido a ocorrência de maior resposta a N em lavouras de milho na fase de implantação do sistema de plantio direto, mesmo quando cultivado após leguminosas (Silva et al., 2003).

Em virtude disso, normalmente recomenda-se para o manejo da adubação nitrogenada principalmente em sua fase inicial doses de N em 10 a 30% maiores que as aplicadas no plantio convencional (Ceretta 1997; Ceretta & Fries, 1998).

Salet (1994), estudou a dinâmica de íons na solução de um solo submetido ao sistema de plantio direto e observou que a maior imobilização microbiana do fertilizante nitrogenado pode ser a responsável pela menor absorção de nitrogênio no sistema de plantio estabelecido.

A imobilização do N aplicado pode ser significativa porque o fertilizante é, com frequência, colocado na superfície do solo, onde há acumulação de material orgânico em decomposição (Blevins et al., 1984). Colmos de trigo ou de milho apresentam alta relação C:N, o que favorece esse processo. Por isso é reforçada a hipótese de que nos primeiros anos, há necessidade de doses maiores de nitrogênio para alimentar microrganismos decompositores de material orgânico.

A ocorrência da variação da relação C:N ao longo do processo, com valores oscilando de 20 a 28, indica que em determinados momentos ocorre a imobilização e em outros à mobilização (Holtz, 1995). Na avaliação do comportamento do nitrogênio, no solo, são mais importantes os efeitos do sistema de manejo do solo e o fator tempo do que somente a cultura antecessora.

2.3.3 A distribuição do nitrogênio

O nitrato, a principal forma de nitrogênio absorvida pelas plantas, é um íon móvel. Esse íon move facilmente com a água na maioria dos solos, e nos subsolos com alto teor de óxidos de ferro e baixo pH a mobilidade do íon nitrato é diminuída mesmo assim ela é maior do que a dos outros íons. A redistribuição do N no solo e aproveitamento pela planta depende do movimento do íon nitrato, da relação C:N que influencia a taxa de mineralização, da imobilização por microrganismo no solo e a relação oferta/demanda pelas culturas.

Dessa forma a redistribuição de nutrientes no solo sob sistema plantio direto está estreitamente relacionada aos efeitos químicos e físicos do material orgânico acumulado na superfície. Essa passagem de material orgânico principalmente para composto de alta solubilidade resulta em alterações no comportamento de nutrientes devido às alterações com algumas variáveis de natureza física como a maior disponibilidade de água por períodos mais prolongados, menor variação de temperatura, maior efeito de capilaridade e maior aeração nesse sistema. Esses benefícios como já se viu anteriormente refletem maior atividade radicular e conseqüentemente maior crescimento e desenvolvimento das culturas.

Segundo Thomas et al. (1980), desde que os nitratos tendem a mover-se com a água do solo é necessário conhecer como a água move-se sob condições sem preparo em comparação com o sistema convencional. Segundo esse autor há duas diferenças básicas: 1- Mais água tende mover-se para baixo nos canais naturais não destruídos dos solos em plantio direto, enquanto que no sistema convencional de preparo do solo muito desses canais são destruídos, portanto, o movimento médio de nitrato é mais profundo no solo com plantio direto. 2- Há menor evaporação de água em solos sob condições de plantio direto e conseqüentemente menor movimento de nitratos em direção à superfície e perdas de compostos nitrogenados gasosos para a atmosfera. Uma terceira diferença foi proposto por Phillips et al. (1980), que o nitrogênio tem velocidade de mineralização menor no solo sob plantio direto.

2.3.4 As perdas do nitrogênio

Os levantamentos de dados realizados sobre o assunto mostram que as perdas de N devem principalmente à erosão e escoamento superficial, à lixiviação, à volatilização na forma de amônia e a desnitrificação na forma de óxidos de N e N₂. O maior ou menor índice de perdas está associado à condução do cultivo e manejo do solo.

O manejo da cultura do milho sob semeadura direta é um meio eficiente de promover a redução da erosão do solo e do escoamento superficial. A redução da erosão do solo e do escoamento superficial no sistema de semeadura direta está associada com o aumento e à preservação da quantidade de macroporos do solo. Os macroporos do solo podem reduzir o escoamento superficial devido à formação de canais de fluxo preferencial de solução do solo (Bradford & Huang, 1994).

Gava (2003) realizando um levantamento sob perdas por lixiviação verificou que a maioria dos experimentos (67%) mostrou que as perdas por lixiviação são pequenas e variam de 0,3 kg ha⁻¹ de N a 1,26 kg ha⁻¹ de N quando as áreas cultivadas são fertilizadas com dose de 92 kg ha⁻¹ de N e as maiores perdas de N foram de 20,4 kg ha⁻¹ de N e foram da fração do N nativo do solo. Deduz-se que as doses de fertilizantes nitrogenados utilizados, no Brasil, têm pouca influência na perda de N por lixiviação e conseqüentemente na contaminação de águas subterrâneas (Reichardt et al., 1982).

As perdas por lixiviação de N-NO₃⁻ podem ser problemas em regiões que experimentam elevados índices de chuvas e que apresentam uma associação de solos rasos, arenosos de baixa capacidade de troca catiônica (CTC) e são mal manejados.

A desnitrificação biológica e a volatilização de amônia constituem-se as mais importantes vias de perdas gasosas de N do solo. A maioria das pesquisas onde estabelece o balanço final do N aplicado às culturas agrícolas demonstra que cerca de 20 a 30% do N adicionado não são recuperados, sendo, presumivelmente, perdidos por desnitrificação ou volatilização. Essas perdas de nitrogênio têm que ser avaliadas no sistema de plantio direto, em função do não revolvimento do solo, do aumento da matéria orgânica e retenção de umidade mantida por esse sistema de cultivo principalmente no período chuvoso.

2.4 Eficiência da fertilização nitrogenada

Os fertilizantes nitrogenados quando aplicados no solo sofrem diversas transformações e processos de perdas que vão interferir na eficiência dos mesmos e no desenvolvimento da produção e produtividade das culturas. Por isso, na prática, é difícil determinar a quantidade exata de nitrogênio que a cultura necessita para atingir a produção máxima econômica, pois sua disponibilidade no solo é um processo dinâmico que varia com as mudanças no teor de umidade e temperatura do solo, tipo de fertilizante, e práticas de manejo da cultura.

O grande fluxo de nitrogênio nas raízes das plantas jovens do milho e a eficiência do adubo nitrogenado indicam que é mais desejável um alto teor de N no solo no início do ciclo do que no final do ciclo de desenvolvimento das plantas, quando a menor concentração de N na solução do solo e a menor eficiência na absorção poderão ser compensadas pela maior extensão do sistema radicular.

A eficiência dos adubos nitrogenados está bastante relacionada com a pluviosidade. Em anos com chuvas bem distribuídas durante o ciclo da cultura, a adubação nitrogenada aplicada na semeadura do milho é tão eficiente quanto à aplicação parcelada de adubo. Portanto o clima é um fator determinante para o sucesso ou insucesso da antecipação da adubação, afetando a produtividade do milho, principalmente quando se usa gramínea como cultura antecessora.

O comportamento do N do fertilizante no solo precisa ser conhecido para permitir que as avaliações sobre adubação nitrogenada sejam feitas de maneira não tendenciosa (tamanho da parcela adequado) e/ou possibilitem correções quando for necessário (Powlson & Barraclough, 1993), como também avaliar a eficiência da conversão do fertilizante em massa seca (kg massa seca / kg nutriente aplicado) e dessa forma visualizar a economicidade da adubação na cultura do milho.

Os estudos com milho, no sistema convencional, têm demonstrado resposta positiva à adubação nitrogenada (Cantarella & Raij, 1985; França et al., 1985). No plantio direto que o solo tem mais umidade, menor superfície de contato solo-nutriente, maior aeração, menor variação de temperatura, maior disponibilidade de formas

orgânicas, menor mobilização do solo e maior capilaridade, torna-se necessário esse conhecimento da resposta nutricional, e definir as práticas de manejo e da adubação do solo incluindo-se dose, época, método e fontes de fertilizantes a serem usados, pois essas variáveis afetam substancialmente a fração do nitrogênio aplicado que atinge a superfície da raiz e a eficiência de utilização do nitrogênio pelo milho (Anghinoni, 1985; Reddy & Reddy 1993).

2.4.1 Época de aplicação do nitrogênio

A absorção de nitrogênio pelo milho é mais intensa no período entre 40 e 60 dias após a germinação, mas a planta ainda absorve pequena quantidade na germinação e após o início do florescimento, caracterizando dessa forma três fases para absorção: uma fase no crescimento inicial lento (germinação) uma fase no crescimento rápido onde 70 a 80% de toda matéria seca é acumulada, e uma última fase de absorção na qual o crescimento é novamente lento acumulando cerca de 10% de massa de matéria seca total da planta. (Magalhães, 1979; Machado et al., 1982; França et al., 1994; Harper & Sharpe, 1995; Vasconcelos et al., 1998).

Mediante essas três fases de crescimento do milho procura-se de certa forma adequar ao tipo de manejo utilizado e principalmente a maior demanda de nitrogênio pela planta do milho que já é bem caracterizado e demonstrado por meio dos trabalhos realizados por Hanawy (1963). Além disso, para a planta de milho atingir alta produtividade é preciso otimizar as condições de desenvolvimento da planta, respeitando o seu genótipo, o ambiente e também fornecer quantidades adequadas de nutrientes nas épocas oportunas (Cantarella, 1993).

A questão da época de aplicação de nitrogênio tem sido discutida no sistema plantio direto. Pace (2001), observou que quando o nitrogênio foi aplicado, em pré-semeadura, nas culturas de aveia preta, milheto e tremoço, o milho não respondeu a adubação nitrogenada de cobertura com o uso de tremoço, porém obteve resposta com o uso da aveia preta e milheto, mostrando a importância e o efeito do uso de gramíneas e leguminosas como culturas antecessoras na adubação nitrogenada do milho

Cantarella et al. (2003), observaram nas condições do clima brasileiro, que quando se aplicou o N-fertilizante em pré-semeadura cerca de 30 dias não foram verificadas diferenças na Eficiência de Utilização de Fertilizante Nitrogenado (EUFN) e no rendimento de grãos em relação à aplicação do fertilizante na época de pós-emergência, no estágio fenológico de seis folhas totalmente expandidas (V6).

Sá (1989), avaliando as respostas de milho a nitrogênio, após a cultura de aveia preta em sistema plantio direto, observou que doses mais elevadas de N na semeadura, compensaram a carência inicial da cultura de milho, devido à imobilização do N na mineralização dos resíduos de aveia preta. A resposta ao N aplicado em cobertura, nesse experimento, foi inferior ao aplicado na semeadura. Tal fato foi relatado devido a pluviosidade durante a semeadura ter sido normal, favorecendo a germinação e o desenvolvimento inicial de plantas, e que durante e após a aplicação de nitrogênio em cobertura, ocorreu baixa precipitação, com elevadas temperaturas, interferindo na utilização de N.

Observou-se também nesse experimento, no tratamento sem adubação, que houve carência de nitrogênio na fase inicial de crescimento devido ao efeito da palha de aveia, causando às testemunhas sintomas de amarelecimento nas folhas. Foram verificados que nas parcelas adubadas com 30 kg ha^{-1} de N na semeadura as plantas de milho estavam com crescimento normal e coloração verde intensa. Em geral, a compensação de nitrogênio permitiu melhor crescimento inicial, eliminando a carência induzida pela decomposição de palha de aveia preta e garantiu “estoque” de N para os estádios de alongação e embonecamento de milho.

Segundo Derpsch (1983), a aveia preta possui alta capacidade de extração e de acumulação de nitrogênio na matéria seca (147 kg ha^{-1} de N). Neste caso, a adição de 30 kg ha^{-1} de N, no momento da semeadura, teria reduzido o efeito da alta relação C:N, aumentando a decomposição dos resíduos com maior liberação de nitrogênio no período de maior demanda pela planta de milho.

Já a adição de 60 kg ha^{-1} de N na semeadura causou injúrias às plântulas (sintomas de “queima”) e atrasou o desenvolvimento, porém as condições climáticas

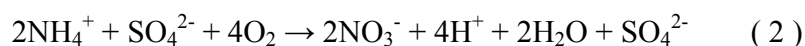
durante esta fase, foram favoráveis e as produtividades foram elevadas, indicando que o milho possui alta capacidade de recuperação.

Com relação ao parcelamento da adubação nitrogenada, os trabalhos recentes recomendam o emprego de 30 kg ha⁻¹ de N no momento da semeadura e o restante em cobertura (Cantarella & Duarte, 1995; Sá, 1995).

2.4.2 O fertilizante nitrogenado

Os adubos nitrogenados mais comercializados e utilizados no Brasil são: Uréia - CO ((NH₂)₂) 44 % de N e Sulfato de Amônio - ((NH₄)₂SO₄) 20 % de N. As características desses fertilizantes é a alta solubilidade em água. Adubos amoniacais dentre os quais o sulfato de amônio tem reação ácida, devido a nitrificação que ocorre no solo.

A adição de sulfato de amônio em um solo pode induzir a variações de pH conforme a reação: (NH₄)₂SO₄ → 2NH₄⁺ + SO₄²⁻ (1)



O NH₄⁺ é oxidado a NO₃⁻ (nitrificação) com a produção líquida de dois íons H⁺ resultando no abaixamento do pH. Na prática, a acidificação mostrada pela equação só não atinge o máximo teórico permitido, ou seja, quatro íons H⁺ para cada molécula de sulfato de amônio, porque parte dos íons NH₄⁺ e dos íons SO₄⁻ são absorvidos pelas plantas, reduzindo, parcialmente o efeito acidificante do sulfato de amônio.

Quando o amônio provém da mineralização da matéria orgânica o resultado na nitrificação é também acidificante de uma forma similar ao processo da equação 2 acima.

O sulfato de amônio aplicado superficialmente, as perdas nos solos ácidos foram desprezíveis, mas, nos solos alcalinos foram altas, atingindo 53% do N, em condições de laboratório, (Cantarella & Tabatabai, 1985) e no campo até 40% do N-total aplicado, (Urquiaga, 1989). Muito pouco nitrogênio é perdido por volatilização de NH₃ do sulfato de amônio aplicado na superfície em solos ácidos (pH < 6,0). (Anjos & Tedesco 1976 ; Campos 1976 ; Terman, 1964).

No sistema de plantio direto, a zona de acidificação é principalmente nos primeiros 5 cm, mas segundo Thomas et al. (1980), a acidificação também ocorre em profundidades de até 20 cm, porém em menor proporção.

Considerando as duas formas do fertilizante-N, imobilização do NH_4^+ é geralmente maior que a do NO_3^- . Segundo Crozier et al. (1998), isso pode contribuir para as diferenças em porcentagem de aproveitamento do N pelo milho.

Grove et al. (1980), encontraram maior produção e aproveitamento de N-ureia em relação ao nitrato de amônio para o milho em solo de cerrado.

Dentre as fontes de N estudadas, por Villas Boas (1990), o nitrato de amônio foi a que promoveu menor peso de matéria seca em todas as épocas amostradas, menor produção de grão, menor quantidade de N no grão, e menor porcentagem de aproveitamento do N (método da diferença) para as três épocas amostradas. Esses dados diferem dos resultados assinalados por Watson (1987), que obteve em ordem decrescente de aproveitamento de N, os seguintes fertilizantes: Sulfato de amônio (60%) > nitrato de amônio (54%) > Uréia (34%).

2.4.3 A localização do fertilizante nitrogenado

Um item importante a ser considerado, tanto para plantio direto como em sistema convencional, é a localização do fertilizante que normalmente é aplicado a lanço, espalhando sobre a superfície ou na linha, no sulco de semeadura. Muito dos trabalhos conduzidos em sistema de plantio convencional tem mostrado vantagens quando o fertilizante é aplicado na linha e tem sido mais efetivo quando o suprimento do nutriente disponível é pequeno.

À medida que aumenta a disponibilidade de nutrientes no solo, a importância da localização da linha decresce. No sistema de plantio direto, não há maneira prática de aumentar o nível de fertilidade em toda camada arável.

Se a fertilização é necessária os fertilizantes são espalhados a lanço sobre os restos culturais ou aplicados, na linha, com dispositivos especiais das semeadeiras que

atingem de forma mais ou menos eficientes a profundidade necessária e a posição requerida em relação às sementes.

Thomas et al. (1980), comentam que muitos dos estudos iniciais em fertilidade do solo no sistema de plantio direto, conduzidos para testar a eficiência de aplicação a lanço de fertilizantes, mostram que nutrientes imóveis aplicados desta maneira, tem apresentado a mesma eficiência, tanto aplicado na linha quanto misturado ao solo.

A aparente razão para isto é que nas condições de plantio direto, os restos culturais, sobre o solo, mantém a umidade na superfície para o crescimento das raízes e subsequente absorção de nutrientes na região de contato (solo - restos culturais).

Outro fator importante é que a aplicação de fertilizantes na superfície pelas máquinas de plantio direto, é feita sobre um volume de solo relativamente pequeno, em área próxima à semente. Por causa disso, há uma reação mínima entre o solo e o fertilizante e a eficiência da aplicação na linha (sulco de semeadura) é provavelmente alcançada (Fancelli, 1987).

Em nutrientes móveis como o nitrogênio não se tem resultados conclusivos e a metodologia de aplicação segue, em geral, o sistema convencional de aplicação no sulco em semeadura e em cobertura 30 a 40 dias após a emergência (DAE).

2.4.4 As doses de nitrogênio

Em plantio direto, as doses assim como as épocas de adubação de nitrogênio estão atreladas às recomendações do sistema convencional de plantio, precisando de dados de pesquisas mais consistente para definir a quantidade de fertilizante e em que momento aplicar essas doses no uso de leguminosas e/ou gramíneas como cultura antecessora.

As quantidades de adubo nitrogenado a utilizar são muito variáveis, dependendo da cultura, variedade e produtividade esperada. Como o milho pode responder favoravelmente a até 150-200 kg ha⁻¹ de N as quantidades recomendadas variam conforme o nível de manejo da cultura, isto é, levando em conta os outros fatores de

produção como cultivar, época de plantio, região climática cultura anterior e rendimentos esperados.

Para as gramíneas forrageiras são recomendadas altas quantidades, pois estas apresentam resposta linear à adição de N até 400-500 kg ha⁻¹. Não é recomendado, entretanto, utilizar doses maiores que as indicadas nas tabelas para evitar a acumulação de NO₃⁻ na planta.

Reddy & Reddy (1993) obtiveram eficiência no uso do fertilizante nitrogenado variando de 43 a 57%. O N perdido foi aproximadamente três vezes maior quando a dose aplicada do fertilizante-N foi aumentada de 100 para 200 kg ha⁻¹ de N.

Broadbent & Carlton (1978) estudaram vários níveis de fertilização nitrogenada em milho irrigado e encontraram eficiência de 30 a 68%, durante um período de três anos, sendo máxima quando a dose aplicada foi de 200 kg ha⁻¹ de N. As doses maiores aumentavam a produção, mas diminuíam a eficiência de utilização do fertilizante. Em doses menores ocorre maior eficiência de utilização de N pela cultura do milho.

Diferença não significativa foi observada por Olson (1980), entre os rendimentos de grãos obtidos com as doses de 50 e 150 kg ha⁻¹ de N nos cultivos de milho por dois anos. Este ponto revela o fato que, do ponto de vista de eficiência em usar fertilizante é importante não aplicar mais N que o requerido para o rendimento máximo.

Rozas et al. (1999), verificaram que nas safras de 1995/1996 e 1996/1997 em semeadura direta, as doses de N-fertilizantes influenciaram a acumulação de N na planta e a produtividade de grãos do milho. Em média os níveis de N-fertilizante de 0, 70, 210 kg ha⁻¹ acumularam 98, 140, 218 kg ha⁻¹ de N na planta e produziram respectivamente 6.710, 9.279 e 10.907 kg ha⁻¹ de grãos de milho.

Fernandes et al. (1998) e Coelho et al. (1992) relataram que as produções de palhada e de grãos de milho aumentaram de forma quadrática com o aumento das doses de N. As doses de N para máxima eficiência econômica (90% da máxima produção) foram de 70 e 80 kg ha⁻¹, respectivamente; tais doses são bem inferiores às doses mais elevadas testadas.

Estudos realizados por Ferreira (1997), com relação o efeito da adubação com quatro níveis de N (0; 70; 140; e 210 kg ha⁻¹) sobre a produção e qualidade de grãos do

milho híbrido precoce “AG 612”, cultivado em solo Podzólico Vermelho Amarelo Câmbico Distrófico, sito em Coimbra-MG, mostraram que a produção de grãos, o número de espigas por planta, o peso das espigas com e sem palha e o peso de mil grãos aumentaram com o incremento das doses de N obtendo-se a máxima produção com a dose de 200 kg ha⁻¹ de N. Os teores de proteína e de todos os nutrientes analisados nos grãos (P, K, S, Ca, Mg, Zn, Mo, Fe, Cu e Mn) aumentaram com o incremento nas doses de N.

Em um Planossolo Hidromórfico de Pelotas-RS cultivado com milho durante três anos, aplicou-se 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de N na forma de uréia aos 30, 45 e 60 dias após a emergência das plantas (DAE). A máxima eficiência técnica (MET) no rendimento de grãos de milho foi alcançada com 129 kg ha⁻¹ de N aplicados em cobertura aos 30 DAE. O ponto de máxima rentabilidade econômica (MRE) foi alcançado, nas mesmas condições com 111 kg ha⁻¹ de N (Cordeiro & Franco, 1994).

O estudo dos efeitos de doses de N sobre características agrônômicas do milho cultivado em um solo com elevado teor de matéria orgânica mostrou que sob condições de estresse hídrico houve menor produtividade e maior efeito de doses de N, em termos de incremento porcentual no rendimento de grãos. Quando as condições hídricas foram mais favoráveis, os valores de rendimentos foram maiores e o efeito do N sobre a produtividade foi menos acentuado. Assim é possível que a distribuição de chuvas mais favorável tenha propiciado maior mineralização da matéria orgânica, reduzindo o efeito do N-mineral (Sangoi & Almeida, 1994).

Muzilli & Oliveira (1982) em trabalho desenvolvido em um solo com teor de matéria orgânica inferior aos do anteriormente citado, constataram maior resposta à aplicação de fertilizantes nitrogenados nos anos de melhor disponibilidade hídrica.

2.5 A recuperação do nitrogênio aplicado como fertilizante

Existem duas maneiras para se calcular a eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado (EUFN): 1- Método indireto (aparente) e 2- Método direto (isotópico). O método indireto determina a recuperação do N-fertilizante pela diferença do N absorvido

por plantas de parcelas adubadas em relação às plantas de parcelas não adubadas. Este método não distingue, no N da planta, o N derivado do fertilizante daquele proveniente do solo ou da atmosfera.

Assume-se nesse método que a mineralização, a imobilização e outras transformações do N bem como o volume de solo explorado pelas raízes é similar tanto em áreas fertilizadas como não fertilizadas. Tal fato não acontece e por esse motivo, geralmente, ocorre uma superestimativa da EUFN, quando essa metodologia é utilizada (Boddey et al., 1991; Hart et al., 1986; Jenkinson et al. 1985; Stout, 1995). Vitti (1998), constatou que esse método pode determinar valores de recuperação de N-fertilizantes superiores a 100%.

Para acompanhar essas diferentes transformações (pools) por que passa o nitrogênio utilizam-se marcadores ou traçadores que são compostos que seguem ou traçam o destino de determinado componente em um sistema complexo (Barraclough, 1995).

A determinação da presença de N marcado na planta ou no solo permite medir de forma direta, as quantidades de N-fertilizante recuperado pela cultura, imobilizado pela biomassa, desnitrificado e consegue distinguir o nitrogênio proveniente do fertilizante daquele oriundo como N nativo do solo.

Nesse método, o N absorvido pelas plantas é calculado pela quantidade de N na planta e pela determinação da razão isotópica do N ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) nas amostras de plantas e do fertilizante marcado aplicado ao solo. Esse método permite distinguir, no N da planta, a parte que é proveniente do fertilizante daquela que vem do solo ou da atmosfera e ainda tem a vantagem de ser mais preciso do que a estimativa de recuperação de N calculada pelo método aparente (Jokela, 1997; Rao et al., 1992; Sanchez & Blackmer, 1988; Takahashi, 1967; Timmons & Cruse, 1990; Trivelin, 1994; Westerman & Kurtz, 1974).

Embora o método isotópico seja considerado o que apresenta maior precisão nas determinações da EUFN e do Nitrogênio da Planta Proveniente do Fertilizante (NPPF) ele também apresenta suas limitações. Quando o N-fertilizante é aplicado no solo, podem ocorrer reações como a “pool substitution” ou o “priming effect” essas reações

levaram Jenkinson et al. (1985) propor o conceito do ANI (interação no solo do nitrogênio mineral adicionado).

Salienta-se que independente do método usado para estimar a recuperação do N aplicado, é importante também assegurar que não haja movimento lateral do N do fertilizante (efeito de bordadura), uma vez que esse deslocamento é uma fonte potencial de erro em experimentos de campo objetivando determinar a recuperação do N do fertilizante pelas culturas.

Segundo Sanchez et al. (1987), se o tamanho da parcela é muito reduzida o movimento lateral de nitrogênio próximo à parcela por fluxo de massa ou difusão dentro do solo ou por translocação por meio das raízes das plantas pode tornar-se uma fonte significativa de erros na determinação da recuperação do N-fertilizante.

Para avaliar a importância desse movimento lateral de fertilizantes marcados em parcelas não limitadas na determinação da recuperação de fertilizantes, foram coletadas amostras de materiais (ex: grãos de milho) de várias posições do lado de dentro e do lado de fora das parcelas de ^{15}N e foram determinados os teores de ^{15}N dessas amostras. Os dados foram ajustados por modelos matemáticos para estimar a extensão em que o movimento lateral de N-fertilizantes causaria erro nos valores de recuperação de fertilizantes determinados para a primeira, segunda e terceira cultura seguida de fertilização. Esses modelos também foram usados para prever o tamanho da parcela necessário para estudos de traçadores ^{15}N . Os resultados desses estudos mostraram que parcelas de ^{15}N tendo tamanho de 2m x 2m são suficientemente grandes para determinar a recuperação de fertilizantes nitrogenados pelo milho sob a maioria das condições (Sanchez, 1987).

Nesse modelo o método diz que a planta de milho posicionada exatamente sobre o limite entre as parcelas marcadas e não marcadas obterá metade do seu N da parcela tendo fertilizante marcado (^{15}N) e metade da parcela tendo fertilizante não marcado (^{14}N). Isto quer dizer que quando duas plantas uma localizada na parcela tendo fertilizante marcado (^{15}N) e outra planta na parcela tendo fertilizante não marcado (^{14}N) encontram-se na mesma distância do limite entre as parcelas, a quantidade de fertilizante

não marcado determinado na planta na parcela marcada será igual para a quantidade de fertilizante marcado determinado na planta crescendo na parcela não marcada.

Diversos autores assinalam, que sob condições de campo, a recuperação dos fertilizantes nitrogenados pela cultura variam de valores tão baixos como 30% e tão altos como 70 a 90% entretanto valores em torno de 50% são os mais observados (Hauck, 1971; IAEA, 1970; Ivanko, 1972; Moraghan et al., 1984; Olson, 1980 ; Rao et al., 1992).

A parte do nitrogênio remanescente pode ser recuperado pelas culturas subseqüentes, pode ser incorporado à matéria orgânica e o restante é perdido por meio da lixiviação ou na forma de gases via desnitrificação e volatilização de amônia. Sendo que a volatilização pode ocorrer também pelo desprendimento do gás NH_3 das plantas para a atmosfera como demonstrado por Harper & Sharpe (1995).

Coelho (1987), encontrou perdas por lixiviação na ordem de 4% quando o N foi aplicado em cobertura na forma de uréia, sendo 56% absorvidos pela cultura do milho, 23% retidos no solo, imobilizados na matéria orgânica, e 17% perdidos do sistema. Portanto restam duas perdas, a gasosa e / ou imobilização biológica.

Reichardt et al. (1982), estudaram a dinâmica do nitrogênio na cultura do milho (*Zea mays* L.) em Latossolo Vermelho Amarelo fase arenosa , utilizando sulfato de amônio enriquecido em ^{15}N (1,201 átomos % em excesso). Dos 80 kg ha^{-1} de N aplicados (1/3 no plantio e 2/3 em cobertura) 71 kg ha^{-1} de N (89%) foram absorvidos pela cultura, sendo que apenas 0,4 kg ha^{-1} de N perdido por lixiviação no perfil do solo (> 120 cm). O restante (8,0 kg ha^{-1} de N) deve ter permanecido no solo uma vez, que as perdas por desnitrificação e volatilização foram desprezíveis.

Objetivando determinar o uso eficiente do nitrogênio e sua partição em vários órgãos da planta de milho, Reddy & Reddy (1993), informaram que as formas de N ($^{15}\text{NH}_4^+$ ou $^{15}\text{NO}_3^-$) não influenciaram o rendimento de grãos nem o acúmulo de nitrogênio nas plantas. Após um ciclo de cultivo o aproveitamento do N do fertilizante $^{15}\text{NH}_4^+$ e $^{15}\text{NO}_3^-$ esteve na faixa de 43 a 56% e 44 a 57% do N adicionado, respectivamente. A partição de ^{15}N em vários órgãos da planta mostrou que 9 a 17% foram translocados para as sementes, 6 a 12% recuperados nas folhas, \approx 6% nas hastes,

< 2% nas brácteas, <0,6% no cabelo do milho, 3 a 5% no sabugo. Perdas de nitrogênio foram maiores nas parcelas que receberam $^{15}\text{NO}_3^-$ do que $^{15}\text{NH}_4^+$.

Trabalhos desenvolvidos por Kitur et al. (1984) e Meisinger et al. (1985), demonstraram que no sistema de plantio direto em baixas doses de N-fertilizantes, ocorreu uma redução da EUFN, e do rendimento da matéria seca da planta de milho. Segundo Kitur et al. (1984), a possível ocorrência de uma maior imobilização do N-mineral no SPD, principalmente na superfície do solo em pequenas doses de N-fertilizante (84 kg ha^{-1} de N) foi a responsável pelo menor EUFN da semeadura direta em relação ao manejo convencional.

Observa-se também que a EUFN decresce à medida que se aumenta a dose de N-fertilizante aplicado (Timmons & Baker, 1992).

A recuperação média do fertilizante ^{15}N na parte aérea de pastagens de gramíneas tropicais foi de 30% do N aplicado, com amplitude de 6,9 a 69,1%. No sistema solo-planta, a recuperação média foi de 73%, indicando que a adubação nitrogenada em pastagens deve ser encarada de maneira sistêmica e não compartimentalizada em que apenas a recuperação na parte aérea é considerada. Frequentemente, os valores de recuperação aparente, observados em gramíneas, são superiores aos estimados pelo método isotópico (Rao et al., 1992; Vitti, 1998 ; Westerman & Kurtz, 1974).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização do experimento

O estudo foi desenvolvido em campo, na Fazenda Água Limpa (FAL) da Universidade de Brasília (UnB), localizada no sul do Distrito Federal no Núcleo Rural Vargem Bonita, da cidade Núcleo Bandeirante, situada à latitude 15° 56' S longitude de 47° 56' W, altitude de 1080 metros em relação ao nível do mar. A área contendo pastagem de capim-Braquiária, implantada há mais de 25 anos, apresentava-se em estágio de degradação. Em todo o tempo a pastagem de capim-Braquiária foi utilizada para o pastejo de bovinos sem receber manejo para melhoria da qualidade.

O período experimental transcorreu entre os meses de maio de 2002 a abril de 2003, abrangendo duas estações caracterizadas por inverno seco (maio / agosto) e verão chuvoso (setembro / abril). Os dados climáticos representativos da área experimental encontram-se na Tabela 1.

Foram registrados os dados mensais totais de precipitação pluviométrica no período chuvoso (setembro a abril) e assinalados os valores de redução na pluviosidade diária, para avaliar a ocorrência de veranico no decorrer do experimento.

O solo pertence à unidade de mapeamento LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico típico (Embrapa, 1999). As principais características deste solo são assinaladas na Tabela 2.

Tabela 1. Média mensal de alguns parâmetros climáticos no período experimental*

Componentes climáticos							
Meses	Pluviosidade (mm de chuva)	Temperatura (°C)	Evaporação (mm de água)	Umidade Relativa (%)	Radiação Global (cal cm⁻² dia⁻¹)	Vento (km/h)	Insolação (h)
Mai/2002	3,8	20,0	118,9	71,7	395,2	3,7	270,3
Jun/2002	0,0	18,1	111,8	68,2	384,4	3,9	279,9
Jul/2002	6,3	19,1	129,3	65,0	373,5	4,0	278,0
Ago/2002	2,3	19,9	168,1	53,8	484,9	4,8	303,2
Set/2002	127,7	21,3	151,6	62,2	467,0	4,7	236,2
Out/2002	136,5	23,2	172,8	57,6	511,8	4,1	200,7
Nov/2002	207,5	22,5	128,0	75,3	435,1	4,0	142,7
Dez/2002	230,4	22,9	113,2	78,8	384,4	3,7	125,1
Jan/2003	180,9	23,0	118,4	82,0	406,8	4,0	180,5
Fev/2003	116,6	22,4	120,5	77,6	465,8	4,0	159,3
Mar/2003	183,1	22,0	98,0	83,5	476,3	3,5	186,8
Abr/2003	70,1	21,8	112,8	79,0	401,4	3,8	222,2

- Universidade de Brasília (UnB) Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária (FAV)
Fazenda Água Limpa (FAL)
Estação Climatológica Automática

Tabela 2. Características químicas e físicas do solo antes do estudo*

Características	Profundidade	
	0 – 20 cm	20 - 40cm
pH em CaCl ₂ (1:2,5)	5,5	5,0
Matéria Orgânica (g dm ⁻³), colorimétrico	41	26
P (mg dm ⁻³), resina trocadora de íons	15	3
S-SO ₄ ²⁻ (mg dm ⁻³) turbidimetria fosfato monocálcico	8	26
K (mmol _c dm ⁻³), resina trocadora de íons	1,8	1,2
Ca (mmol _c dm ⁻³) resina trocadora de íons	16	7
Mg (mmol _c dm ⁻³) resina trocadora de íons	9	5
Al ³⁺ KCl mol L ⁻¹ (mmol _c dm ⁻³)	0	0
H ⁺ + Al ³⁺ pH SMP (acidez potencial)	38	31
S.B (mmol _c dm ⁻³)	26,8	13,2
T (mmol _c dm ⁻³)	64,8	44,2
V%	41	30
M%	0	0
Ctotal (g kg ⁻¹)	23,8	15,1
Ntotal (g kg ⁻¹)	1,2	1,1
C:N	19,8	13,7
B BaCl ₂ microondas/colorimetria (mg dm ⁻³)	0,71	0,85
Cu DTPA-TEA (mg dm ⁻³)	1	0,4
Fe DTPA-TEA (mg dm ⁻³)	61	38
Mn DTPA-TEA (mg dm ⁻³)	1,2	0,4
Zn DTPA-TEA (mg dm ⁻³)	5,3	0,8
Areia (g kg ⁻¹)	90	50
Silte (g kg ⁻¹)	60	80
Argila (g kg ⁻¹)	850	870

- Método do Instituto Agronômico de Campinas (IAC).
Análise realizada no laboratório de solos da ESALQ/USP

3.2 Preparo da área experimental

Em julho de 2002, a área experimental foi marcada, e todos os detritos foram retirados permanecendo apenas o capim-Braquiária. Realizou-se uma roçagem mecânica rente ao solo, para manter a homogeneidade da altura do capim-Braquiária. Em

setembro de 2002, na área com pastagem, foram abertos os sulcos com o implemento arado do tipo “bico de pato” acoplado em trator, para a semeadura do milho, no espaçamento de 0,80m entre as linhas.

A área total de 3.476,8 m² (82m x 42,4 m) foi dividida em parcelas (289,73 m²) e subparcelas (72,43m²) com suas respectivas bordaduras para comportarem respectivamente, os três tratamentos principais (parcelas), em pré-semeadura 0,60, e 120 kg ha⁻¹ de N e os quatro tratamentos secundários (subparcelas) em cobertura do milho 0, 30, 60 e 120 kg ha⁻¹ de N.

O local das microparcelas, situado dentro das subparcelas dos tratamentos 0-120 e 120-0 kg ha⁻¹ de N, cobertura e pré-semeadura, respectivamente, foi selecionado ao acaso, ao longo do sulco de semeadura, com comprimento de um metro linear, sendo esse espaço destinado, à aplicação do fertilizante sulfato de amônio marcado com ¹⁵N.

3.2.1 Aplicação de calcário

O calcário foi analisado e determinado à porcentagem de carbonato de cálcio e carbonato de magnésio, poder de neutralização (PN) e granulometria, sendo classificado como calcário dolomítico com poder relativo de neutralização total (PRNT) de 94,4%. A quantidade de calcário dolomítico (1.300 kg ha⁻¹) aplicado ao solo foi calculada tomando-se os valores da capacidade de troca de cátion (CTC) e saturação por bases (SB) do solo, e ainda o valor desejado para atingir saturação por base de 60%, que é recomendável na região para a cultura do milho (Emgopa, 1988). O calcário dolomítico foi aplicado a lanço, manualmente, logo após o nivelamento da altura do capim-Braquiária, em 17/07/2002.

3.2.2 Adubação corretiva

Em toda área experimental foi realizada a fosfatagem e a potassagem. Os fertilizantes, nessa prática, foram aplicados a lanço, no capim-Braquiária já com a altura nivelada, nas doses de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 50 kg ha⁻¹ de K₂O, respectivamente, na

forma de superfosfato simples e cloreto de potássio. Esses fertilizantes foram aplicados no mês de setembro de 2002, dois meses após aplicação de calcário.

3.2.3 Adubação de pré-semeadura

3.2.3.1 Nitrogênio não marcado

A adubação nitrogenada de pré-semeadura com sulfato de amônio (21,06 % de N) nos níveis de 0, 60 e 120 kg ha⁻¹ de N foi distribuída, manualmente, nos sulcos de semeadura, nas três parcelas correspondentes às doses a serem aplicadas em pré-semeadura. Essas parcelas foram sorteadas ao acaso na área experimental e receberam a adubação de pré-semeadura com sulfato de amônio em 26/09/2002.

3.2.3.2 Nitrogênio marcado

O sulfato de amônio marcado com ¹⁵N (3,078% em átomos de ¹⁵N) correspondente à dose de 120 kg ha⁻¹ de N foi preparado no Laboratório Isótopos Estáveis do CENA / USP. Esse fertilizante marcado foi dissolvido em água (2 L) e armazenado em dois frascos com capacidade de 1 L, sendo destinado as microparcels nas épocas de pré-semeadura e cobertura do milho respectivamente. A solução de sulfato de amônio marcada, no momento da aplicação em pré-semeadura, em 18/09/2002, foi dividida em quatro partes de 250 ml e distribuída, com auxílio de pipeta graduada, no sulco da semeadura do milho, nas quatro repetições da microparcela de um metro de comprimento. Esse mesmo procedimento foi utilizado com o outro frasco da solução no momento da cobertura do milho.

3.2.4 Adubação de semeadura

A adubação de semeadura foi realizada com as doses de 30 kg ha⁻¹ de N, 110 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 70 kg ha⁻¹ de K₂O nas formas de sulfato de amônio, superfosfato simples e cloreto de potássio respectivamente. Esses fertilizantes foram distribuídos, manualmente, no sulco da semeadura do milho e cobertos com o solo em todas as subparcelas inclusive no tratamento sem N em pré-semeadura e em cobertura (0 - 0 kg ha⁻¹ de N). Essa adubação foi realizada em 25-26/11/2002.

3.2.5 Adubação de cobertura

A adubação nitrogenada de cobertura foi realizada com sulfato de amônio nos níveis de 0, 30, 60 e 120 kg ha⁻¹ de N. Foi aplicado, juntamente à essa adubação de cobertura, inclusive no tratamento sem N (0 kg ha⁻¹ de N), 30 kg ha⁻¹ de sulfato de zinco para corrigir possíveis deficiências de Zn nas plantas do milho. A fertilização de cobertura foi realizada manualmente em 06/01/2003, em sulcos distanciados aproximadamente 8 cm da linha de milho, 21 dias após a emergência (DAE), quando as plantas apresentavam quatro folhas expandidas. Após a aplicação dos fertilizantes foi realizada a prática da amontoa em todos os sulcos de semeadura do milho. O nitrogênio marcado e destinado para ser aplicado na época da cobertura do milho (tratamento: 0-120 kg ha⁻¹ de N), seguiu o mesmo procedimento descrito na época de pré-semeadura.

3.2.6 Semeadura

A semeadura do milho foi realizada em 09 e 10/12/2002, em sulcos abertos previamente, usando sementes de milho híbrido simples (AG 405), precoce, semi-duro, tolerante a seca e as principais doenças foliares. A semeadura foi manual (matraca), em sulcos com espaçamento de 0,80 m e com distribuição de 10 sementes por metro linear. Após a emergência foi realizado o desbaste que resultou em cinco plantas de milho por

metro linear distanciadas em média de 0,20 m. Em cada cova permaneceu uma planta de milho perfazendo uma população de 62.500 plantas de milho por hectare.

3.2.7 Controle fitossanitário

A parte aérea do capim-Braquiária foi dessecada com a aplicação do herbicida Paraquat na dose de 2 L ha⁻¹. Essa aplicação foi realizada de forma mecanizada em 16 de novembro de 2002. O herbicida de contato foi utilizado a fim de dessecar apenas a parte aérea do capim-Braquiária, e procurando minimizar os danos na biomassa radicular e microbiana do solo. Tal procedimento evitou as perdas de água por evapotranspiração e gerou economia devido à não aquisição de sementes do capim-Braquiária para o plantio, diferenciando, dessa forma, dos demais modelos de plantio empregados na região.

Devido à ocorrência de veranico em novembro / dezembro de 2002 (Figura 4) a semeadura do milho sofreu atraso e houve a necessidade de se aplicar mais 2 L ha⁻¹ do herbicida. Essa aplicação visou dessecar as brotações que surgiram durante o veranico que ocorreu por um período de 16 dias.

Em quinze de janeiro de 2003, foi aplicado de forma mecanizada o inseticida Carbaryl para controlar o ataque de lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*), na dose de 1,8 L ha⁻¹. Posteriormente, houve a necessidade de aplicação, manual, desse inseticida nas plantas da microparcela de milho com ¹⁵N, devido o ataque severo da lagarta nessas plantas. Essa aplicação manual favoreceu uma alta concentração do produto na folha, queimando toda a parte aérea do milho da microparcela. Em função disso a avaliação da recuperação do N do sulfato de amônio pelas plantas do milho na microparcela ¹⁵N foi realizada por meio do modelo matemático proposto por Sanchez et al. (1987). Esse modelo foi utilizado para detectar a extensão do movimento lateral de N e determinar o tamanho mínimo da microparcela com ¹⁵N, para que o movimento do nitrogênio por fluxo de massa, difusão ou pelo crescimento do sistema radicular, não afetasse a marcação de plantas no interior das microparcels, pelo N não marcado aplicado no entorno dela.

3.3 Amostragem e análise de solos

Antes do início do experimento, em 06/05/2002, a área escolhida foi amostrada nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm e as amostras analisadas no laboratório de solos do Departamento de Solos e Nutrição Mineral de Plantas da ESALQ / USP, para a caracterização química e física do solo (Tabela 2).

Durante o experimento as amostras de solo, foram colhidas na profundidade de 0-10 cm, secas ao ar, limpas, peneiradas em peneiras de 2 mm de malha, moídas em moinho de bola, e armazenadas em frascos plásticos vedados, para posterior análise em laboratório, salvo as amostras de solo para determinação de NH_4^+ e NO_3^- que foram inicialmente congeladas, com a umidade natural, e transportada para o Laboratório de Isótopos Estáveis CENA / USP, e que após o descongelamento essas amostras foram sub-amostradas sendo uma parte secas em estufa a 105°C para determinação de umidade e outra parte foi submetida à determinação do nitrogênio mineral.

As amostras de solo foram colhidas para atender as finalidades descritas abaixo:

- a. Amostras de solo foram colhidas em todos os tratamentos das sub parcelas em 10/02/2003, 10/03/2003 e 10/04/2003 para determinar o teor de nitrogênio total. As determinações de alguns atributos químicos do solo (M.O, S-SO₄²⁻, pH; Al⁺⁺⁺, K⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺) foram realizadas nas amostras de solo colhidas em 10/02/03 e 10/04/03. Essas datas de amostragem são correspondentes aos 30, 60 e 90 dias após aplicação das doses de sulfato de amônio, em cobertura, com o milho nos estádios de oito folhas expandidas, inflorescência masculina e feminina e maturação fisiológica respectivamente. Essas análises foram analisadas no laboratório de análise de solo da ESALQ/USP.
- b. Amostras de solo colhidas nas quatro repetições dos tratamentos 0-120 e 120-0 kg ha⁻¹ de N, cobertura e pré-semeadura respectivamente, em 18/04/2003 para determinações de N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻. Essas determinações foram realizadas no Laboratório de Isótopos Estáveis, CENA/USP.

As análises físicas e químicas de solo seguiram os métodos padrões preconizados por Raij et al. (2001) e são assinaladas a seguir, mediante uma descrição resumida.

O pH do solo foi medido em CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$. A Matéria Orgânica foi determinada pela oxidação úmida com $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ $0,667 \text{ mol L}^{-1}$ e H_2SO_4 5 mol L^{-1} após oxidação completa mediu-se a absorbância em colorímetro à 650 nm . O alumínio trocável foi extraído com KCl 1 mol L^{-1} e depois titulado com NaOH $0,025 \text{ mol L}^{-1}$. O cálcio e magnésio trocável foram extraídos por resina trocável e quantificados por espectrometria de absorção atômica de chama (EAAC). O potássio (K^+) trocável e o fósforo (P) foram extraídos também por resina, sendo o potássio determinado por fotometria de chama e a intensidade da cor do fósforo foi medida em um colorímetro com o uso de ácido ascórbico e molibdato de amônio para dar o desenvolvimento da cor. A acidez potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}^{+++}$) foi determinada com a solução tampão pH SMP. O S-SO_4^{-2} foi extraído com fosfato monocálcico, e posterior medição da turbidez formada pela precipitação do sulfato pelo cloreto de bário, em colorimetria. Os micronutrientes Zn, Cu, Fe e Mn foram extraídos pelo di etileno penta acético (DTPA) e quantificado por meio de EAAC. O Boro (B) foi extraído com BaCl_2 (microondas) e quantificado através de espectrofotômetro a 420 nm . Para a determinação de NO_3^- e NH_4^+ de amostras de solo de 50 g , o N-mineral foi extraído com 150 ml da solução de KCl 2 mol L^{-1} (1:3). Essa solução foi agitada por uma hora e filtrada em papel de filtro quantitativo faixa azul e de filtração lenta. Os extratos foram diluídos com água deionizada até 250 ml . Alíquotas de 50 ml dos extratos foram utilizados para destilação com MgO calcinado e liga de Dewarda, sendo o destilado recolhido em solução de H_3BO_3 (20 g L^{-1}) e posteriormente titulado com H_2SO_4 $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ padronizado para obter a concentração de nitrogênio mineral total nas amostras de solo (Parkinson & Allen, 1975 ; Keeney & Nelson, 1982; Bremner & Keeney, 1966).

A determinação do nitrogênio total do solo foi realizada por digestão das amostras de solo com mistura digestora contendo ácido sulfúrico e posterior destilação com hidróxido de sódio, sendo o destilado recolhido em solução de H_3BO_3 (20 g L^{-1}) e posteriormente titulado com ácido sulfúrico $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ (Parkinson & Allen, 1975).

As análises físicas foram realizadas em amostras de solo, colhidas na área experimental, antes do início do experimento, e constaram da análise granulométrica cujos resultados encontram-se na Tabela 2. Essas análises foram realizadas no Laboratório de Física de Solos, do Departamento de Ciências Exatas, ESALQ / USP.

A densidade do solo foi determinada pesando-se o solo amostrado no anel de Kopecky coletado com auxílio do penetrômetro, nas camadas de 0-10 e 10-20 cm de profundidade nas quatro repetições das subparcelas dos tratamentos com 0 - 120 e 120 - 0 kg ha⁻¹ de N. Essas amostras foram secas em estufa na temperatura de 100°C por 48 horas.

Foram avaliados, também, os minerais secundários em amostras do solo do experimento na profundidade de aproximadamente 80 cm e foi constatado o mineral caulinita em maior quantidade seguida de gibbsita e traços de quartzo. Essas amostras foram analisadas no Laboratório de Geologia da UnB.

Foi realizada a análise microbiológica nas amostras de solos coletadas na profundidade de 10 cm nos tratamentos com 0-120 e 120-0 kg ha⁻¹ de N para determinação de números mais prováveis de microorganismos celulolíticos (NMP). Essas determinações foram realizadas no Laboratório de Microbiologia do Departamento de Solo e Nutrição Mineral de Plantas, ESALQ.

3.4 Amostragem e análise de tecido vegetal

As amostras de tecido vegetal, colhidas na parte aérea do milho e do capim-Braquiária, foram secas em estufa ventilada a 65°C até massa constante, para determinação de umidade; em seguida moídas em moinho tipo Wiley e armazenadas em frascos plásticos, identificados, vedados, para análise em laboratório. Alguns detalhes dos procedimentos e épocas de colheitas dessas amostras são descritos a seguir:

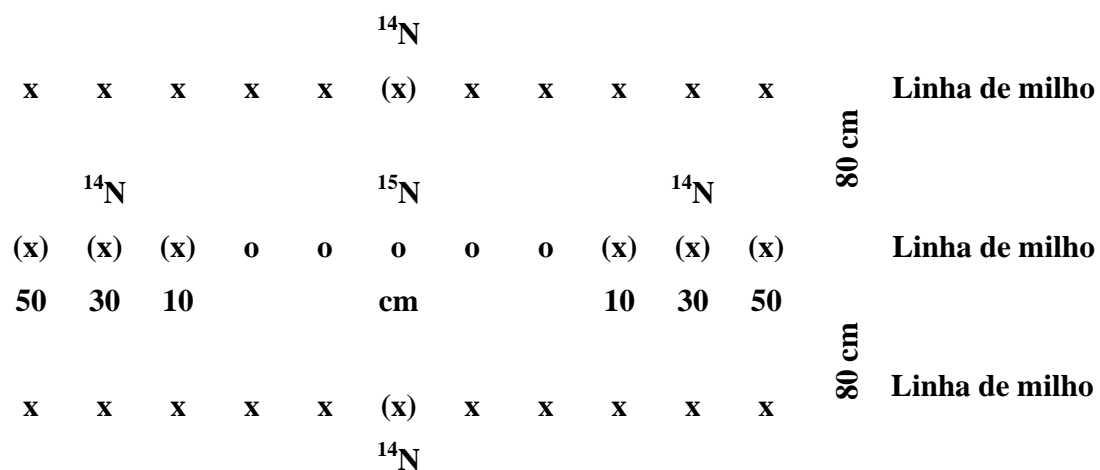
- a. Amostras de tecido vegetal da parte aérea do capim-Braquiária colhidas a partir do nível do solo nas quatro repetições de todos os tratamentos. Essa amostragem foi realizada antes do dessecamento da parte aérea do capim-Braquiária, amostrando-se aleatoriamente a parte aérea das plantas em unidades amostrais de 0,50m x 0,50 m.

Nessas amostras foi determinada a quantidade de massa seca (MS) em kg ha^{-1} . Essas amostras foram colhidas em 15/11/2002

- b. Amostras de tecido vegetal da parte aérea do capim-Braquiária colhidas a partir do nível do solo nas quatro repetições de todos os tratamentos. Essa amostragem foi realizada na época da colheita do milho, nas subparcelas, aleatoriamente, e com auxílio de unidades amostrais de 0,50 m x 0,50 m. Nessas amostras foram determinadas as concentrações de nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio, e a quantidade de MS em kg ha^{-1} . Essas amostras foram colhidas em 29/04/2003 e analisadas no Laboratório de Nutrição Mineral – ESALQ / USP.
- c. Amostras da parte aérea de duas plantas de milho colhidas a partir do nível do solo nas quatro repetições de todos os tratamentos, quando o milho estava nos estádios de: a- oito folhas expandidas, b- inflorescência masculina e feminina e c- maturação fisiológica. Essas épocas de colheita das amostras correspondem, respectivamente, aos trinta, sessenta e noventa dias após aplicação de N na época da cobertura do milho. As amostras foram analisadas no Laboratório de Nutrição Mineral da ESALQ / USP em 10/02/2003; 10/03/2003 e 10/04/2003. A concentração de nitrogênio foi determinada nas três épocas amostradas enquanto que a concentração de outros nutrientes (potássio, cálcio, magnésio, enxofre) foi determinada em duas épocas aos 30 e 90 dias após a aplicação de N em cobertura do milho. Foi determinada também a massa seca (kg ha^{-1}) da parte aérea do milho na época da colheita.
- d. Amostras dos componentes (grãos, palha + sabugo, folha + colmo) da parte aérea do milho às vizinhanças do limite externo das microparcelsas marcadas com ^{15}N (Figura 1). Tal procedimento foi empregado pelo fato dessas plantas substituírem àquelas da microparcela de milho marcado com ^{15}N que tiveram a parte aérea queimada devido à aplicação de doses concentradas do inseticida carbaryl. Essas amostras foram colhidas, em 18/04/2003, nas subparcelas dos tratamentos 0- 120 e 120-0 kg ha^{-1} de N para avaliação da recuperação de nitrogênio na parte aérea do milho. A parte aérea do milho foi cortada rente à superfície do solo e separado todos os componentes a serem avaliados. Todos esses componentes, (grãos, palha + sabugo, folha + colmo) foram triturados em picadeira e dependendo da necessidade foram moídos,

separadamente, em moinho tipo Wiley, e secos em estufa a 65°C até peso constante. Em seguida foram armazenados em recipientes plásticos, identificados e vedados para análise e determinação da abundância isotópica de ^{15}N , em laboratório.

- e. Amostras de resíduos do milho e do capim-Braquiária em agosto/2003, nos tratamentos 0-120 (cobertura) e 120-0 kg ha⁻¹ (pré-semeadura) quatro meses após a colheita do milho. Essa amostragem foi realizada, aleatoriamente, com auxílio de unidades amostrais de 0,50 m x 0,50 m e determinada a quantidade de massa seca em kg ha⁻¹.
- f. Amostras da parte aérea do capim-Braquiária em março/2004. Essa amostragem foi realizada nos tratamentos 0-120 e 120-0 kg ha⁻¹, aleatoriamente, com o emprego de unidades amostrais de 0,30 m x 0,30 m e determinada a quantidade de massa seca, em kg ha⁻¹.



(x) = plantas de milho amostradas nas distâncias 10, 30, 50 e 80cm a partir do limite da microparcela com ^{15}N

o = plantas do interior das microparcelas marcadas com ^{15}N

Figura 1 – Croqui representando a localização das plantas de milho em relação ao limite das microparcelas marcadas com ^{15}N

As análises de tecido foliar foram realizadas no Laboratório de Nutrição Mineral do Departamento de Solos e Nutrição mineral de Plantas, ESALQ/USP, seguindo-se a metodologia proposta por Sarrugue et al. (1974). O nitrogênio total da folha foi extraído e determinado por digestão Kjeldahl. Os elementos S, K, Ca, Mg, foram extraídos por digestão nitroperclórica e a determinação no extrato foi realizada conforme se segue: K - fotometria de chama, S - turbidimetria após reação com BaCl₂ e Ca, Mg, por EAAC.

Os componentes da parte aérea (grãos, folha+colmo e palha+sabugo) das microparcelsas de milho marcadas com ¹⁵N, foram amostrados e determinados os valores de N-total e abundância isotópica de ¹⁵N (% de átomos) por espectrometria de massa (Trivelin et al., 1973; Bremner & Mulvaney, 1982 e Barrie & Prosser, 1996), no espectrômetro de massas acoplado ao Analisador Automático de Carbono e Nitrogênio (ANCA) modelo SL, 20-20, PDZ - Europa Scientific, UK.

3.5 Colheita do milho

A colheita do milho foi realizada em 29/04/2003, aproximadamente 140 dias após a semeadura, quando os grãos apresentavam-se com 21 % de umidade. Foram colhidas as espigas de milho em todos os tratamentos em uma área útil de 7,2 m² (3,0 x 2,4 m) escolhida aleatoriamente nas subparcelas. As espigas foram debulhadas e determinadas a massa seca dos grãos de milho em kg ha⁻¹ e ajustados a 13% de umidade. Em seguida os grãos foram amostrados e secos em estufa a 65°C até peso constante para determinação da umidade e o teor de nitrogênio total.

3.6 Avaliação do Nitrogênio marcado com ¹⁵N

A quantidade de N extraída pela planta foi calculada por meio das seguintes expressões:

a) Nitrogênio Acumulado (NA)

$$NA = \frac{N \times MS}{1000} \quad (1)$$

NA - Nitrogênio Acumulado (kg ha⁻¹)

N -concentração de nitrogênio (mg kg⁻¹)

MS - Massa Seca (kg ha⁻¹)

b) Cálculo da porcentagem do Nitrogênio na Planta Proveniente do Fertilizante (NPPF).

$$\%NPPF = \frac{\% \text{ Át. } ^{15}\text{N em excesso na planta}}{\% \text{ Át. } ^{15}\text{N em excesso no fertilizante}} \times 100 \quad (2)$$

significando: % At. ¹⁵N em excesso na planta → % At. ¹⁵N na planta subtraindo-se a abundância natural de ¹⁵N; % At. ¹⁵N em excesso no fertilizante → % At. ¹⁵N no fertilizante subtraindo-se a abundância natural de ¹⁵N.

c) Cálculo da Quantidade de Nitrogênio na Planta Proveniente do Fertilizante (QNPPF).

$$QNPPF = \frac{NPPF \times NA}{100} \quad (3)$$

d) Cálculo da porcentagem da Recuperação do Nitrogênio do Fertilizante pela Planta.

A recuperação significa a eficiência com que o nitrogênio aplicado é utilizado em função da quantidade fornecida de fertilizante marcado e é expresso em porcentagem.

$$\% \text{ REC} = \frac{QNPPF}{QNA} \times 100 \quad (4)$$

onde:

% REC. - Porcentagem de Recuperação do fertilizante

QNPPF - Quantidade do Nitrogênio na Planta Proveniente do Fertilizante (kg ha^{-1}).

QNA - Quantidade de Nitrogênio Aplicado como fertilizante marcado.

e) Cálculo do QNPPF teórico

O QNPPF teórico (3) foi calculado por meio dos dados obtidos dos componentes da parte aérea do milho (grãos, colmo + folha, palha + sabugo) situadas nas distâncias de 10, 30 e 50cm do limite das parcelas marcadas e não marcadas com ^{15}N e na linha de semeadura do milho. Os resultados de QNPPF teórico (Y) calculados foram relacionados com as suas respectivas distâncias (x) obtendo-se uma equação da reta.

Determinou-se o valor de (Y) na equação da reta para todos os valores de (x) inclusive para (x) igual a zero (0). Em seguida esse valor de (Y) foi multiplicado por dois determinando-se o QNPPF teórico no centro do segmento da linha de milho da microparcela marcada com ^{15}N . A soma desse valor mais duas vezes o valor do QNPPF teórico das plantas das linhas adjacentes e distantes 80 cm do segmento da linha de semeadura do milho marcada com fertilizantes ^{15}N , encontra-se o valor de QNPPF total no centro da microparcela marcada com ^{15}N e foi determinada para cada um dos componentes da parte aérea do milho (grãos, folha+colmo e palha+sabugo) (Sanchez et al., 1987 e Trivelin et al., 1994).

3.7 Delineamento experimental e análise estatística

O delineamento experimental foi em blocos casualizados no esquema de parcelas subdivididas, com 12 tratamentos e 4 repetições tendo como tratamentos principais (parcela) os três níveis de nitrogênio aplicados na pré-semeadura do milho (0, 60 e 120

kg ha⁻¹ de N) e os tratamentos secundários (subparcela) com os quatro níveis de nitrogênio (0, 30, 60 e 120 kg ha⁻¹ de N) aplicados na cobertura do milho.

Os doze tratamentos com doses de N corresponderam às combinações das doses em pré-semeadura e cobertura do milho e foram distribuídos por sorteio em cada um dos quatro blocos casualizados contendo cada bloco três parcelas, doze subparcelas e segmentos de linhas (microparcelas), organizados de acordo com o croqui experimental apresentado na Figura 2. As microparcelas foram incluídas nos tratamentos: 120-0 e 0-120 com doses de sulfato de amônio (120 kg ha⁻¹) em pré-semeadura e cobertura marcadas com ¹⁵N.

As subparcelas constaram de sete linhas de plantas sendo as duas externas bordaduras e as cinco internas plantas úteis. Cada planta ocupou uma área de 0,16 m² (0,20m x 0,80 m) totalizando 62.500 plantas por hectare. As bordaduras eram duplas tanto internamente como externamente.

Os dados foram submetidos à análise de variância e realizados os testes estatísticos de comparação de média e de regressão empregando-se o software SAS (SAS Institute, 1990).

3.8 Atividades desenvolvidas na área experimental

As principais atividades desenvolvidas na área experimental foram registradas e são expostas por meio de fotos em seqüência de escala de execução com legenda de identificação (Figura 3).

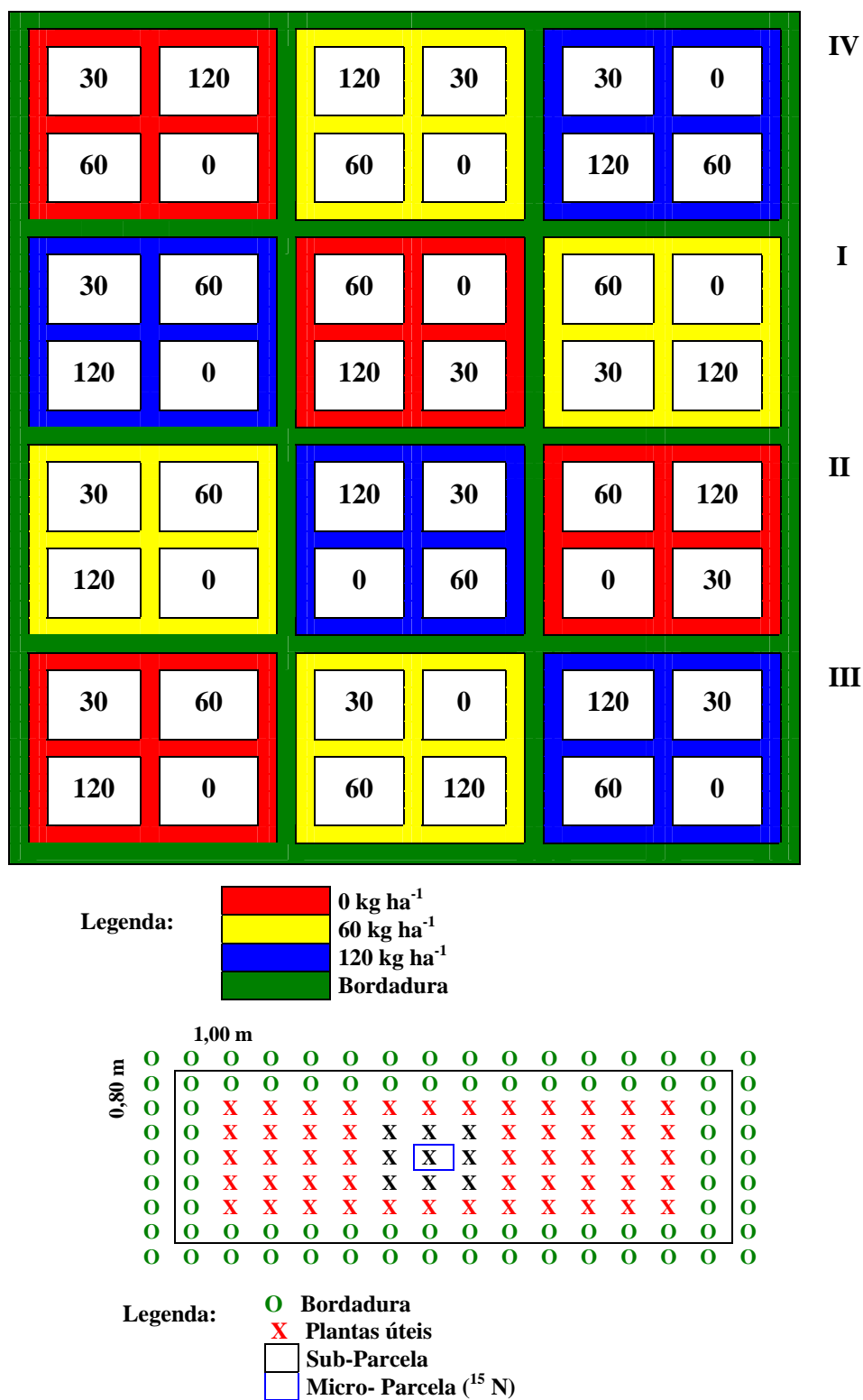


Figura 2 – Croqui da área experimental, definindo blocos, parcelas e subparcelas

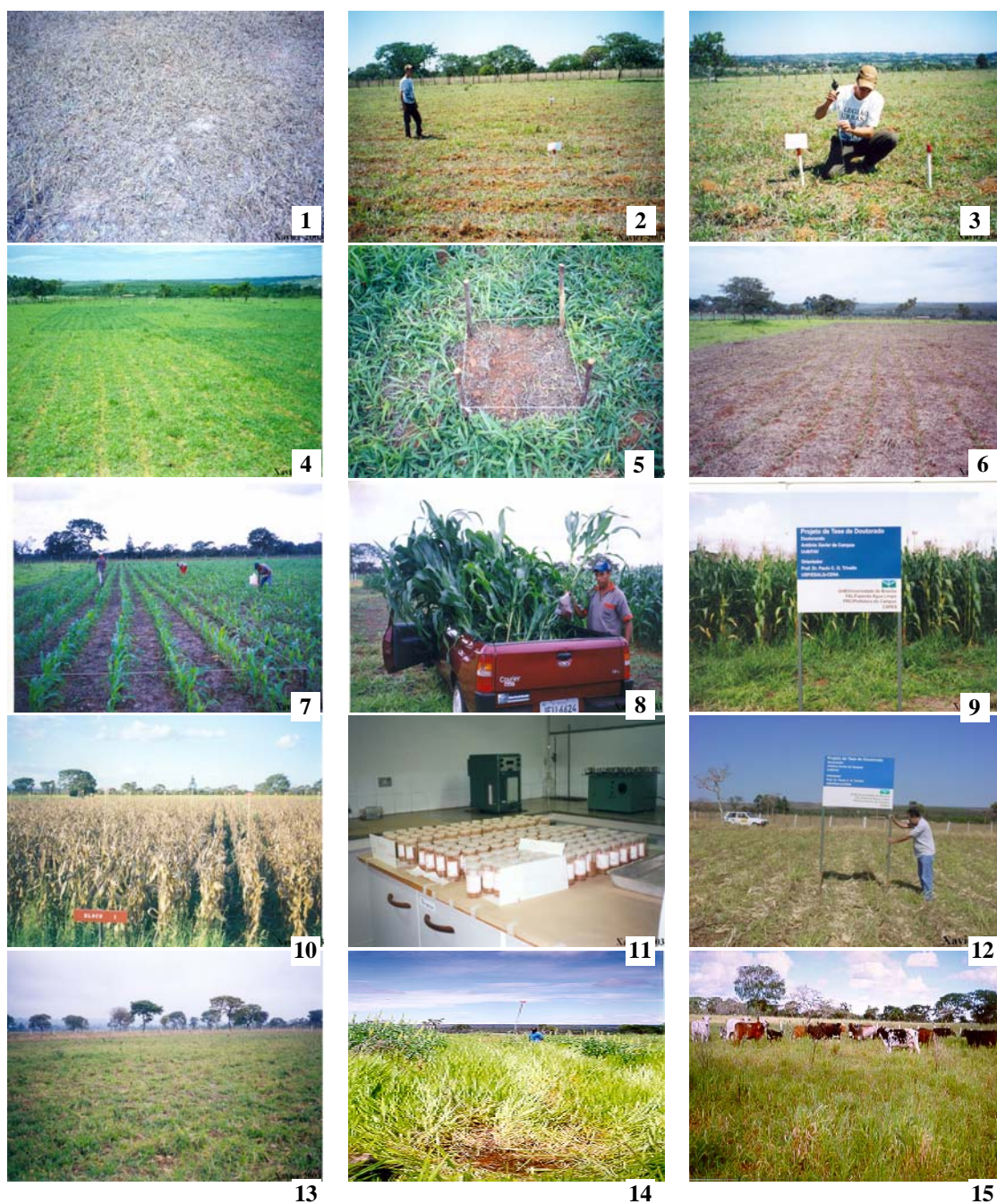


Figura 3 - Atividades desenvolvidas durante o período experimental: 1) Calagem; 2) Sulcação; 3) Microparcela com fertilizante- ^{15}N ; 4) Vista geral após pré-semeadura; 5) Amostragem do capim-braquiária; 6) Aplicação de herbicida; 7) N em cobertura; 8) Amostragem do milho; 9 e 10) Vista geral; 11) Análise de solo; 12) Resíduo na colheita; 13) Resíduo no período da seca; 14) Efeito residual de N; 15) Pastejo da área.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 O clima

O clima define as características estacionais da região dos cerrados. Os dados climáticos apresentados na Tabela 1 indicaram que durante todo o ano, a temperatura, a insolação e a radiação solar não constituem, de modo geral, impedimentos para a agricultura.

O volume anual de chuva na região também não impede o desenvolvimento da maioria das culturas exploradas economicamente. Segundo Fancelli (1987), a cultura do milho exige um mínimo de 350-500 mm de chuva para a manifestação do potencial produtivo, sem que haja a necessidade de utilização da prática de irrigação e, para fins de planejamento e manejo, recomendou-se considerar 4 mm dia⁻¹ como sendo o consumo médio diário pelo milho, independentemente do estágio fenológico.

A distribuição de chuvas e o período seco são características importantes da região. No período seco torna-se difícil fazer agricultura no sistema tradicional de cultivo e somente culturas anuais sob irrigação são exploradas (Goedert et al., 1980). No período chuvoso ocorrem deficiências hídricas denominadas de veranico (Figura 4), que compromete seriamente o desempenho da atividade agrícola, sobretudo, no que se refere à queda de produtividade (Resende, 1996). Nos meses de maior pluviosidade, aparecem períodos de duas semanas sem chuva (veranicos) que estão associados, geralmente, a alta radiação solar e ao alto potencial de evapotranspiração. Os veranicos são comuns e causam sérios danos às culturas anuais e perenes mais sensíveis, e se constituem na mais severa limitação para agricultura sem irrigação nesse ecossistema (Goedert et al., 1980).

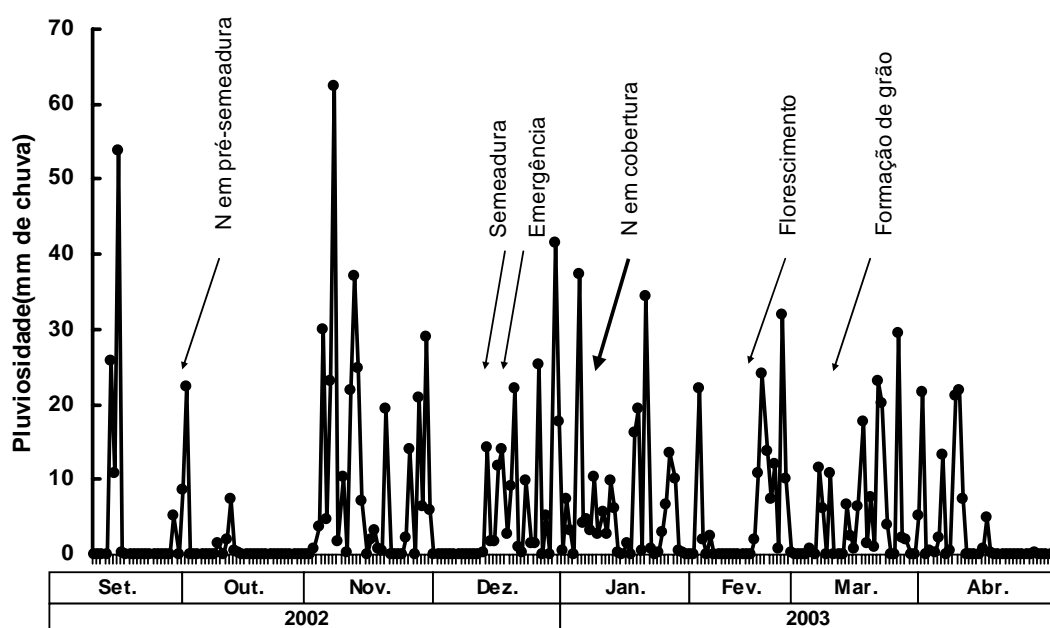


Figura 4 - Pluviosidade (mm de chuva) durante o período experimental e indicação das principais fases do desenvolvimento do milho

Os períodos de deficiência hídrica de uma semana por ocasião do início do florescimento podem promover queda de produção ao redor de 40 a 50%, ao passo que sob as mesmas condições de deficiências hídricas posteriores a plena fecundação, acarretará danos da ordem de 25 a 32% (Fancelli et al., 1987). Observa-se na Figura 4 que as fases de maior exigência em água, no experimento, não foram afetadas pelo déficit hídrico e o milho teve comportamento vegetativo e reprodutivo normal.

Para o milho as maiores exigências em água se concentram na fase de emergência, florescimento e formação dos grãos. Todavia, no período compreendido entre 15 dias antes e 15 dias após o aparecimento da inflorescência masculina, o requerimento de suprimento hídrico satisfatório, aliado às temperaturas adequadas, torna esse período extremamente crítico. Essa é a razão pela qual, a mencionada fase deve ser criteriosamente planejada, a fim de assegurar sua coincidência com o período estacional

que apresente temperaturas favoráveis (23 a 30°C) e chuvas freqüentes (Fancelli et. al., 1987).

Para a região é recomendável a busca de sistemas de cultivos que mantém a superfície do solo protegida com resíduos vegetais. O material orgânico depositado sobre o solo, além de ser fonte de nutrientes melhora as condições físicas, ameniza a temperatura, diminui a evaporação, aumenta a capacidade de retenção de água e é responsável, em grande parte, pela CTC do solo, sendo, dessa forma, uma alternativa promissora para exploração agrícola nessas áreas, principalmente, no que se refere ao controle de veranico.

4.2 O solo

As características físicas do solo mostraram alto teor de argila que na análise mineralógica constatou-se ser argilo-mineral com predominância do tipo caulinita (1:1), seguido de gibbsita e traços de quartzo. Este tipo de argila é rico em óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio e, segundo Resende (1996), trata-se de argila de baixa atividade.

A densidade do solo é menor que 1 g cm^{-3} , com valores de 0,93 e 0,89 g cm^{-3} , respectivamente, nas camadas de 0-10 e 10-20 cm. A densidade do solo dessa ordem de grandeza não oferece restrição ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas. Segundo Derpsch (1991), somente para densidade de solo superior a $1,2 \text{ g cm}^{-3}$ é possível que existam dificuldades para o crescimento de raízes. Mesmo em tais casos, a magnitude do problema depende também da umidade do solo.

O solo é de textura argilosa, com estrutura dominante em forma de blocos subangulares ultrapequena e granular. Essa forte microestrutura granular faz com que o solo tenha comportamento semelhante ao de solos arenosos (Resende, 1996).

4.2.1 A matéria orgânica

A matéria orgânica é a principal fração envolvida na formação de cargas negativas e de troca de cátions em solos como o deste trabalho (Resende, 1996). Para

esses solos o teor de matéria orgânica é considerado alto (Tabela 2), mas os óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio da fração argila ocupam os sítios de troca, diminuindo às cargas negativas e causam, possivelmente, a redução da CTC (Jacomine, 1969; Lopes, 1984).

O teor de matéria orgânica do solo, expresso na Figura 5, para a dose de N em pré-semeadura de 60 kg ha⁻¹ de N, indicou redução linear com o aumento das doses de nitrogênio em cobertura, nas determinações realizadas após 30 dias da aplicação de N na cobertura no milho. Na Figura 6, o teor da matéria orgânica do solo, na mesma dose de N em pré-semeadura, variou de forma quadrática com o aumento das doses de nitrogênio em cobertura, nas determinações realizadas 90 dias após a fertilização com nitrogênio em cobertura. Houve intensa mineralização que se processou, possivelmente, durante o período chuvoso dadas às altas temperaturas e pluviosidade aliadas as doses de nitrogênio que potencializaram a atividade e aumento da população microbiana. Segundo Voss (1987), a maior parte da decomposição da matéria orgânica é realizada pela microflora e estimou que em torno de 70% do carbono que entra como CO₂ na atmosfera é atribuído ao metabolismo microbiano.

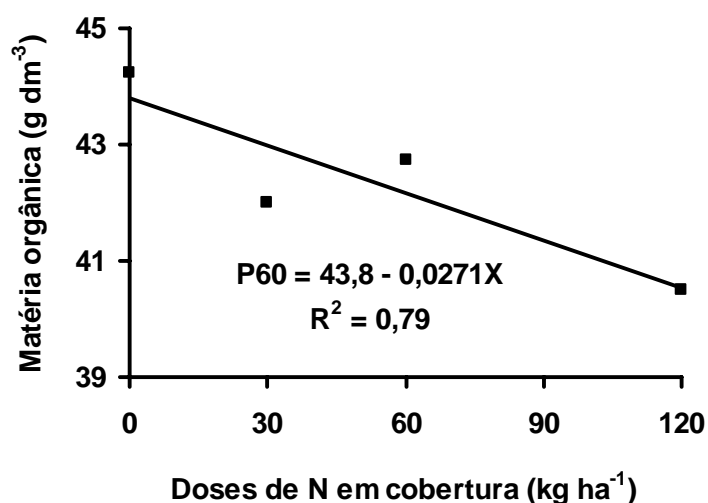


Figura 5 - Teor de matéria orgânica no solo após 30 dias da cobertura nitrogenada no milho, na interação dos tratamentos com N em cobertura com a dose de 60 kg ha⁻¹ de nitrogênio em pré-semeadura (média de quatro repetições)

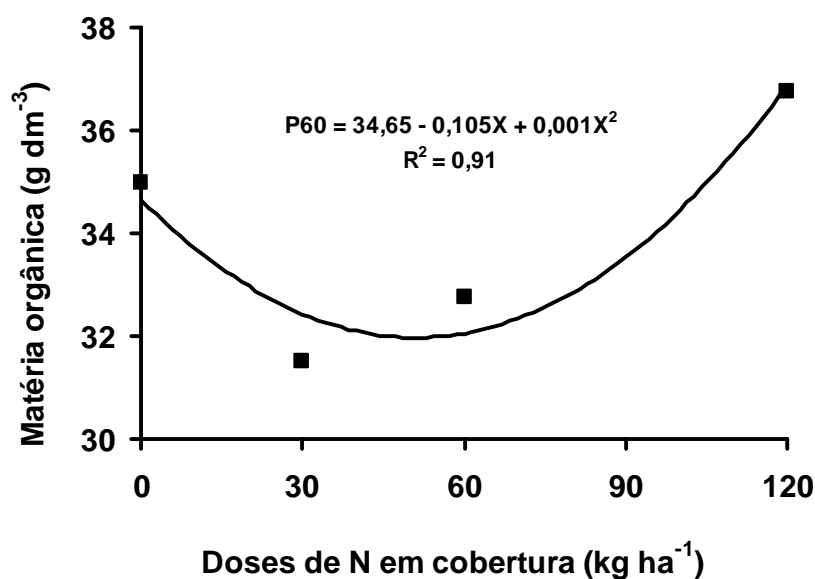


Figura 6 - Teor de matéria orgânica no solo após 90 dias da cobertura nitrogenada no milho, na interação dos tratamentos com N em cobertura e a dose de 60 kg ha⁻¹ de N em pré-semeadura (média de quatro repetições)

O teor de matéria orgânica do solo é alto, porém, a atividade é baixa porque os sítios de cargas negativas estão preenchidos com os óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio e, dessa forma, o solo tem que ser fertilizado para manter-se produtivo.

No processo de mineralização da matéria orgânica há também liberação de ácidos orgânicos que atuam como agentes complexantes de alumínio e manganês, minimizando o efeito tóxico desses elementos (Lopes, 1984; Hue et al., 1986; Miyzawa et al., 1992).

4.2.2 O nitrogênio

O teor de nitrogênio total no solo variou do nível médio a alto (Lopes, 1984) e o aumento nas doses de fertilizantes nitrogenados em cobertura ocasionou no tratamento

sem fertilização nitrogenada em pré-semadura redução linear nesse teor, devido, provavelmente, a mineralização e extração do nutriente pelas plantas (Figura 7).

Observa-se que o comportamento do nitrogênio acompanhou àquele da matéria orgânica, o que era esperado em vista de o nitrogênio ser um constituinte dos compostos orgânicos no solo e aproximadamente 98% encontrarem-se na forma orgânica.

O maior ou menor teor de nitrogênio total está relacionado com a atividade microbiana e à relação C:N do solo. A relação C:N maior que 25 favorece a imobilização, enquanto valor menor favorece a mineralização (Heinzmann, 1985; Derpsch et al., 1985). Devido à imobilização de N, a aplicação de doses desse nutriente permite o efeito da compensação da carência inicial para as plantas (Sá, 1989a), porém, essas doses de nitrogênio podem provocar acidificação do solo (Thomas, 1980).

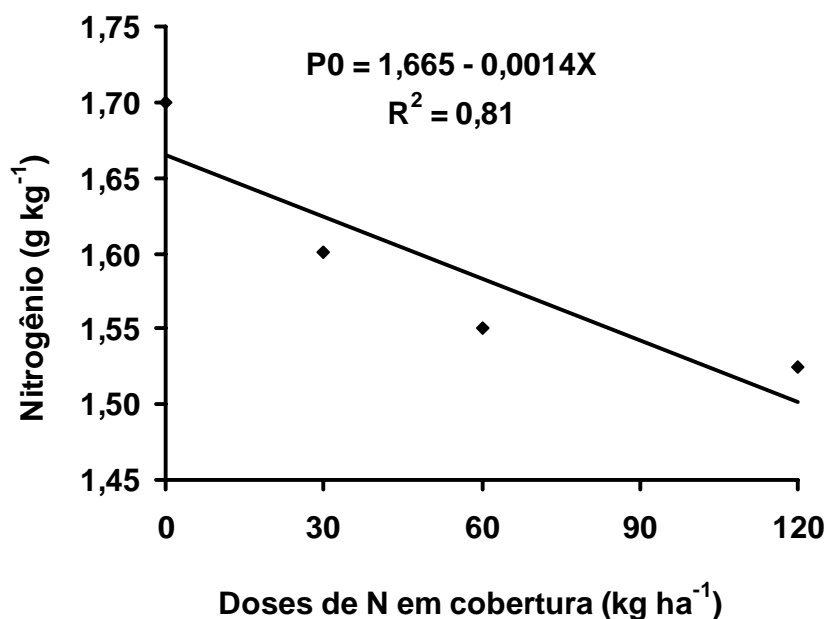


Figura 7 - Teor de nitrogênio total no solo após 90 dias da cobertura nitrogenada no milho, na interação dos tratamentos com N em cobertura e o tratamento sem N em pré-semeadura (média de quatro repetições)

4.2.3 O enxofre

O teor de enxofre ($S-SO_4^{2-}$) na camada superficial do solo (0-20 cm), em amostras colhidas antes do experimento, foi baixo (6 mg kg^{-1} de $S-SO_4^{2-}$), enquanto no subsolo foi alto (16 mg kg^{-1}) para as condições de cerrado (Lopes, 1984).

Observou-se na Figura 8 que o teor de enxofre no solo após 30 dias da cobertura nitrogenada, elevou-se com o aumento das doses de N aplicadas em pré-semeadura (0, 60 e 120 kg ha^{-1} de N). As doses de nitrogênio em pré-semeadura mostraram na interação com as de N na cobertura do milho, efeito quadrático para as doses de pré-semeadura de 0 e 120 kg ha^{-1} de N e linear para a dose de 60 kg ha^{-1} . Esse aumento nos valores do teor de enxofre foi devido aos fertilizantes aplicados na forma de superfosfato simples, sulfato de amônio e sulfato de zinco.

A Figura 9 indicou que após 90 dias da cobertura com N, houve resposta quadrática para a dose de 60 kg ha^{-1} de N e linear para o tratamento sem N e dose 120 kg ha^{-1} em pré-semeadura, na interação com as doses de N na cobertura do milho.

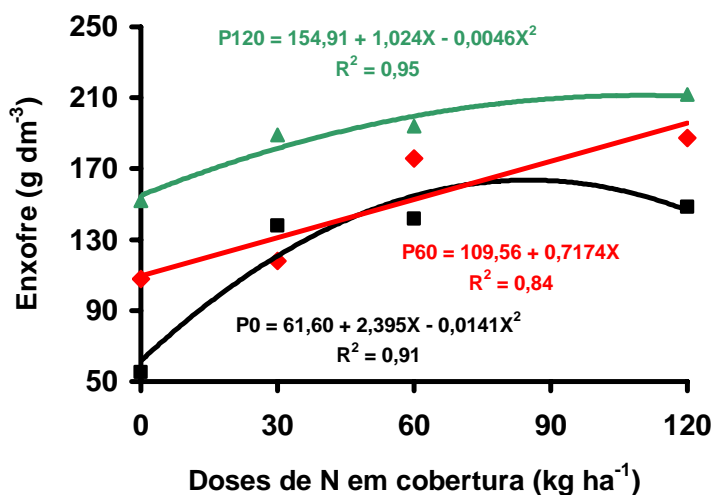


Figura 8 - Teor de enxofre ($S-SO_4^{2-}$) no solo após 30 dias da cobertura nitrogenada do milho, na interação dos tratamentos com N em pré-semeadura e em cobertura (média de quatro repetições)

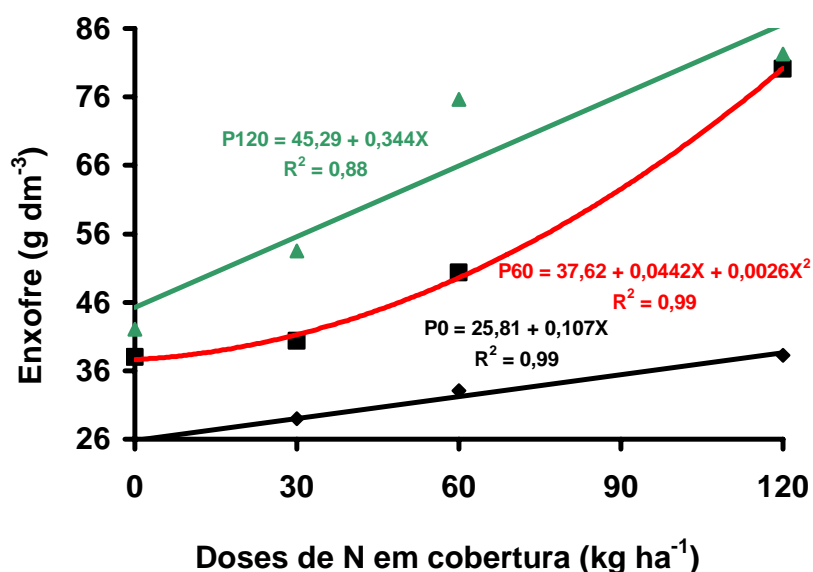


Figura 9 - Teor de enxofre ($S-SO_4^{2-}$) no solo após 90 dias da cobertura nitrogenada do milho, na interação dos tratamentos com N em pré-semeadura e em cobertura (média de quatro repetições)

O teor de enxofre no solo reduziu entre 30 e 90 dias após a cobertura (Figuras 8 e 9), principalmente nas maiores doses em pré-semeadura. Essa redução no teor de $S-SO_4^{2-}$ deveu-se, além da absorção do nutriente pela cultura, provavelmente, à presença da matéria orgânica e do fósforo que diminuíram a capacidade do solo em reter sulfato.

Uma grande quantidade de sulfato pode ser adsorvida, especialmente, no subsolo onde há menos matéria orgânica e fósforo capaz de bloquear os sítios de adsorção (Fox & Blair, 1986). Pode-se inferir que esses sulfatos, provavelmente, formaram pares iônicos com o cálcio, magnésio e potássio, que se deslocaram para as camadas mais profundas, com o movimento descendente da água no perfil, reduzindo os teores dessas bases trocáveis na camada superficial do solo.

A capacidade do solo em adsorver sulfato depende do pH e à medida que esse valor aumenta decresce a adsorção do anion. Os fatores acima assinalados (matéria orgânica, fósforo e concentração hidrogeniônica) podem explicar porque a concentração

de sulfato no subsolo foi maior que a da camada superficial, como ocorre em solos dos cerrados acima referidos.

4.2.4 O pH

As doses de nitrogênio aplicadas em cobertura no milho afetaram o pH (concentração hidrogeniônica na solução do solo) e ocasionaram decréscimo linear com o aumento das doses de N, reduzindo-o abaixo de 4,2, na dose de 120 kg ha⁻¹ de N após 30 dias da cobertura na (Figura 10). A ação acidificante de fertilizantes nitrogenados foi assinalada por vários autores, especialmente em áreas que se cultiva o milho e com altas doses de nitrogênio (Blevins et al., 1977; Staley & Boyer, 1997; Muzilli, 1983; Matowo et al., 1999; Franchini et al., 2000).

Thomas et al. (1973), estudando o efeito de cultivos sucessivos de milho na acidez do solo, constataram que o principal motivo da acidez na camada superficial foi devido a nitrificação do nitrogênio amoniacal aplicado nas fertilizações.

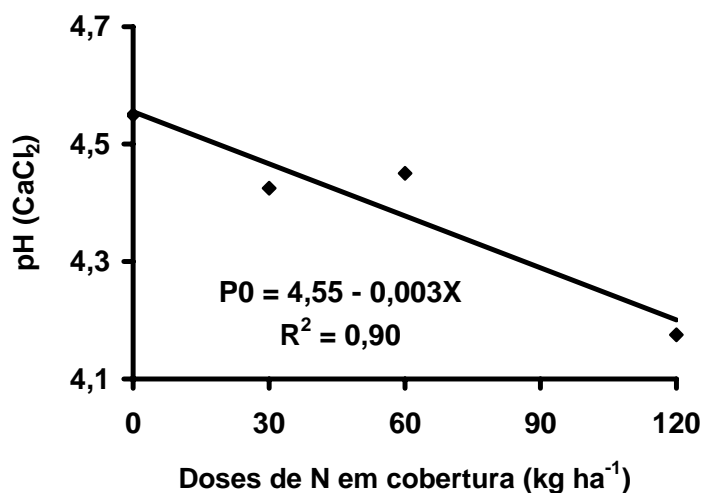


Figura 10 - Valores de pH do solo para os tratamentos em cobertura, independentemente dos tratamentos com N em pré-semeadura, após 30 dias da cobertura com nitrogênio no milho (média de doze repetições)

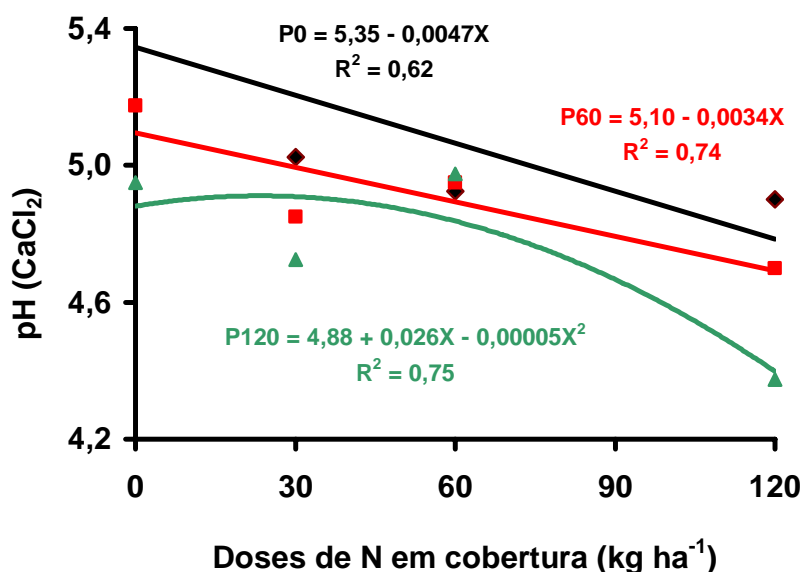


Figura 11 – Valores de pH do solo após 90 dias da cobertura com N no milho, na interação dos tratamentos com doses de N em pré-semeadura e em cobertura (média de quatro repetições)

Na Figura 11, destaca-se que após 90 dias da cobertura nitrogenada, o valor de pH foi mais elevado nas menores doses de N, tanto em pré-semeadura como em cobertura. Isso pode ser explicado pelo efeito de diluição da solução do solo e pelos teores de carbono orgânico que minimizam os efeitos acidificantes provocados por fertilizantes nitrogenados (Parra, 1986; Holanda et al., 1998).

Esse processo de acidificação é esperado porque na nitrificação há formação de dois íons H⁺ para cada íon NH₄⁺ nitrificado, resultando em acidificação do solo na região da reação (equações 1 e 2).

Blevins et al. (1977) encontrou nos primeiros 5 cm de um solo, após cinco anos de cultivo com milho, que a adição de 220 kg ha⁻¹ de nitrogênio reduziu o pH de 5,7 para 4,7.

As amostras de solos da camada superficial (0-20 cm), na época da colheita do milho, nos tratamentos 0-120 e 120-0 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, em cobertura e na pré-semeadura, mostraram que o teor de NH₄⁺ (24 mg g⁻¹ de N) e de NO₃⁻ (2,9 mg g⁻¹ de

N) no tratamento com N em cobertura foi inferior ao teor de NH_4^+ (31,3 mg g⁻¹ de N) e NO_3^- (4,4 mg g⁻¹ de N) daquele com fertilização nitrogenada em pré-semeadura. Verificou-se, ainda, que o teor de NH_4^+ foi superior ao teor de NO_3^- nas duas situações. Esses resultados dão evidência que houve redução na atividade do processo de nitrificação.

Em pH baixo a nitrificação é afetada devido à especialização dos nitrificadores. Em clima seco ou em pH baixo a nitrificação pode paralisar bem antes da mineralização. Por isso, em solos ácidos, a população destes grupos nitrificadores (nitrossomonas e nitrobacter) torna-se extremamente baixa (Bissani et al., 2004).

Uma outra observação dos resultados de amostras de solo na colheita do milho refere-se ao número mais provável de microrganismos celulolíticos. A determinação por contagem mostrou que o número mais provável de microrganismos celulolíticos foi superior no tratamento 120-0 kg ha⁻¹ de N-pré-semeadura (2.150.000 cm⁻²), que em 0-120 kg ha⁻¹ de N-cobertura (1.500.000 cm⁻²).

A redução do número de microrganismo assinalou o efeito imediato da acidez do solo, causado pela aplicação de nitrogênio em cobertura. O maior número de microrganismos no tratamento com nitrogênio aplicado em pré-semeadura foi devido, provavelmente, ao efeito da diluição ou de neutralização dessa acidez. Essa maior população de microrganismos, nas doses de nitrogênio em pré-semeadura refletiram na produtividade do milho e do capim-Braquiária.

4.2.5 O alumínio

A Figura 12 mostrou o teor de alumínio no solo na interação das doses de nitrogênio aplicadas em pré-semeadura e cobertura do milho após 30 dias da fertilização de cobertura com N. Verificou-se que o teor de alumínio foi alto (> 8 mmol_c dm⁻³), mesmo no tratamento testemunha 0-0 kg ha⁻¹ de N, no qual se aplicaram 30 kg ha⁻¹ de N na semeadura. Os níveis de nitrogênio em pré-semeadura (0, 60 e 120 kg ha⁻¹ de N) elevaram o teor de alumínio no solo em 8,2, 9,5 e 16 mmol_c dm⁻³ respectivamente.

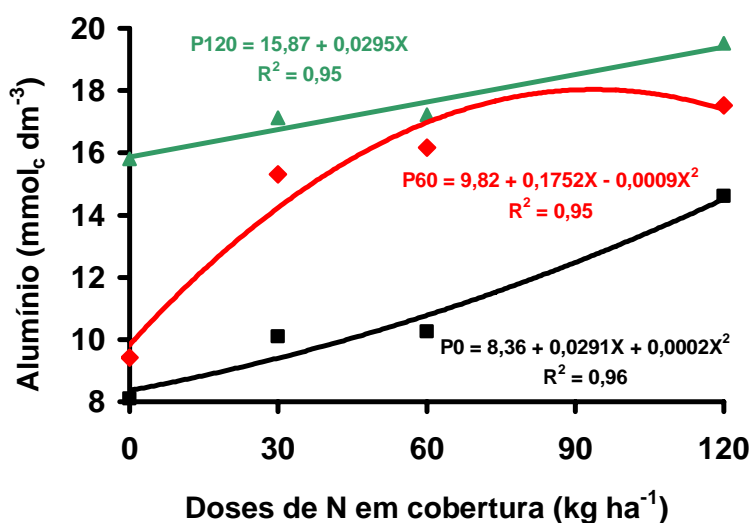


Figura 12 - Teor de alumínio do solo após 30 dias da cobertura nitrogenada do milho, na interação dos tratamentos com doses de N em pré-semeadura e em cobertura (média de quatro repetições)

Com a aplicação de doses crescentes de nitrogênio em cobertura, o teor de alumínio aumentou de forma linear na dose de 120 kg ha⁻¹ de N, de forma quadrática para a dose de 60 kg ha⁻¹ de N e variou também de forma quadrática sem aplicação de nitrogênio em pré-semeadura, respectivamente.

O teor de alumínio no solo reduziu no intervalo entre 30 e 90 dias após a cobertura do milho (Figura 12 e 13) nos tratamentos com N em pré-semeadura. Observou-se, também, nas amostras colhidas após 90 dias da cobertura nitrogenada, aumento linear nos teores de alumínio de 1,6, 1,8 e 2,2 mmol_c dm⁻³, respectivamente, nos tratamentos com os níveis de 0, 60 e 120 kg ha⁻¹ de N aplicados em pré-semeadura, embora esses teores, segundo Lopes, (1984), sejam baixos para as condições dos cerrados (Figura 13).

Verificou-se existir uma relação inversa muito estreita entre pH e teor de alumínio trocável. O abaixamento de pH provocado pelas doses crescentes de nitrogênio, como sulfato de amônio, reativou e aumentou o teor de alumínio trocável na solução do solo.

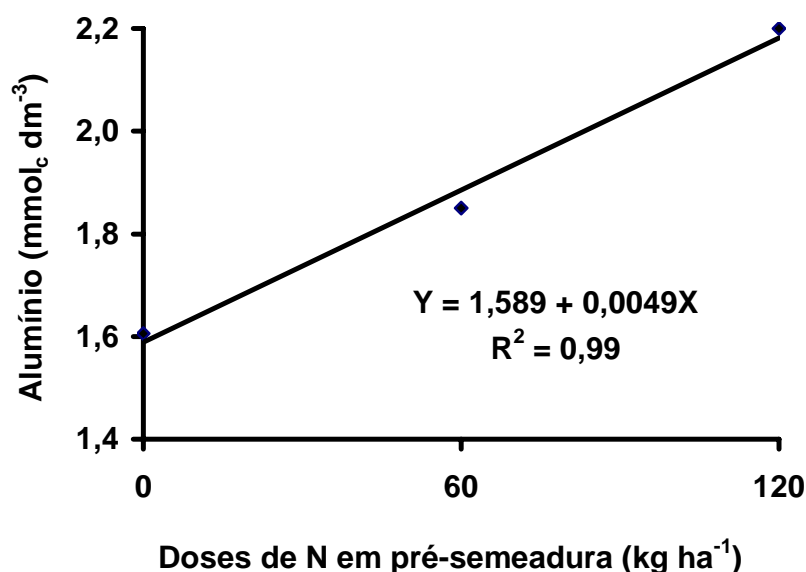


Figura 13 - Teor de alumínio do solo para os tratamentos com N em pré-semeadura, independentemente dos tratamentos com N em cobertura, após 90 dias da cobertura nitrogenada no milho (média de doze repetições)

Hue (1991) relatou que compostos solúveis orgânicos liberados pela mineralização dos resíduos orgânicos, assim como os aromáticos, são mais resistentes à ação microbiana e tem importância no manejo de oxissolos nos trópicos, na redução da atividade do alumínio trocável. Nesse sentido, Salet (1994) encontrou menor atividade do alumínio na solução do solo, no sistema de plantio direto que no sistema convencional, e atribuiu o decréscimo no teor de alumínio à formação de complexos organo-metálicos.

4.2.6 O potássio

O teor de potássio trocável no solo variou de forma quadrática à medida que se aumentou a dose de N em cobertura, para amostras de solo colhidas após 30 dias da fertilização nitrogenada de cobertura (Figura 14). O teor de potássio reduziu de 6 para 4 mmol_c dm⁻³, do tratamento sem N para o de 60 kg ha⁻¹ de N em cobertura.

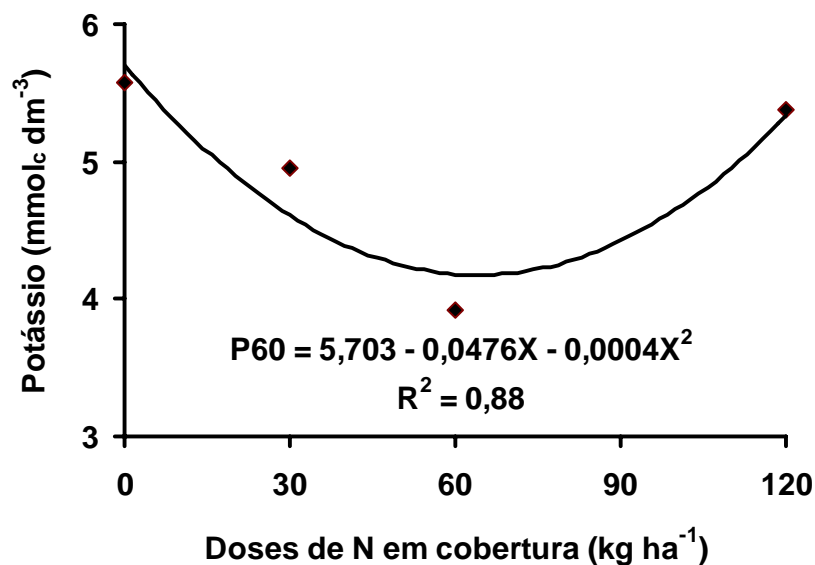


Figura 14 - Teor de potássio trocável do solo após 30 dias da cobertura nitrogenada no milho, na interação dos tratamentos com N em cobertura e a dose de 60 kg ha^{-1} de N em pré-semeadura (média de quatro repetições)

Essa queda no teor de potássio (Figura 14) deveu-se, provavelmente, ao abaixamento do pH causado pela aplicação de nitrogênio amoniacal e pelo processo de lixiviação do nutriente, em função da baixa capacidade de retenção de água do solo que apesar de apresentar teor de argila acima de 60%, comportou-se de forma similar aos solos de textura arenosa.

Os resultados da Figura 15 indicaram que após 90 dias da cobertura nitrogenada, houve redução linear do teor de potássio com o aumento das doses de nitrogênio em pré-semeadura. O teor de potássio diminuiu de 1,8 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ no tratamento sem N para 1 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ na dose de 120 kg ha^{-1} de N em pré-semeadura, aproximando-se do valor médio do teor de potássio (0,8 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) em solos dos cerrados não adubados com N.

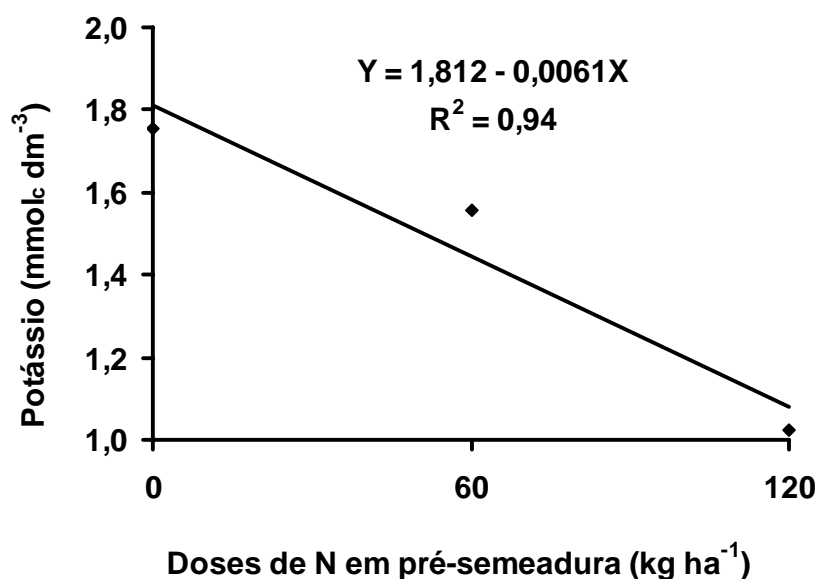


Figura 15 - Teor de potássio trocável do solo nos tratamentos com N em pré-semeadura, independentemente dos tratamentos com N em cobertura, após 90 dias da cobertura com N no milho (média de doze repetições)

A diminuição no valor do teor de potássio, como discutido anteriormente, está relacionada, provavelmente, com o abaixamento do pH causado pela aplicação do fertilizante nitrogenado amoniacal. O baixo valor de pH elevou a saturação de alumínio. O alumínio trivalente passou a ocupar os sítios não específicos de troca, subtraindo-os em relação ao potássio. O potássio na solução do solo, com baixo poder tampão (PTK) e baixa CTC, apresenta elevado potencial de perdas por lixiviação.

Em trabalhos realizados em seis solos e sob cinco cultivos, Mielniczuk & Selbach (1978) observaram pequeno decréscimo do potássio total, mas o K trocável médio de $0,38 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ antes do plantio reduziu para $0,09 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ após os cinco cultivos. Com aplicação de 240 mg kg^{-1} de K, o valor médio antes do plantio de $0,92 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ foi reduzido para $0,12 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ após os mesmos cultivos. Esses resultados evidenciaram a rapidez no esgotamento desse nutriente em solos intemperizados quando cultivados, embora quando virgens apresentem boa disponibilidade do nutriente.

4.2.7 O cálcio

Após a aplicação de calcário dolomítico o teor de cálcio no solo passou de 16 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ (Tabela 2) para aproximadamente 38 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ (Figura 16) no tratamento sem aplicação de N em pré-semeadura, após 30 dias da cobertura nitrogenada no milho. Esse teor de cálcio é considerado médio para as condições dos cerrados (Lopes, 1984).

A aplicação de doses de nitrogênio no capim-Braquiária, na pré-semeadura do milho, promoveu redução no valor dos teores de cálcio que passou de 38 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$, no tratamento sem N, para 35 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ e 24 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ nas doses de 60 e 120 kg ha^{-1} de N em pré-semeadura, respectivamente, considerado o tratamento sem N em cobertura. Foi verificado também por meio da interação entre as épocas de aplicação de nitrogênio em pré-semeadura e cobertura que na dose de 60 kg ha^{-1} de N em pré-semeadura houve redução linear no teor de cálcio à medida que aumentaram as doses de N na cobertura do milho. Para 0 e 120 kg ha^{-1} de N em pré-semeadura houve variação quadrática nos teores de cálcio do solo quando se aumentaram as doses de N em cobertura (Figura 16).

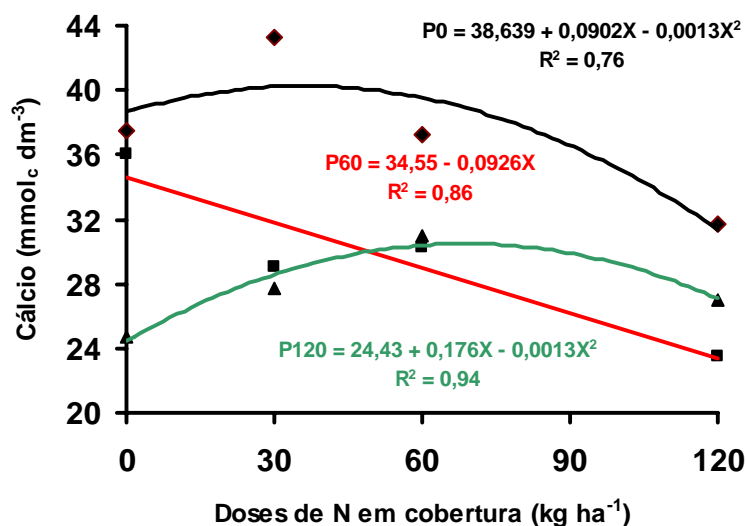


Figura 16 - Teor de cálcio do solo após 30 dias da cobertura nitrogenada do milho, na interação dos tratamentos com doses de N em pré-semeadura e em cobertura (média de quatro repetições)

A Figura 17 mostrou que houve redução quadrática nos teores de cálcio no solo no tratamento sem adição de N em pré-semeadura, após 90 dias da cobertura nitrogenada, à medida que se aumentou a adição de nitrogênio em cobertura desde 0 até 60 kg ha⁻¹. Observou-se, também, que os teores de cálcio para 0 kg ha⁻¹ de nitrogênio em pré-semeadura, na interação com a dose de 30 kg ha⁻¹ de N em cobertura foi menor que 15 mmol_c dm⁻³, considerada baixa para as condições dos cerrados (Lopes, 1984). Nas doses de 60 e 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio em pré-semeadura houve redução linear com o aumento das doses de nitrogênio aplicadas na cobertura do milho.

Resultados similares a este foram assinalados por vários pesquisadores, e segundo eles aplicações de fertilizantes amoniacais causam acidificação do solo (Blevins, 1977; Muzilli, 1983; Paiva, 1990; Juo et al., 1995; Vale et al., 1997; Pavan & Oliveira, 1997; Franchini et al., 2000). As cargas negativas do solo são bloqueadas pelo alumínio, impedindo a absorção de cátions básicos como o cálcio. Uma vez na solução do solo esse cátion é perdido por lixiviação, resultando em menores teores de cálcio nos tratamentos com maiores doses de nitrogênio. Essa perda por lixiviação é mais pronunciada na região do cerrado, onde o mineral de argila dominante é a caulinita que possui baixa capacidade de retenção de cátion.

A maior parte da CTC dos solos da região dos cerrados é devido à matéria orgânica que regula os teores de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio. A deficiência de cálcio (ou excesso de alumínio) reduz o desenvolvimento das raízes nas camadas inferiores e torna a cultura mais sensível à seca, particularmente nos veranicos comuns no cerrado.

4.2.8 O magnésio

O teor de magnésio no solo, após a aplicação de calcário dolomítico, comportou-se de forma similar ao cálcio e aumentou de 9 mmol_c dm⁻³ (Tabela 2) para aproximadamente 13,5 mmol_c dm⁻³ (Figura 18) que é considerado alto para as condições de cerrado (Lopes, 1984). Esse valor apresenta uma relação com o cálcio menor que 3:1 que é considerada estreita e prejudicial para a cultura do milho.

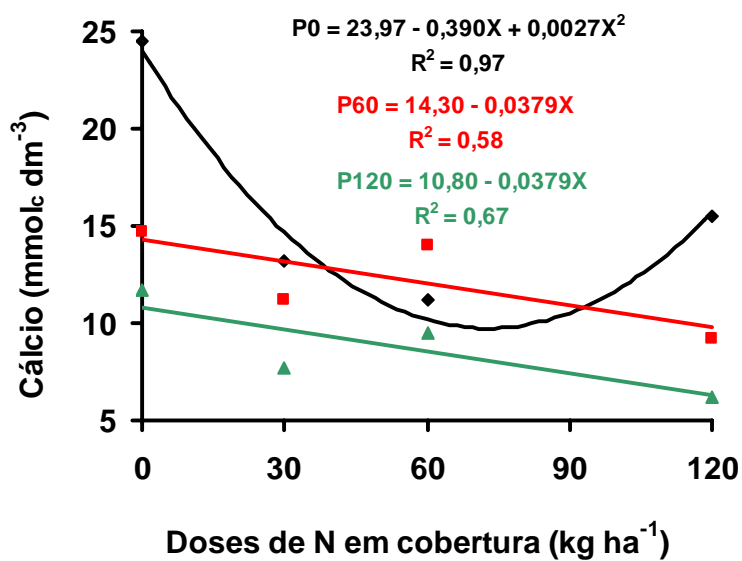


Figura 17 - Teor de cálcio do solo após 90 dias da cobertura com N no milho, na interação dos tratamentos com N em pré-semeadura e em cobertura (média de quatro repetições)

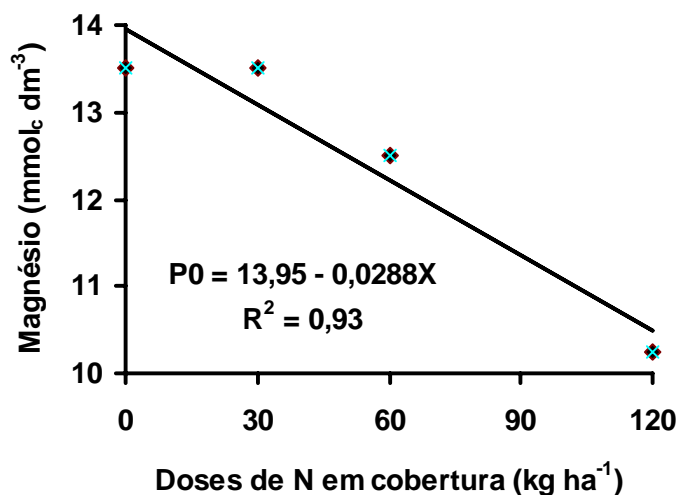


Figura 18 - Teor de magnésio do solo após 30 dias da cobertura nitrogenada, na interação dos tratamentos com N em cobertura e o tratamento sem N em pré-semeadura (média de quatro repetições)

A Figura 18 mostrou que para o tratamento sem adição de nitrogênio em pré-semeadura, após 30 dias após a cobertura nitrogenada do milho, ocorreu redução linear no teor de magnésio à medida que aumentou a dose de N na cobertura do milho. O teor de magnésio caiu de aproximadamente $13,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para $10,3 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente, para 0 e 120 kg ha^{-1} de N de cobertura no milho.

A Figura 19 indicou que após 90 dias da cobertura nitrogenada, o teor de magnésio no solo de $7,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, do tratamento sem N em pré-semeadura, reduziu para menos de $5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ no tratamento 120 kg ha^{-1} de N em pré-semeadura, valor este considerado baixo para as condições dos cerrados (Lopes, 1984).

Blevins et al. (1977), Paiva, (1990); Franchini et al. (2000) observaram redução significativa nos teores de magnésio no solo em função da aplicação de doses de fertilizantes amoniacais.

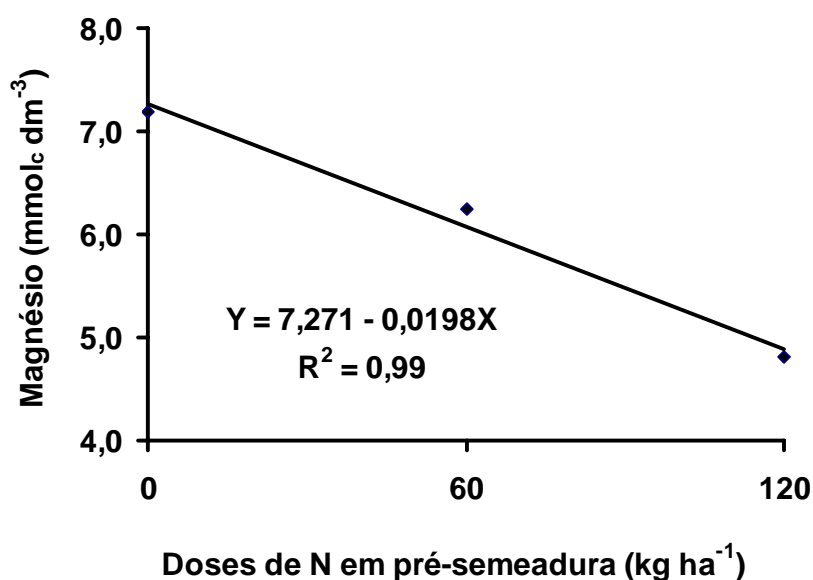


Figura 19 - Teor de magnésio do solo para os tratamentos com N em pré-semeadura, independentemente dos tratamentos com N em cobertura, após 90 dias da cobertura nitrogenada do milho (média de doze repetições)

Segundo Vale et al. (1997), para uma condição ideal de suprimento de bases, a porcentagem de saturação por Ca, Mg e K deve ser de 50-60%, 10-20% e 3-5% respectivamente. O magnésio no solo compete com o alumínio e com o ferro pelo íon H_2PO_4^- , dando ao solo fosfato de magnésio que é mais disponível que os fosfatos de alumínio e de ferro. A deficiência de magnésio no solo pode ser induzida ou acentuada por níveis de potássio fornecidos na adubação e dessa forma reduz o aproveitamento de fósforo no solo que é precipitado com alumínio e ferro.

4.3 O capim-Braquiária

As forrageiras tropicais, tais como as Braquiárias, são conhecidas pela adaptação às condições de clima e solos tropicais e produzem matéria seca em abundância e durante todo ano se as condições de temperatura e de umidade do solo forem favoráveis.

O capim-Braquiária produz palhada suficiente para cobrir a superfície do solo e massa seca com relação C:N superior a 40:1. Essa forrageira apresenta sistema radicular abundante e estando estabelecida, mesmo que degradada, é facilmente recuperada com calagem e aplicação de fertilizantes minerais (Oliveira, 2001).

Solos sob pastagem de Braquiária são reportados como ricos em Matéria orgânica, cujos teores são inclusive maiores que os dos cerrados virgens (Seguy et al., 1994).

4.3.1 Massa seca do capim-Braquiária

Na Figura 20 encontra-se a produção de massa seca do capim-Braquiária colhido antes da semeadura do milho, em função das doses de nitrogênio em pré-semeadura. Houve resposta linear na produção de massa seca da braquiária à medida que se aumentou o N em pré-semeadura, resultado este que mostrou a exigência da forrageira ao nitrogênio.

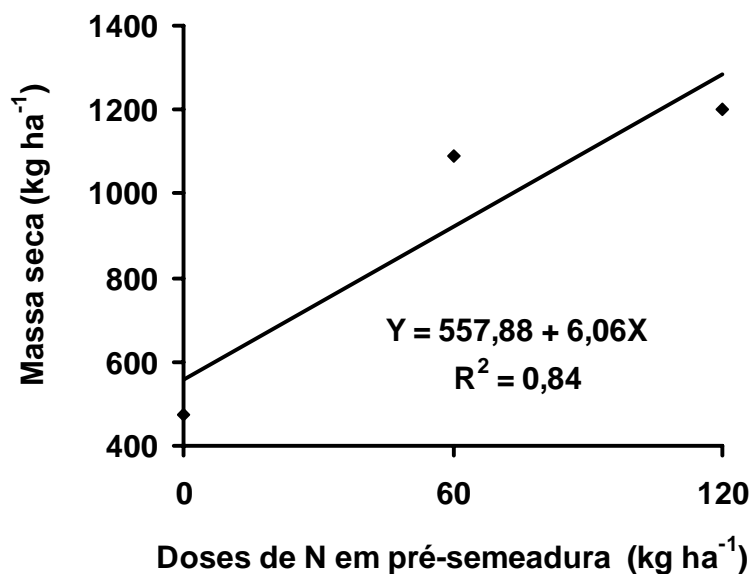


Figura 20 - Produção de massa seca do capim-Braquiária antes da semeadura do milho em função das doses de nitrogênio aplicadas em pré-semeadura (média de quatro repetições)

A concentração média de nitrogênio na parte aérea do capim-Braquiária foi de 27,1 g kg⁻¹ que é considerada alta e elevou-se com as doses de nitrogênio na pré-semeadura. A produção de massa seca foi em média de 922 kg ha⁻¹, que pode ser considerada muito baixa, e o nitrogênio acumulado de 25 kg ha⁻¹.

O desenvolvimento vegetativo do capim-Braquiária ocorreu no período de 26/09/2002 a 16/11/2002 (50 dias) e a baixa produção de massa seca foi devido, provavelmente, ao tempo do restabelecimento da planta forrageira e ao veranico ocorrido em outubro (Figura 1).

O capim-Braquiária cobriu toda área das parcelas e o aspecto vegetativo revelou-se normal, com cor verde intensa, salvo no meio das entrelinhas e no tratamento sem N em que as folhas apresentavam-se cloróticas, com nítida deficiência de nitrogênio. O movimento lateral do nitrogênio aplicado nos sulcos de semeadura do milho, distanciados de 0,80 m, não foi suficiente para preencher todo o espaço da entrelinha

deixando a parte central com uma faixa clorótica de aproximadamente 20 cm. Esse problema pode ser resolvido na abertura de sulcos com entrelinhas de 60 cm.

Na colheita do milho (abril/2003), a produção de massa seca do capim-Braquiária obteve resposta linear na dose de 0 kg ha⁻¹ de nitrogênio na pré-semeadura em interação com as doses crescentes de nitrogênio na cobertura do milho (Figura 21). Tanto o desenvolvimento vegetativo como a produção de massa seca do capim-Braquiária foi limitada pela falta de luminosidade. A planta mostrou-se estiolada, com as folhas tenras, hastes longas e altura acima de 1m.

A concentração média de nitrogênio na parte aérea do capim-Braquiária foi de 16,3 g kg⁻¹, considerada adequada, e mostrou pequena variação em torno desse valor, mesmo com o aumento das doses de N em pré-semeadura e na cobertura do milho.

A média de produção de massa seca do capim-Braquiária na época da colheita do milho (abril/2003) foi de 1.066 kg ha⁻¹ e o nitrogênio acumulado foi de 17,4 kg ha⁻¹. A baixa produção de massa seca nessa fase foi devido à redução da luminosidade pelo sombreamento das plantas de milho.

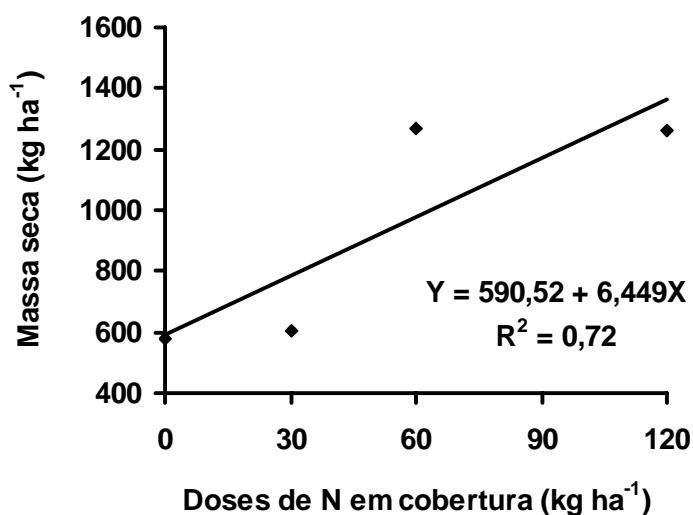


Figura 21 - Produção de massa seca do capim-Braquiária na época da colheita do milho, nos tratamentos com N em cobertura, independentemente das doses de N em pré-semadura (média de doze repetições)

Em agosto/2003, no período da seca, as folhas estavam ainda com umidade, com pequena altura (30 cm) e a massa seca da parte aérea mais os resíduos (capim-Braquiária e milho) apresentavam em média $5,2 \text{ t ha}^{-1}$. Em março/2004, no período chuvoso, o desenvolvimento vegetativo do capim-Braquiária mostrou-se adequado, com altura superior a 1m e produção de massa seca média de 10 t ha^{-1} .

Além da produção de sementes, alguns pesquisadores encontraram que a palhada do capim-Braquiária, associada aos restos culturais do milho, produzem mais de 17 t ha^{-1} de massa seca, mantendo-se suficiente para proteção plena da superfície do solo por mais de 107 dias (Aidar et al., 2000; Oliveira, 2001; Teixeira Neto, 2002).

Outras observações realizadas mostram que a palhada do milho e do capim-Braquiária é reduzida em 53%, devido à decomposição, no período de 150 dias, e no primeiro ano de renovação/recuperação a massa seca da cobertura vegetal cobre quase a totalidade da superfície do terreno (Lopes et al., 1987; Teixeira Neto, 2002).

Esses resultados mostraram a importância do nitrogênio na viabilidade da recuperação do capim-Braquiária com baixo custo de produção, obtenção de palhada de boa qualidade e persistência, em curto período de tempo, e a melhoria do ambiente com a conservação da água do ar e do solo.

4.3.2 O nitrogênio na parte aérea do capim-Braquiária

A concentração de nitrogênio na parte aérea do capim-Braquiária, na época da colheita do milho, respondeu linearmente às doses de N na cobertura do milho na interação com a dose de N de 60 kg ha^{-1} em pré-semeadura (Figura 22). Verificou-se que a dose de 60 kg ha^{-1} de N em pré-semeadura foi o bastante para uma concentração adequada de nitrogênio na parte aérea do capim-Braquiária.

A concentração de nitrogênio na parte aérea do capim-Braquiária foi adequada e suficiente para obter altas produções de massa seca. Houve grande extração de nitrogênio pelo capim-Braquiária e comprovou-se que a baixa produção de massa seca obtida antes e depois da semeadura do milho relacionou-se à falta de chuva e falta de luminosidade respectivamente.

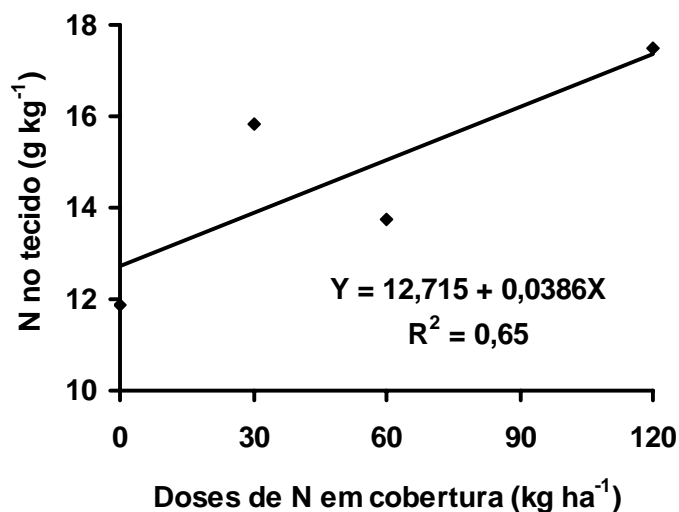


Figura 22 - Concentração de nitrogênio na parte aérea do capim-Braquiária na colheita do milho, na interação dos tratamentos com N em cobertura e o tratamento com 60 kg ha⁻¹ de N em pré-semeadura (média de quatro repetições)

4.3.3 O potássio na parte aérea do capim-Braquiária

A concentração de potássio na parte aérea do capim-Braquiária, na época da colheita do milho, mostrou queda linear na interação do tratamento sem N em pré-semeadura e os tratamentos com N na cobertura do milho (Figura 23). Para 0 kg ha⁻¹ de N a concentração de potássio foi alta (> 28 g kg⁻¹) e reduziu com as doses de N aplicada na cobertura do milho, atingindo a 21 g kg⁻¹ de K na dose de 120 kg ha⁻¹ de N.

4.3.4 O cálcio na parte aérea do capim-Braquiária

A concentração de cálcio na parte aérea do capim-Braquiária, na época colheita do milho, mostrou resposta quadrática em relação às doses de nitrogênio em pré-semeadura (Figura 24). Verificou-se que na dose de 0 kg ha⁻¹ de nitrogênio a concentração de cálcio foi adequada (> 4 g kg⁻¹) para o desenvolvimento da planta e essa concentração aumentou até a dose de 80 kg ha⁻¹ de N, passando a declinar.

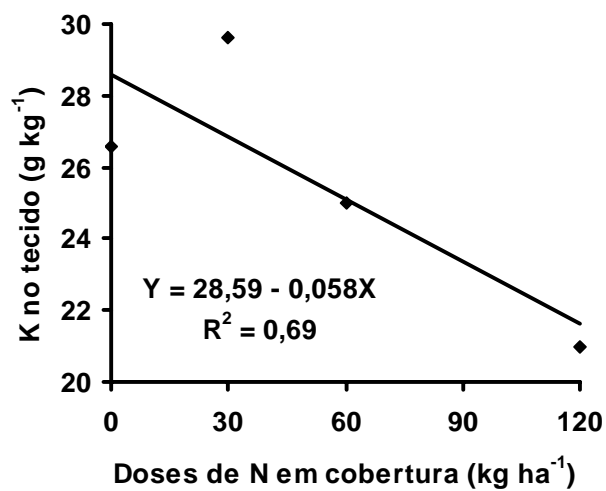


Figura 23 - Concentração de potássio na parte aérea do capim-Braquiária, na colheita do milho, na interação dos tratamentos com cobertura nitrogenada do milho e o tratamento sem N na pré-semeadura (média de quatro repetições)

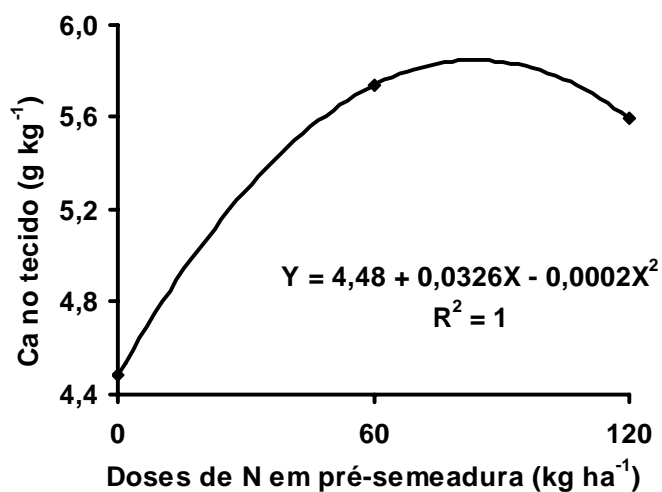


Figura 24 - Concentração de cálcio na parte aérea do capim-Braquiária na colheita do milho, para as doses de nitrogênio na pré-semeadura do milho, independentemente dos tratamentos com N em cobertura (média de doze repetições)

4.3.5 O magnésio na parte aérea do capim-Braquiária

A concentração de magnésio na parte aérea do capim-Braquiária, na época da colheita do milho, mostrou resposta quadrática em relação às doses de nitrogênio aplicadas em pré-semeadura, e comportou-se de forma similar ao cálcio (Figura 25). Para 0 kg ha⁻¹ de nitrogênio em pré-semeadura a concentração média de magnésio mostrava-se adequada (> 2,0 g kg ha⁻¹) ao desenvolvimento da planta e essa concentração aumentou até a dose aproximada de 75 kg ha⁻¹ de N quando passou a declinar.

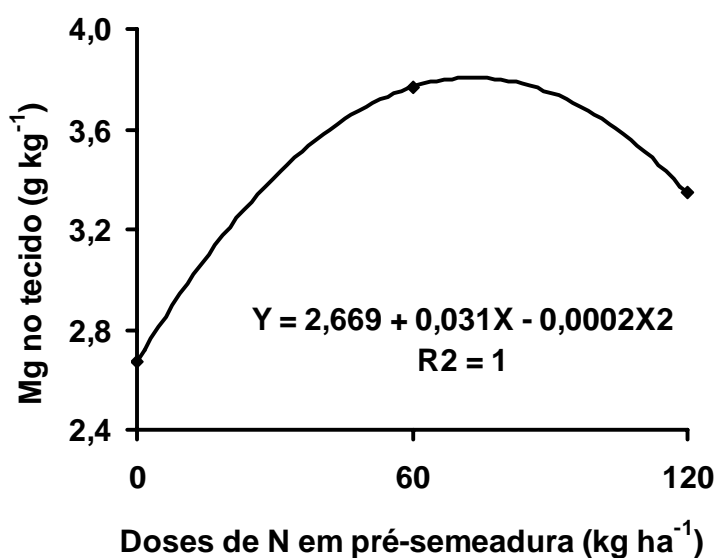


Figura 25 – Concentração de magnésio na parte aérea do capim-Braquiária na época da colheita do milho, para as doses de nitrogênio na pré-semeadura do milho, independentemente dos tratamentos com N em cobertura (média de doze repetições)

4.3.6 O enxofre na parte aérea do capim-Braquiária

A concentração de enxofre na parte aérea do capim Braquiária, na época da colheita do milho, indicou resposta quadrática para as doses de 60 e 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio em pré-semeadura e redução linear para o tratamento sem N, também em pré-semeadura (Figura 26). Para 0 kg ha⁻¹ em pré-semeadura a concentração de enxofre foi adequada (>2,2 g kg⁻¹) ao desenvolvimento da planta mas essa concentração foi reduzida com as doses de nitrogênio aplicadas na cobertura do milho.

Nas doses de 60 e 120 kg ha⁻¹ de N em pré-semeadura a concentração de enxofre também foi adequada, mas muito inferior à concentração do nutriente no tratamento sem adição de nitrogênio. Na interação destes tratamentos em pré-semeadura com os de N na cobertura do milho houve um aumento na concentração de enxofre até a dose de 75 kg ha⁻¹ de N para cobertura do milho, passando a declinar em doses maiores de N.

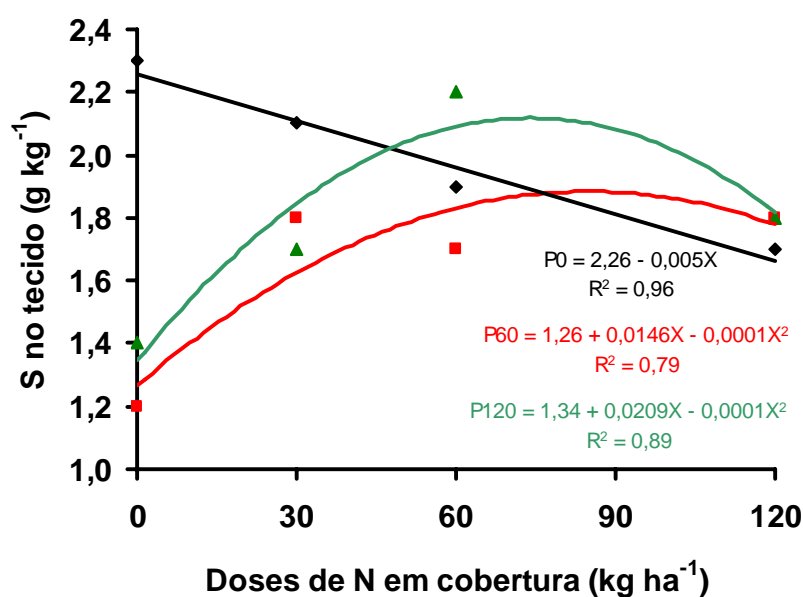


Figura 26 - Concentração de enxofre na parte aérea do capim-Braquiária, na época da colheita do milho, na interação dos tratamentos com N na cobertura do milho e em pré-semeadura (média de quatro repetições)

4.4 A cultura do milho

A utilização da cultura do milho, no sistema de integração lavoura-pecuária, na região dos cerrados visa à produção de grãos para o ressarcimento parcial ou total dos dispêndios realizados com insumos e serviços na recuperação e/ou renovação das pastagens. Segundo Yokoyama et al., (1995), essa produção de grãos tem sido suficiente para cobrir as despesas realizadas com a recuperação das pastagens.

4.4.1 Massa seca da parte aérea do milho

A produção de massa seca do milho, 90 dias após a cobertura com nitrogênio, na interação dos tratamentos com N em pré-semeadura e cobertura do milho está destacada na Figura 27. Houve aumento linear na massa seca do tratamento 0 kg ha⁻¹ de N em pré-semeadura com as doses de N em cobertura. Essa resposta demonstrou que as plantas de milho possuem mecanismos para tolerar o meio ácido provocado pela aplicação de fertilizante amoniacal e recuperou-se, no tempo, com a diluição e/ou neutralização da acidez.

A maior eficiência de produção foi obtida com o tratamento 0 kg ha⁻¹ de N, porém nesse tratamento as folhas de milho apresentavam sintoma de deficiência de nitrogênio.

Vale lembrar que o milho semeado em Latossolo de baixa disponibilidade de nutrientes, no cerrado não se desenvolve vegetativamente e não produz grãos mesmo em solos com alto teor de matéria orgânica. Essa matéria orgânica, como já foi mencionado, é de baixa atividade e necessita ser reativada para participar do processo produtivo. Essa foi a razão para a aplicação de 30 kg ha⁻¹ de nitrogênio na semeadura em todos os tratamentos.

A média de produção de massa seca da parte aérea do milho após 90 dias da cobertura com nitrogênio foi de 13.560 kg ha⁻¹ e a média de nitrogênio acumulado foi de 164 kg ha⁻¹, mostrando a intensa extração do nutriente pela cultura.

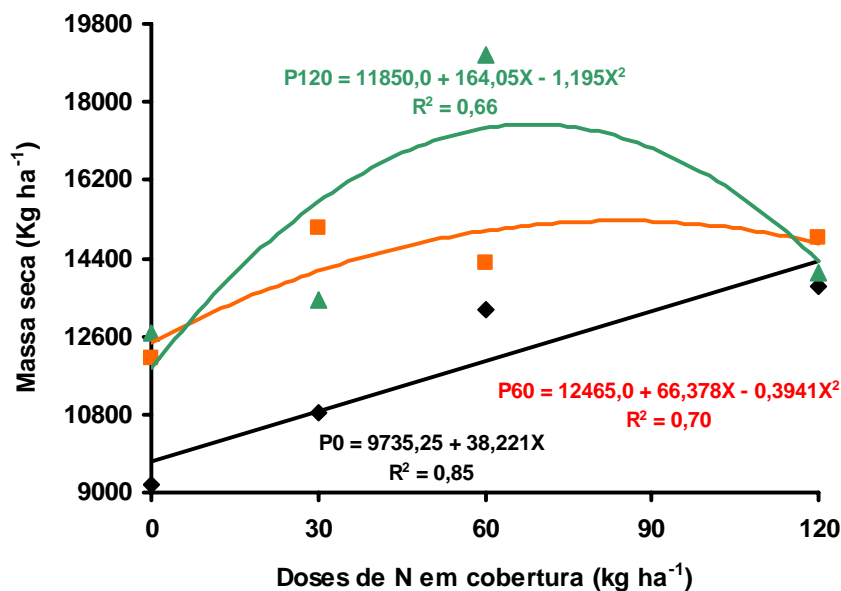


Figura 27 - Produção de massa seca da parte aérea do milho após 90 dias da cobertura com N, na interação dos tratamentos com N em pré-semeadura e em cobertura (média de quatro repetições)

Nos tratamentos com 60 e 120 kg ha⁻¹ de N em pré-semeadura, foi quadrática a resposta em produção de massa seca com as doses de N em cobertura, demonstrando que em maiores doses os efeitos da acidificação do solo foram mais pronunciados, mas não tão eficientes quanto à aplicação de 30 kg ha⁻¹ de N na semeadura do milho, revelado pelo tratamento 0 kg ha⁻¹ em pré-semeadura.

O rendimento máximo da produção de massa seca de milho foi de 15.300 kg ha⁻¹ para a dose de 60 kg ha⁻¹ de N em pré-semeadura e aproximadamente 85 kg ha⁻¹ de N em cobertura. Nas doses de 120 kg ha⁻¹ de N em pré-semeadura o rendimento máximo de massa seca de aproximadamente 17.500 kg ha⁻¹ foi atingido com 70 kg ha⁻¹ de N em cobertura.

Em relação às épocas de aplicação do fertilizante nitrogenado os resultados de produção de massa seca mostraram que não existiu diferença significativa na aplicação

de nitrogênio em pré-semeadura e na cobertura do milho, tanto nos tratamentos 0-60 e 60-0 kg ha⁻¹ de N como para 0-120 e 120-0 kg ha⁻¹ de N.

A igualdade na produção de massa seca de milho nas épocas de aplicação de nitrogênio relaciona-se, provavelmente, à alta doses N-amoniacal aplicada de uma só vez, principalmente no tratamento com 120 kg ha⁻¹ de N, tanto em pré-semeadura como na cobertura do milho e, possivelmente, pelo efeito de diluição da acidez que foi mais presente no tratamento em pré-semeadura.

O fertilizante amoniacal aplicado em doses elevadas, principalmente de uma só vez, provocou acidificação do solo, que foi minimizada com o tempo, pelo efeito de diluição de ácidos. Além do efeito do tempo o fertilizante nitrogenado aplicado em pré-semeadura foi em grande parte imobilizado pela biomassa do capim-Braquiária e pela população microbiana do solo, sendo posteriormente liberada. Esta foi, provavelmente, a razão da igualdade na produção de massa seca da parte aérea do milho na aplicação de nitrogênio na época da pré-semeadura e na cobertura.

Uma outra possibilidade pode estar relacionada com os teores de NH₄⁺ no solo e a população de microrganismos que foi bem superior nos tratamento 120-0 kg ha⁻¹ de N (pré-semeadura) que no tratamento de 0-120 kg ha⁻¹ de N (cobertura) como abordado anteriormente.

Outras situações podem ocorrer devido ao manejo empregado e às condições ambientais, principalmente em relação à pluviosidade que já foi relatado por outros pesquisadores (Ceretta, 1997; Basso, 1999).

O efeito da acidificação do solo é maior quando altas doses de nitrogênio são aplicadas de uma só vez na cobertura do milho. Pelo visto a eficiência da aplicação desses fertilizantes será mais afetada em altas doses de N, aplicadas de uma só vez, e para constatar o efeito dessa acidez deve ser realizada a verificação, na camada superficial do solo, e logo após a aplicação do fertilizante nitrogenado.

4.4.2 Massa seca de grãos de milho

A produção de grãos de milho (kg ha^{-1}) teve comportamento similar aquele indicado para a produção de massa seca da parte aérea das plantas. O efeito acidificante do fertilizante amoniacal também influenciou na produção de grãos e não houve diferença em relação à época de aplicação de nitrogênio, em pré-semeadura ou cobertura.

Na Figura 28 constam os resultados da produção de grãos de milho (kg ha^{-1}) na interação dos tratamentos 0 e 60 kg ha^{-1} de N em pré-semeadura e os tratamentos com N em cobertura. Verificou-se que a produção de grãos no tratamento sem adição de N em pré-semeadura foi quadrática, enquanto que naquele com 60 kg ha^{-1} foi linear.

A média de produção de grãos de milho foi de 5.893 kg ha^{-1} e a média do nitrogênio acumulado de 72 kg ha^{-1} , mostrando que aproximadamente 44% do N do total da parte aérea acumularam-se nos grãos.

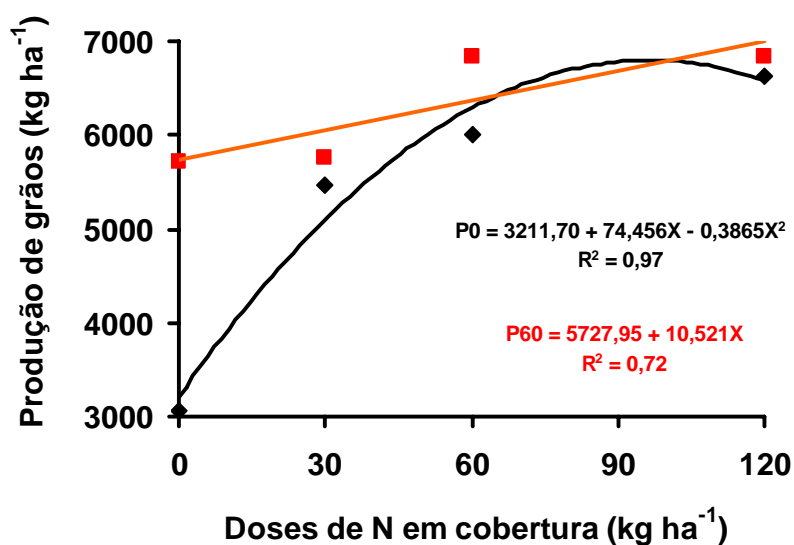


Figura 28 - Produção de grãos de milho, na interação dos tratamentos com 0 e 60 kg ha^{-1} de N em pré-semeadura e os tratamentos com N em cobertura (média de quatro repetições)

No tratamento 0 kg ha^{-1} de N em pré-semeadura, na interação com 30 kg ha^{-1} de N em cobertura, a produção de grãos foi de aproximadamente 5.500 kg ha^{-1} , mostrando uma grande eficiência do nitrogênio quando aplicado em pequenas doses. No entanto, as folhas das plantas de milho apresentaram sintoma de deficiência de nitrogênio. A produção máxima de grãos (6.800 kg ha^{-1}) seria obtida com a aplicação de 96 kg ha^{-1} de N em cobertura, mas nessa dose o fertilizante amoniacal acidificaria o solo e muito dos nutrientes, principalmente as bases trocáveis, seriam perdidas por lixiviação.

O tratamento com as doses de $60, 30$ e 60 kg ha^{-1} de N em pré-semeadura, semeadura e cobertura respectivamente, produziram mais de 6.000 kg ha^{-1} de grãos de milho e mostrou ser o mais adequado para uso no sistema de integração lavoura-pecuária, haja vista que as plantas não apresentaram sintomas de deficiências de N.

4.4.3 Concentração de nitrogênio em grãos de milho

A concentração de nitrogênio em grãos de milho aumentou linearmente em função das doses de nitrogênio em pré-semeadura (Figura 29). O nitrogênio acumulado nos grãos de milho foi de aproximadamente 85 kg ha^{-1} ($6.800 \text{ kg ha}^{-1} \times 12,5 \text{ g kg}^{-1} \text{ N}$) considerada a produção máxima de grãos na dose estimada de 96 kg ha^{-1} de N em cobertura (Figura 28 e 29). Com a produção de grãos dos tratamentos 0 e 60 kg ha^{-1} de N em pré-semeadura (Figura 28) e a concentração de nitrogênio de grãos nessas doses (Figura 29), o N acumulado em grãos de milho foi, respectivamente, de 35 e 74 kg ha^{-1} , mostrando que a eficiência de utilização de nitrogênio foi maior na menor dose.

4.4.4. Concentração de nitrogênio na parte aérea do milho

A concentração de nitrogênio nos tecidos das plantas do milho, após 30 dias da aplicação de N em cobertura, foi baixa no tratamento sem N em pré-semeadura e em cobertura e médio no de 120 kg ha^{-1} de N em cobertura (Malavolta & Dantas; 1987) (Figura 30). Essa concentração aumentou linearmente com as doses de nitrogênio em cobertura.

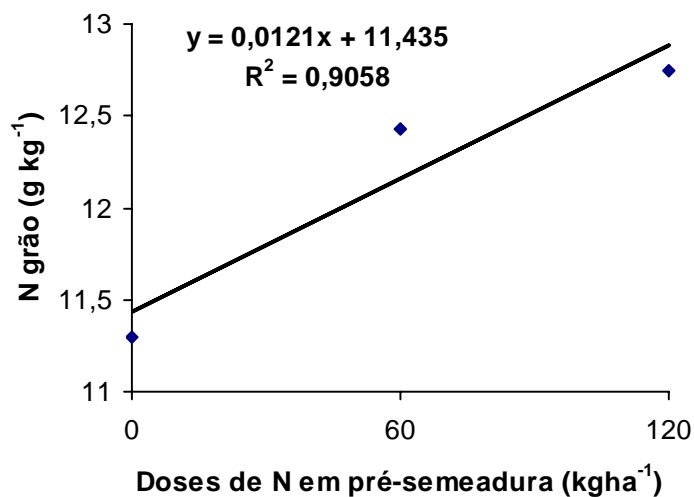


Figura 29 - Concentração de nitrogênio em grãos de milho em função das doses de nitrogênio aplicadas em pré-semeadura, independentemente dos tratamentos com N em cobertura (média de 12 repetições)

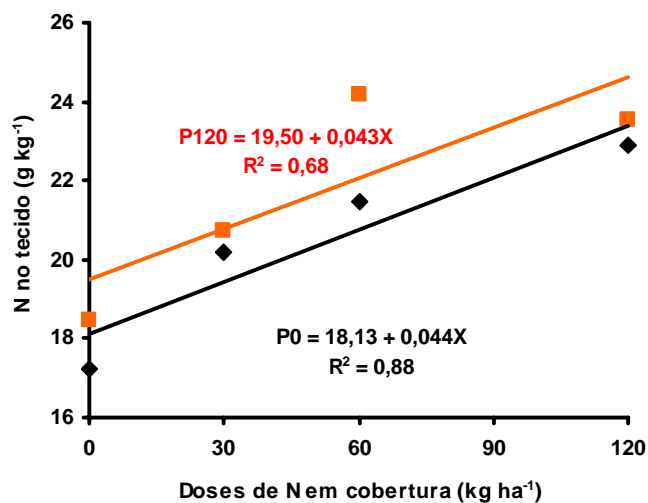


Figura 30 - Concentração de nitrogênio na parte aérea do milho, após 30 dias da cobertura nitrogenada, nos tratamentos com 0 e 120 kg ha^{-1} de N na pré-semeadura em interação com os tratamentos com N em cobertura (média de quatro repetições)

Houve decréscimo na concentração de N na parte aérea após 60 dias da cobertura com nitrogênio (Figura 31) em relação à primeira amostragem (Figura 30) no tratamento de 0 kg ha⁻¹ de N em pré-semeadura, cuja concentração foi reduzida de 18,3 para 8 g kg⁻¹ de N. As concentrações de nitrogênio nos tratamentos 0 e 60 kg ha⁻¹ de N em pré-semeadura aumentaram de forma quadrática e linear respectivamente, com as doses de nitrogênio em cobertura (Figura 31).

Após 90 dias da cobertura nitrogenada, as concentrações de nitrogênio na parte aérea do milho nos tratamentos 0 e 60 kg ha⁻¹ de N em pré-semeadura e naquele com 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, variaram de forma quadrática e linear com o aumento das doses de N em cobertura (Figura 32).

Da observação dos resultados das Figuras 30, 31 e 32 verificou-se que houve redução na concentração de nitrogênio, revelando a redistribuição de N para outros órgãos da planta como os grãos (Malavolta et al., 1987) e também, segundo Harper & Sharpe (1995), possivelmente pela ocorrência de perdas por volatilização de amônia na corrente transpiratória em folhas senescentes.

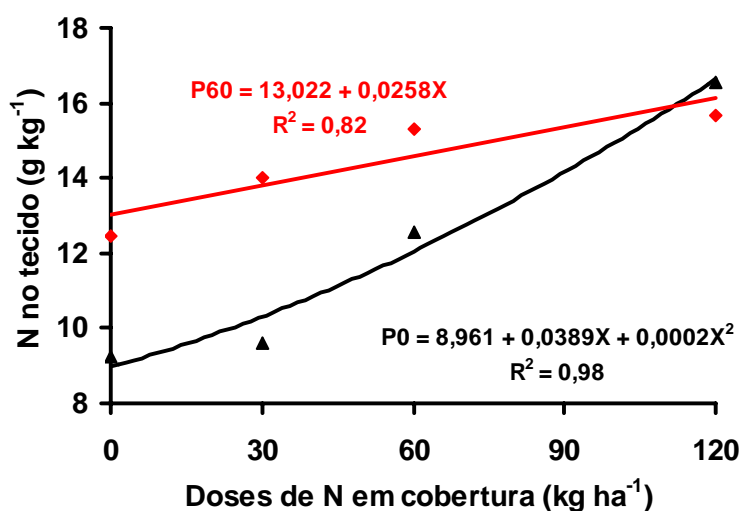


Figura 31 - Concentração de nitrogênio na parte aérea do milho, após 60 dias da cobertura nitrogenada, nos tratamentos com 0 e 60 kg ha⁻¹ de N na pré-semeadura em interação com os tratamentos com N em cobertura (média de quatro repetições)

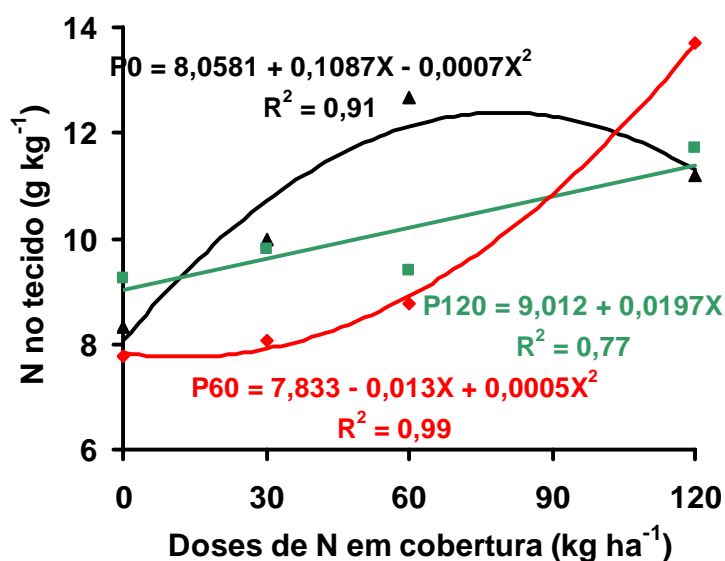


Figura 32 - Concentração de nitrogênio na parte aérea do milho, após 90 dias da cobertura com nitrogênio, nos tratamentos com 0, 60 e 120 kg ha⁻¹ N na pré-semeadura, em interação com os tratamentos com nitrogênio em cobertura (média de quatro repetições)

Na parte aérea do milho o nitrogênio acumulado foi aproximadamente de 78; 101 e 105 kg ha⁻¹ para os tratamentos com 0, 60 e 120 kg ha⁻¹ de N em pré-semeadura (Figuras 27 e 32)..

Nos tratamentos com 0 e 60 kg ha⁻¹ de nitrogênio em pré-semeadura na interação com a dose de 60 kg ha⁻¹ de N na cobertura do milho, após 90 dias da cobertura nitrogenada (Figura 32), a concentração de nitrogênio na parte aérea foi respectivamente, de 12,5 e 8,5 g kg⁻¹ de N, e o nitrogênio acumulado de 146 e de 122 kg ha⁻¹ (Figura 32 e 27).

Esses resultados demonstraram a ocorrência da mineralização de nitrogênio, a extração do nutriente pela cultura do milho e a eficiência do nutriente, principalmente quando o fertilizante nitrogenado foi aplicado em menor dose.

4.4.5 Concentração de potássio na parte aérea de plantas de milho

A concentração de potássio (26 g kg^{-1}) na parte aérea do milho, 30 dias após a cobertura com N, foi adequada (Malavolta & Dantas, 1987) e reduziu de forma linear e quadrática, respectivamente, nos tratamentos com 0 e 60 kg ha^{-1} de N em pré-semeadura na interação com os tratamentos em cobertura (Figura 33). As concentrações de K após 90 dias da cobertura nitrogenada, para os tratamentos com 0 e 120 kg ha^{-1} de N em pré-semeadura na interação com os tratamentos em cobertura, estão indicadas na Figura 34.

A concentração de potássio nos tecidos do milho, no tratamento 0 kg ha^{-1} de N em pré-semeadura e em cobertura, reduziu de 26 para 8 g kg^{-1} de K (Figuras 33 e 34) entre 30 e 90 dias após a época da cobertura nitrogenada. Esse padrão na redução da concentração de potássio foi similar ao verificado com o nitrogênio.

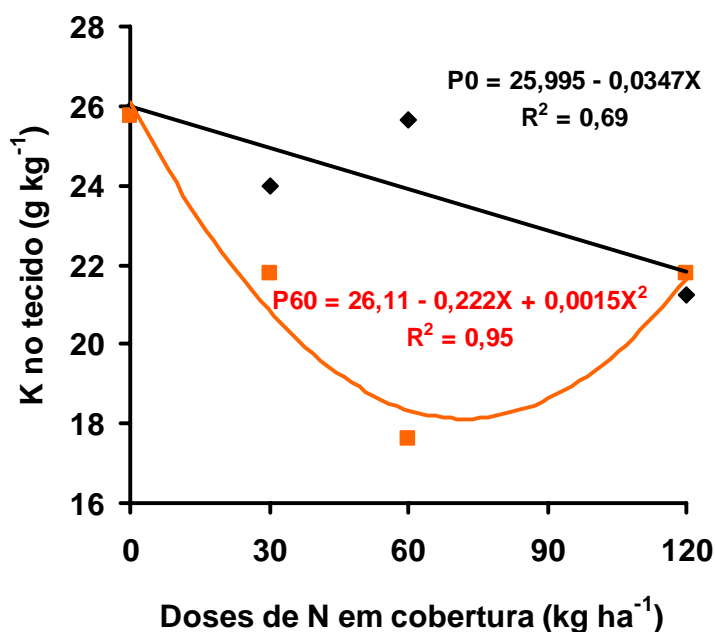


Figura 33 - Concentração de potássio na parte aérea do milho aos 30 dias após a cobertura com N, nos tratamentos com 0 e 60 kg ha^{-1} de N na pré-semeadura na interação com os tratamentos de cobertura nitrogenada (média de quatro repetições)

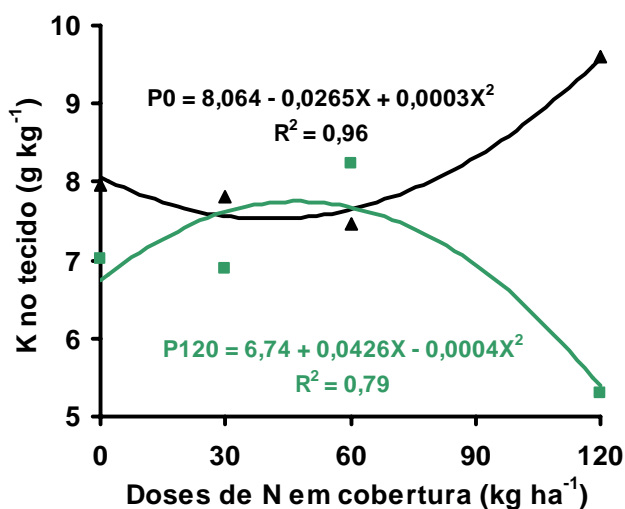


Figura 34 - Concentração de potássio na parte aérea do milho, 90 dias após a cobertura com N, nos tratamentos de 0 e 120 kg ha⁻¹ de N na pré-semeadura, em interação com os tratamentos em cobertura (média de quatro repetições)

Nos tratamentos com 0 e 120 kg ha⁻¹ de N em pré-semeadura, 90 dias após a cobertura com N, a concentração de potássio variou de forma quadrática com os tratamentos de N em cobertura (Figura 34). Esses resultados demonstraram que nas doses mais elevadas de nitrogênio houve maior extração de potássio pelo milho, que ocorreu, possivelmente, com o deslocamento do K para a solução do solo pelo íon amônio e outros elementos provenientes da acidez do solo.

4.4.6 Concentração de cálcio na parte aérea do milho

A concentração de cálcio nos tecidos do milho, aos 30 dias após a cobertura com N, no tratamento com 60 kg ha⁻¹ de N em pré-semeadura foi alta (Malavolta & Dantas, 1987). Essa concentração variou de forma quadrática com os tratamentos em cobertura (Figura 35). Com base nesses resultados pode-se inferir que o tratamento de 60 kg ha⁻¹ de N em pré-semeadura e em cobertura resultou na melhor concentração deste nutriente na parte aérea do milho.

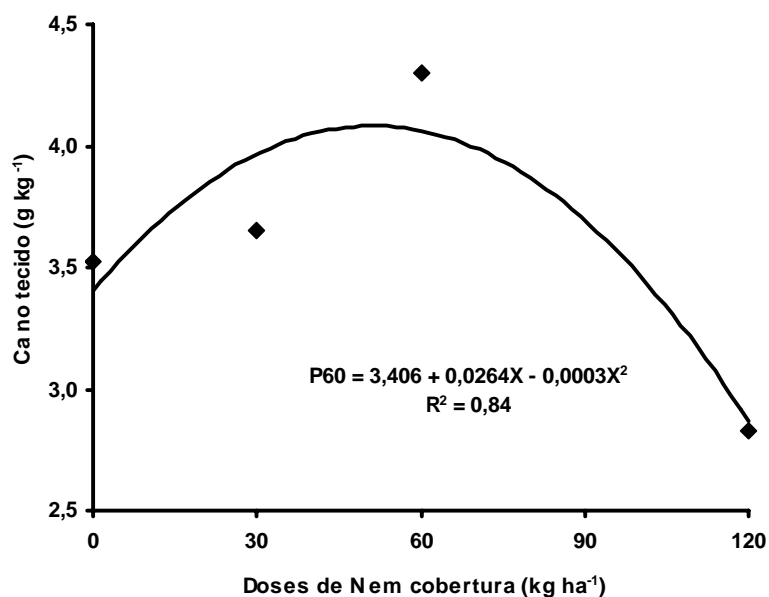


Figura 35 - Concentração de cálcio na parte aérea do milho, 30 dias após a cobertura com N, no tratamento de 60 kg ha⁻¹ de N em pré-semeadura em interação com os tratamentos em cobertura (média de quatro repetições)

4.4.7 Concentração de magnésio na parte aérea do milho

A concentração de magnésio nos tecidos do milho, aos 90 dias após a cobertura com N, no tratamento de 0 kg ha⁻¹ de N em pré-semeadura, foi médio (<1,5 g kg⁻¹). Isso mostra que nas doses menores de nitrogênio, há menor acidificação e melhor aproveitamento do nutriente pela planta. Essa concentração aumentou de forma quadrática com os tratamentos em cobertura até a dose de aproximadamente de 60 kg ha⁻¹ de N (Figura 36). No tratamento de 60 kg ha⁻¹ de N em pré-semeadura houve uma redução linear da concentração de magnésio na interação com os tratamentos em cobertura, o que demonstra mais uma vez o efeito acidificante do nitrogênio em dose mais elevada em detrimento a absorção e extração de bases trocáveis como o magnésio.

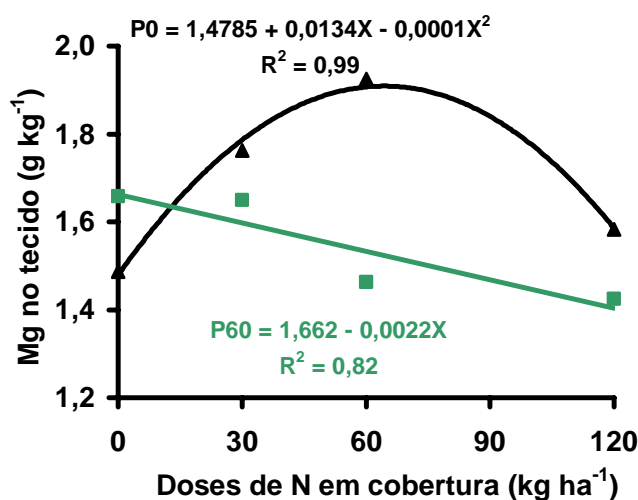


Figura 36 - Concentração de magnésio na parte aérea do milho, 90 dias após a cobertura com N, nos tratamentos de 0 e 60 kg ha⁻¹ de N em pré-semeadura na interação com os tratamentos em cobertura (média de quatro repetições)

4.4.8 Concentração de enxofre na parte aérea do milho

A concentração de enxofre na parte aérea do milho, aos 30 dias após a cobertura com N, no tratamento de 0 kg ha⁻¹ de N em pré-semeadura foi baixa (<1,0 g kg⁻¹) (Malavolta & Dantas, 1987). Essa concentração aumentou de forma linear com os tratamentos em cobertura e o mesmo comportamento foi observado no tratamento com 120 kg ha⁻¹ de N em pré-semeadura (Figura 37).

A concentração do nutriente no tecido do milho, após 90 dias da cobertura nitrogenada, nos tratamentos com 60 e de 120 kg ha⁻¹ de N em pré-semeadura também foi baixa, aumentando, respectivamente, de forma quadrática e linear com as doses de N em cobertura (Figura 38). Desses resultados pode-se inferir que a concentração e o incremento de enxofre na parte aérea do milho dependeram das doses de N em cobertura e a baixa concentração, possivelmente, esteve associada à absorção e extração desse nutriente pelo capim-Braquiária e a lixiviação do SO₄²⁻ para as camadas mais profundas do solo.

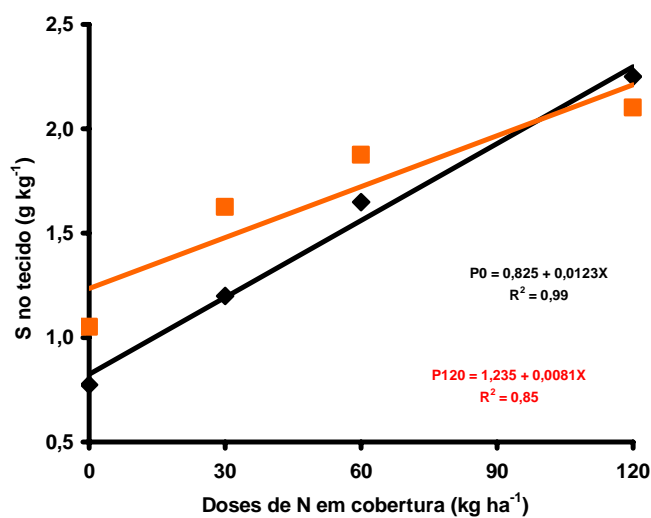


Figura 37 - Concentração de enxofre na parte aérea do milho, 30 dias após a cobertura com N, nos tratamentos de 0 e 120 kg ha⁻¹ de N em pré-semeadura, na interação com os tratamentos em cobertura (média de quatro repetições)

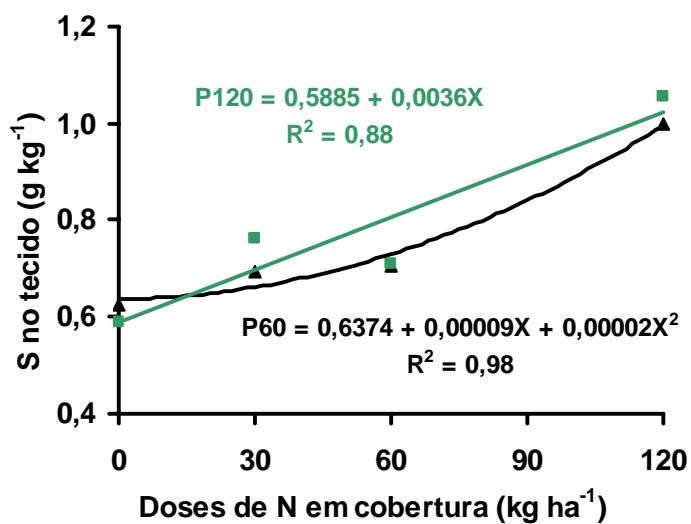


Figura 38 - Concentração de enxofre na parte aérea do milho, aos 90 dias após a cobertura com N, nos tratamentos com 60 e 120 kg ha⁻¹ de N na pré-semeadura na interação com os tratamentos com N em cobertura (média de quatro repetições)

4.5 Recuperação de nitrogênio na parte aérea do milho

A porcentagem de recuperação do N-sulfato de amônio aplicado em pré-semeadura ou em cobertura e a quantidade de nitrogênio da planta proveniente do fertilizante na parte aérea do milho e em seus componentes (grãos, palha +sabugo e folha+colmo) estão indicados na Tabela 3.

A porcentagem de recuperação de nitrogênio do sulfato de amônio (dose de 60 kg ha⁻¹ de N) aplicado em pré-semeadura foi de 40,4% e de 79,2% da mesma dose em cobertura. A recuperação do N em cobertura foi superior àquela encontrada pela maioria dos autores que é em torno de 50% (IAEA, 1970; Hauck, 1971; Ivanko, 1972; Olson, 1980; Moraghan et al., 1984; Rao et al.1992).

A menor porcentagem de recuperação de nitrogênio em pré-semeadura comparativamente à fertilização de cobertura pode ser atribuído ao processo de imobilização do N-mineral pela biomassa microbiana e, principalmente, pelo capim-Braquiária.

A quantidade de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (94,9 kg ha⁻¹ de N) da dose aplicada em cobertura foi quase o dobro da obtida em pré-semeadura (48,2 kg ha⁻¹), mostrando a eficiência de uso de nitrogênio em cobertura no sistema de integração lavoura-pecuária quando se usa o milho e o capim-Braquiária.

Do nitrogênio aplicado em cobertura 62,6% de N foram encontrados nos grãos de milho, 31,2 % em folha + colmo e o restante (6,2 %) na palha + sabugo. Na pré-semeadura, 73% da quantidade do N-fertilizante absorvido encontravam-se nos grãos de milho, 21,2 % na folha + colmo e 5,8 % na palha + sabugo. Esses resultados indicaram que 30 a 40 % do fertilizante nitrogenado retornaram ao solo com o resíduo vegetal do milho.

Tabela 3 . Porcentagem de Recuperação (Rec. %) e Quantidade de Nitrogênio na Planta Proveniente do Fertilizante (QNPPF) na parte aérea do milho e seus componentes em função da aplicação de doses de nitrogênio em pré- semeadura (P) e cobertura (C) na forma de sulfato de amônio marcado com ^{15}N

Doses de nitrogênio		Grãos		Palha + Sabugo		Folha + Colmo		Parte Aérea	
P	C	Rec.	QNPPF	Rec.	QNPPF	Rec.	QNPPF	Rec.	QNPPF
kg ha ⁻¹		%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹
120	0	29,5 b*	35,2 b	2,2 b	2,8 b	8,7 b	10,2 b	40,4 b	48,2 b
0	120	49,5 a	59,4 a	4,9 a	5,9 a	24,8 a	29,6 a	79,2 a	94,9 a

* Letras diferentes na mesma coluna diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%.

4.6 Considerações finais

As condições edafoclimáticas da região dos cerrados favorecem a exploração agropecuária. O solo frágil, a baixa disponibilidade de nutrientes e o clima estacional com altas temperaturas e pluviosidade exige o aporte de material orgânico e a fertilização do solo para mantê-lo produtivo e sustentável.

O modelo de integração lavoura-pecuária reacendeu a vocação agro-pastoril dessa região, principalmente com a recuperação/renovação do solo e da pastagem degradada que é no momento o gargalo da agropecuária nacional.

O uso de corretivos e fertilizantes químicos torna-se obrigatório, principalmente na fase inicial da recuperação/renovação dos pastos, com destaque para o nitrogênio que reativa a biomassa microbiana do solo e incrementa a produção de fitomassa que garante a manutenção da cobertura do solo com resíduos vegetais.

O capim-Braquiária apresenta sistema radicular abundante, agressivo, e contribui para melhoria da infiltração de água, da agregação e da aeração do solo. A planta contorna o período da estiagem e pode ser utilizada como feno em pé, pastagens

diferidas, silagem ou como palhada da cultura subsequente no sistema de integração lavoura-pecuária e dessa forma mantém-se a cobertura do solo no período seco com pastagem e no período chuvoso com lavoura.

A produção média de grãos de milho está em torno de 6.000 kg ha⁻¹ e tem sido suficiente para o ressarcimento das despesas realizadas com insumos e serviços na recuperação / renovação das pastagens.

O uso de nitrogênio amoniacal provoca acidez e distúrbio nutricional no solo, entretanto, essa acidificação é reduzida com o tempo pelo efeito da umidade e matéria orgânica do solo. É recomendável o uso de outras fontes nitrogenadas como uréia, nitrato de amônio, mistura de uréia + sulfato de amônio, além de incluir espécies de leguminosas na sucessão e/ou rotação de culturas.

O fertilizante nitrogenado na forma de sulfato de amônio, tanto no capim-Braquiária como no milho, deve ser aplicado apenas no sulco revolvido para semeadura e se possível no espaçamento de 0,60 m entre linhas para maior absorção e eficiência do N aplicado. Sugere-se não aplicar doses de nitrogênio superiores a 60 kg ha⁻¹ de uma só vez e que essa aplicação seja realizada no sulco revolvido em três momentos ou sejam: no capim-Braquiária na pré-semeadura do milho, na semeadura do milho e no estágio V₄ ou V₆ do milho, dependendo da necessidade nutricional.

A recuperação do nitrogênio nos grãos de milho é maior quando aplicado em cobertura e tem maior efeito residual quando aplicado em pré-semeadura no capim-Braquiária. O milho e o capim-Braquiária são responsivos à aplicação de fertilizante nitrogenado e são imprescindíveis no processo inicial de recuperação / renovação. Essas espécies apresentam características de maior longevidade de persistência à decomposição, alta relação C:N, aporte de matéria orgânica superior a 10 t ha⁻¹ no primeiro ano de cultivo e adaptabilidade regional dentre outras.

5 CONCLUSÕES

O nitrogênio foi essencial para o crescimento e desenvolvimento do capim-Braquiária e do milho no sistema de integração lavoura-pecuária. Esse nutriente na forma amoniacal e aplicado de uma só vez em doses elevadas provocou alta acidificação do solo. O meio ácido afetou a biomassa microbiana, em particular o processo de nitrificação, e potencializou, em grande parte, a lixiviação de nutrientes. Nessa situação a produtividade igualou-se independentemente se aplicado em pré-semeadura no capim-Braquiária ou em cobertura no milho. As doses mais baixas de nitrogênio aumentaram a absorção e eficiência desse nutriente, mas as plantas de milho apresentaram sintomas de deficiência nutricional de N.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADÁMOLI, J.; MACÊDO, J.; AZEVEDO, L.G.; MADEIRA NETTO, J. Caracterização da região dos cerrados. In: GOEDERT, W.J. (Ed.) **Solos dos cerrados**. Tecnologia e estratégias de manejo. Planaltina: EMBRAPA, CPAC; São Paulo: Nobel, 1985. p.33–74.
- ADDISCOTT, T.M. Entropy and sustainability. **European Journal of Soil Science**, v.46, p.161-168, 1992.
- AIDAR, H.; THUNG, M.; OLIVEIRA, I.P. de; KLUTHCOUSKI, J.; CARNEIRO, G.E.S.; SILVA, J.G. da ; DEL PELOSO, M.J. Bean production and White mould incidence under no-till system. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, v.43, p.150-151, 2000.
- ALTMANN, N. Como iniciar o plantio direto. In: ENCONTRO REGIONAL DE PLANTIO DIRETO NO CERRADO, 4., Uberlândia, 2001. **Plantio direto na integração lavoura-pecuária**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2001. 282p.
- ANGHINONI, I. Adubação nitrogenada nos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. In: SANTANA, M.B. (Ed.) **Adubação nitrogenada no Brasil**. Ilhéus: CEPLAC, SBCS, 1985. p.1-18.

- ANJOS, J.T.; TEDESCO, M.J. Volatilização de amônia proveniente de dois fertilizantes nitrogenados aplicados em solos cultivados. **Científica**, v.4, n.1, p.49-55, 1976.
- AQUINO, A R.L. de. Níveis e modos de aplicação de uréia ^{15}N no arroz (*Oryza sativa* L.) submetido a veranicos. Piracicaba, 1984. 134p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- BARRACLOUGH, D. ^{15}N isotope dilution techniques to study soil nitrogen transformations and plant uptake. **Fertilizer Research**, v.42, p.185-192, 1995.
- BARRIE, A.; PROSSER, S.J. Automated analysis of light-element stable isotopes by isotope ratio mass spectrometry. In: BOUTTON, T.W.; YAMASAKI, S. (Ed.) **Mass spectrometry of soils**. New York: Marcel Dekker, 1996. pt.1, p.1-46.
- BASSO, C.J. Manejo do nitrogênio no milho cultivado em sucessão a plantas de cobertura de solo no inverno no sistema plantio direto. Santa Maria, 1999. 91p. Dissertação (Mestrado.) – Universidade Federal de Santa Maria.
- BASSO, C.J; CERETTA, C.A.; MARCOLAN, A.L.; DURIGON, R. Manejo do nitrogênio no milho cultivado em sucessão a plantas de cobertura do solo no inverno no sistema plantio direto. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 23., Caxambú, 1998. **Resumos**. Lavras: UFLA; SBCS; SBM, 1998. p.45.
- BAYER, C. Dinâmica do material orgânico em sistemas de manejo de solos. Porto Alegre, 1996. 241p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.de A.; CAMARGO, F.A. de O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. 508p.
- BISSANI, C.A.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M.J.; CAMARGO, F.A.D.O. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. Porto Alegre: Genesis, 2004. 328p.
- BLACK, C.C. Photosynthetic carbon fixation in relation to net CO₂ uptake. **Annual Review of Plant Physiology**, v.24, p.253-286, 1973.
- BLEVINS, R.L.; THOMAS, G.W.; CORNELIUS, P.L. Influence of no-tillage, and nitrogen fertilization on certain soil properties after 5 years of continuous corn. **Agronomic Journal**, v.60, p.383-386, 1977.
- BLEVINS, R.L.; SMITH, M.; THOMAS, G.W. Changes in soil properties under no-tillage. In: PHILLIPS, R.E.; PHILLIPS, S.H (Ed.) **No-tillage agriculture**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1984. cap.9, p.190-230.
- BODDEY, R.M.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S. Métodos de estudo da origem do nitrogênio em plantas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE NITROGÊNIO EM PLANTAS, 1., Itaguaí, 1991. **Anais**. Itaguaí, 1991. p.322-342.
- BORKERT, C.M.; LANTMANN, A.F. Fertilidade do solo em plantio direto: Aspectos gerais, nitrogênio, fósforo, potássio e calagem. In: FANCELLI, A.L. (Coord.) **Plantio direto**. Piracicaba: FEALQ; ESALQ, USP, 1987. 89p.
- BRADFORD, J.M.; HUANG, C. Interrill soil erosion as effected by tillage and residue cover. **Soil & Tillage Research**, v.31, p.353-361, 1994.

- BREMNER, J.M.; KEENEY, D.R. Determination and isotope ratio analysis of different forms of nitrogen in soils. III. Exchangeable ammonium, nitrate and nitrite by steam-distillation methods. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.30, p.577-582, 1966.
- BREMNER, J.M.; MULVANEY, C.S. Nitrogen total. In: PAGE, A.L.; MILLER, R.H.; KEENE, D.R. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: ASA, 1982. cap.31, pt.2, p.595-624. (Agronomy, 9).
- BROADBENT, F.E.; CARLTON, A.B. Field trials with isotopically labeled nitrogen fertilizer. In: NIELSEN, D.R.; MAC DONALD, J.G. (Ed.) **Nitrogen in the environment**. New York: Academic Press, 1978. p.1-41.
- BROCH, D.L. Integração agricultura – pecuária no centro-oeste do Brasil. In: ENCONTRO REGIONAL DE PLANTIO DIRETO NO CERRADO, 4., Uberlândia, 1999. **Plantio direto na integração lavoura-pecuária**. Uberlândia: APDC; ICIAG, UFU, 2001. p.53–60.
- CAMPBELL, C.A.; MYERS, R.J.K.; WEIER, K.L. Potentially mineralizable nitrogen, decomposition rates and their relationship to temperature for five Queensland soils. **Australian Journal of Soil Research**, v.19, p.323-332, 1981.
- CAMPOS, A.X. Eficiência da uréia e do sulfato de amônio na cultura do milho (*Zea mays* L.) Porto Alegre, 1976. 65p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- CANTARELLA, H. Calagem e adubação do milho. In: BULL, L.T.; CANTARELLA, H. (Ed.). **Cultura do milho**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Potafós, 1993. p.147-196.

- CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van. Adubação nitrogenada no Estado de São Paulo. In: SANTANA, M.B.M. (Ed.). **Adubação nitrogenada no Brasil**. Ilhéus: CEPLAC, SBCS, 1985. p.47-79.
- CANTARELLA, H.; TABATABAI, M.A. Volatilização de amônia de alguns fertilizantes nitrogenados aplicados a solos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 20. , Belém, 1985. **Resumos**. Belém: SBCS, 1985. p.90.
- CANTARELLA, H; DUARTE, A.P. Adubação do milho safrinha. In: SEMINÁRIO SOBRE A CULTURA DO MILHO SAFRINHA, Assis, 1995. **Resumos**. Campinas: IAC/CDV, 1995. p.21-27.
- CANTARELLA, H.; LERA, F.L.; BOLONHEZI, D.; LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O. Antecipação de N em milho em sistema de plantio direto usando ¹⁵N-uréia (compact disc). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., Ribeirão Preto, 2003. **Resumos**. Ribeirão Preto: SBCS, 2003.
- CERETTA, C.A. Manejo da adubação nitrogenada na sucessão aveia/milho no sistema plantio direto. In: FRIES, M.R.; DALMOLIN, R.S.D. (Coord.) **Atualização em recomendação de adubação e calagem**: ênfase em plantio direto. Santa Maria: Pallotti, 1997. p.112-124.
- CERETTA, C.A.; FRIES, M.R. Adubação nitrogenada no sistema plantio direto. In: NUERNBERG, N.J. (Ed.). **Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto**. Lages: SBCS, 1998. p.111-120.
- COELHO, A.M. Balanço de nitrogênio ¹⁵N na cultura do milho (*Zea mays* L.) em um latossolo vermelho escuro, fase cerrado. Lavras, 1987. 142p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura de Lavras.

- COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E.; FILHO, A.F.C.B.; GUEDES, G.A.A. Doses e métodos de aplicação de fertilizantes nitrogenados na cultura do milho sob irrigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.16, p.61-67, 1992.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DE SOLOS DE GOIÁS. **Recomendações de corretivos e fertilizantes para Goiás - 5**. Goiânia: UFG; EMGOPA, 1988. 101p.
- CORDEIRO, D.S.; FRANCO, J.C.B. Efeito de doses e épocas de aplicação de nitrogênio no milho em solo hidromórfico. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 20., Goiânia, 1994. **Resumos**. Goiânia: ABMS; EMGOPA; EMBRAPA, CNPMS; UFG; EMATER-GO, 1994. p.111.
- CROZIER, C.R.; KING, L.D.; VOLK, R.J. Tracing nitrogen movement in corn production systems in the North Carolina Piedmont: A nitrogen-15 study. **Agronomy Journal**, v.90, p.171-177, 1998.
- DENARDIN, J.E.; KOCHHAN, R.A. Requisitos para a implantação e a manutenção do sistema plantio direto. In: PLANTIO direto no Brasil. Passo Fundo: Editora Aldeia Norte, 1993. p.19-27.
- DERPSCH, R. Alguns resultados sobre adubação verde no Paraná. In: FUNDAÇÃO CARGILL. **Adubação verde no Brasil**. Campinas: Fundação Cargill, 1983. p.268-279.
- DERPSCH, R. Histórico, requisitos, importância e outras considerações sobre o plantio direto no Brasil. In: TORRADO, P.V.; ALOISI, R.P. (Coord.) **Plantio direto no Brasil**. Campinas: Fundação Cargill, 1984. p.1-12.

DERPSCH, R.; ROTH, C.H.; SIDIRAS, N.; KÖPKE, U. Importância da adubação verde. In: CONTROLE DA EROÇÃO NO PARANÁ, BRASIL: SISTEMAS DE COBERTURA DO SOLO, PLANTIO DIRETO E PREPARO CONSERVACIONISTA DO SOLO, Dt. Ges.jür Techn. Zusammenarbeit (GTZ) Gmbh, Eschborn., 1991. p. 117 – 146.

DERPSCH, R.; CALEGARI, A. **Guia de plantas para adubação verde de inverno.** Londrina: Fundação IAPAR, 1985. 96p. (Documentos, 9).

DORAN, J.W. Soil quality and sustainability. (compact disc) In: Anais CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. Rio de Janeiro: SBCS, 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Distrito Federal.** Rio de Janeiro: EMBRAPA, CNPS, 1978. 455p. (Boletim Técnico, 53).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília: Embrapa Solos, 1999. 412p.

FABRICIO, A.C.; SALTON, J.C. **Alterações no teor de matéria orgânica do solo em diferentes sistemas de produção.** Dourados: EMBRAPA AGROPECUÁRIA OESTE., 1999. 4p. (Comunicado Técnico, 7).

FANCELLI, A.L. (Coord.) Plantio direto. In: ENCONTRO DE PAULISTA DE PLANTIO DIRETO, 1., Piracicaba, 1987. Piracicaba: FEALQ/ESALQ/USP, 1987. p.89. (Comunicado Técnico, 7).

- FANCELLI, A.L. Milho: Ambiente e produtividade. In: FANCELLI, A.L.; DOURADO, NETO, D. (Ed.). **Milho**: estratégia de manejo para alta produtividade. Piracicaba: ESALQ-USP, LPV, 2003. 208p.
- FERNANDES, A.L.; NETO, A.E.F.; VASCONCELOS, C.A.; GUEDES, G.A.A. Preparo do solo e adubação nitrogenada na produtividade do milho em latossolo sob vegetação de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.247-254, 1998.
- FERREIRA, A.C. de B. Efeitos da adubação com N, Mo e Zn sobre a produção, qualidade de grãos e concentração de nutrientes no milho. Viçosa, 1997. 74p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
- FOX, R.L.; BLAIR, G.J. Plant response to sulfur in tropical soil. In: TABATABAI, M.A. (Ed.) **Sulfur in agriculture**. Madison: ASA, 1986. p.405-434.
- FRANÇA, G.E.; COELHO, A.M.; BAHIA FILHO, A.F.C. Parcelamento da adubação nitrogenada em cobertura na cultura do milho irrigado. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 20., Goiânia, 1994. **Resumos**. Goiânia: ABMS; EMGOPA; EMBRAPA, CNPMS; UFG; EMATER-GO, 1994. p.101.
- FRANÇA, G.E.; BAHIA FILHO, A.F.C.; VASCONCELOS, C.A.; SANTOS, H.L.dos. Adubação nitrogenada em Minas Gerais. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 16., Ilhéus, 1984. **Anais**. Ilhéus: CEPLAC, 1985. p.107-120.

- FRANÇA, G.E.; COELHO, A.M.; RESENDE, M.; BAHIA FILHO, A.F.DE C.
Acumulação de massa seca e de nitrogênio na cultura de milho irrigado. In:
EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Relatório Técnico
Anual do Centro Nacional de Pesquisa do Milho e Sorgo - 1994**. Sete Lagoas:
EMBRAPA, CNPMS, 1992-1993. p.29-30.
- FRANCHINI, J.C.; MEDA, A.R.; CASSIALOTO, M.E.; GAUDÊNCIO, C.A.
Alterações na fertilidade do solo em sistemas de rotação de culturas em semeadura
direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, n.2, p.459-467, 2000.
- FRATTINI, J.A. A cultura do milho. Instruções sumárias. CAT ; COT. Campinas,
1975. 26p.
- GAVA, G.J. de C. Compartimentalização do nitrogênio no sistema solo-planta na
implantação da semeadura direta no ciclo da cultura do milho. Piracicaba, 2003.
125p. Tese (Doutorado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade
de São Paulo.
- GOEDERT, W.J.; LOBATO, E.; WAGNER, E. Potencial agrícola da região dos
cerrados brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.15, n.1, p.1-17, 1980.
- GREENLAND, D.J.; WILD, A.; ADAMS, D. Organic matter dynamics in soils of the
tropics- from myth to complex reality. In: LAL, R. (Ed.) **Myths and science of soil
in the tropics**. Madison: ASA; SSSA, 1992. p.17-33.
- GROVE, L.T.; RITCHEY, K.D.; NADERMAN, J.R.G.C. Nitrogen fertilization of
maize on oxissol of the cerrado of Brazil. **Agronomy Journal**, v.27, n.2, p.261-265,
1980.

- HANWAY, J.J. Growth stages of corn (*Zea mays*, L.) **Agronomy Journal**, v.56, p.487-492, 1963.
- HARPER, L.H.; SHARPE, R.R. Nitrogen dynamics in irrigated corn; soil-plant nitrogen and atmosphere ammonia transport. **Agronomy Journal**, v.87, p.669-675, 1995.
- HART, P.B.S.; RAYNER, J.H.; JENKINSON, D.S. Influence of pool substitution on the interpretation of fertilizer experiments with ¹⁵N. **Journal of Soil Science**, v.37, p. 389-403, 1986.
- HAUCK, R.D. Quantitative estimates of nitrogen – cycle process. Concepts e review. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Nitrogen-15 in soil-plant studies**. Vienna: IAEA 1971. p. 65-80.
- HEINZMANN, F.X. Resíduos culturais de inverno e assimilação de nitrogênio por culturas de verão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.20, p.1021-1030, 1985.
- HERNANI, L.C.; SALTON, J.C. Manejo e conservação do solo In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Algodão**: Informações técnicas. Dourados: EMBRAPA, CPAO; Campina Grande: EMBRAPA, CNPA, 1998. p.26-50. (Circular Técnica, 7).
- HOLANDA, F.S.R.; MENGEL, D.B.; PAULA, M.B.; CARVALHO, J.G.; BERTONI, J.C. Influence of crop rotations and tillage systems on phosphorus and potassium stratification and root distribution in the soil profile. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.29, n.15/16, p.2383-2394, 1998.

- HOLTZ, G.P. Dinâmica da decomposição da palhada e da distribuição do carbono nitrogênio e fósforo numa rotação de culturas sob plantio direto na região de Carambeí - Paraná. Curitiba, 1995. 129 p. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal do Paraná.
- HUE, N.V. Effects of organic acids/anions on P sorption and phytoavailability in soils with different mineralogies. **Soil Science**, v.6, p.463-471, 1991.
- HUE, N.V; CRADDOCK, G.R.; ADAMS, F. Effect of organic acids on aluminum toxicity in sub soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.50, p.28-34, 1986.
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Fertilizer management practices for maize**: results of experiments with isotopes. Vienna: IAEA, 1970. 78p. (Technical Report Series, 121).
- IVANKO, S. Recent progress in the use of ^{15}N in research on nitrogen balance studies sin soil-plant relationships. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Isotope and radiation in soil-plant relationships includid forestry**. Vienna: IAEA, 1972. p.483-497.
- JACOMINE, P.K.T. Descrição das características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas de alguns perfis de solos sob vegetação de cerrado. Brasília: Ministério da Agricultura. 1969. (Boletim Técnico, 11).
- JANSEN, H H.; KUCEY, R.M.N. Carbon, nitrogen and sulfur mineralization of crop residues as influenced by crop species and nutrient regime. **Plant and Soil**, v.106, p.35-41, 1988.
- JENKINSON, D.S. Chemical test for potentially available nitrogen in soil. **Journal of Science of Food and Agriculture**, v.19, p.160-168, 1968.

- JENKINSON, D.S.; FOX, R.A.; RAYNER, J.H. Interactions between fertilizer nitrogen and soil nitrogen–The so called “priming effect” **Journal of Soil Science**, v.36, p.425-444, 1985.
- JOKELA, W.E.; RANDALL, G.W. Fate of fertilizer nitrogen as affected by time rate of application on corn. **Soil Science Society of America Journal**, v.61, p.1695-1703, 1997.
- JUO, A.S.R.; DABIRI, A.; FRANZLUEBBERS, K. Acidification of a kaolinitic alfisol under continuous cropping with nitrogen-fertilization in west-Africa. **Plant and Soil**, v.171, n.2, p.245-253, 1995.
- KEENEY, D.R.; NELSON, D.W. Nitrogen-inorganic forms. In: PAGE, A.L.; MILLER, R.H.; KEENEY, D.R. **Methods of soil analysis**. Pt.2. Chemical and microbiological properties. 2.ed. Madison: ASA, 1982. p.643-698.
- KITUR, B.K.; SMITH, M.S.; BLEVINS, R.L.; FRYE, W.W. Fate of ¹⁵N- depleted ammonium nitrate applied to no-tillage and conventional tillage maize. **Agronomy Journal**, v.76, p.240-242, 1984.
- KLUTHCOUSKI, J.; PACHECO, A.R.; TEIXEIRA, S.M.; OLIVEIRA, E.T. de. Renovação de pastagens de cerrado com arroz. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Barreirão**. Goiânia: EMBRAPA, CNPAF, 1991. 20p. (Documentos, 33).
- LEÃO, S.R.F. Potencial agrícola dos solos do Distrito Federal. In: PINTO, M.N. (Org). **Cerrado 1994, caracterização, ocupação e perspectivas**. Brasília: EDUNB, 1994. cap.14, p.456-467.

- LOPES, A.S. **Características, propriedades e manejo**. 2.ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1984. 162p.
- MACEDO, J. Os solos da região do cerrado. In: ALVAREZ, V.V.H.; FONTES, L.E.F.; FONTES, M.P.F. **Os solos nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa: SBCS/UFV, 1996. p.135–167.
- MACEDO, J.; MADEIRA NETTO, J.S. Contribuição para a interpretação de levantamento de solos. Planaltina: EMBRAPA, CPAC, 1981. 32p. (Boletim de Pesquisa, 6).
- MACHADO, E.C.; PEREIRA, A R.; FAHL, J.I.; ARRUDA, H.V.; SILVA, W.J.; TEIXEIRA, J.P.F. Análise quantitativa de crescimento de quatro variedades de milho em três densidades. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.17, p.825-833, 1982.
- MACHADO, L.A.Z.; FABRÍCIO, A.C.; SALTON, J.C. **Desempenho de novilhos em pastagem de *Braquiária decumbens* permanente e após soja**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 1999. 5p. (Comunicado Técnico, 8).
- MAGALHÃES, A C.N. Análise quantitativa do crescimento. In: FERRI, M.G. (Ed.) **Fisiologia vegetal**. São Paulo: EDUSP, 1979. v.1, p.331-349.
- MALAVOLTA, E.; DANTAS, J.P. Nutrição e adubação do milho. In: PATERNIANI, E. **Melhoramento e produção do milho**. 2.ed. Campinas: Fundação Cargil, 1987. p.539-593.
- MATOWO, P.R.; PIERZYNSKI, G.M.; WHITNEY, D.; LAMOND, R.E. Soil chemical properties as influenced by tillage and nitrogen source, placement, and rates after 10 years of continuous sorghum. **Soil & Tillage Research**, v.50, p.11-19, 1999.

- MEISENGER, J.J.; BANDEL, V.A.; STANFORD, G.; LEGG, J.O. Nitrogen utilization of maize under minimal tillage and moldboard plow tillage: I four-year results using labeled N fertilizer on an Atlantic Coastal Plain Soil. **Agronomy Journal**, v.77, p.602-611, 1985.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. Bern: International Potash Institute, 1987.
- MIELNICZUK, J.; SELBACH, P.A. Capacidade de suprimento de potássio de seis solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.2, p.115-120, 1978.
- MIELNICZUK, J.; TESTA, V.M.; TEIXEIRA, L.A.J.; PALADIN, F.L.S. Recuperação da produtividade do solo por sistemas de cultivos. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE LA CIÊNCIA DEL SUELO, 12., Salamanca, 1993. **Actas**. Salamanca: Ministério da Agricultura, Pesca y Alimentación, 1993. p.744-750.
- MIYZAWA, M.; CHIERICE, G.O.; PAVAN, M.A. Amenização da toxicidade de alumínio as raízes de trigo pela complexação com ácidos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.16, n.2, p.209-215, 1992.
- MONEGAT, C. **Plantas de cobertura do solo: características e manejo em pequenas propriedades**. Chapecó: Editora do Autor, 1991. 337p.
- MORAGHAN, J.T.; REGO, T.J.; BURESH, R.J. Labeled nitrogen fertilizer research with urea in the semi-arid tropics, III. Field studies on alfisol. **Plant and Soil**, v.82, n.2, p.193-203, 1984.

- MORAGHAN, J.T.; REGO, T.J.; BURESH, R.J.; VLEK, P.L.G.; BURFORD, J.R.; SINGH, S. ; SAHRAWAT, K.L. Labeled nitrogen fertilizer research with urea in the semi-arid tropics. 11. Field studies on a vertisol. **Plant and Soil**, v.80, n.1, p.21-23, 1984.
- MOTHCHI, E.P. Características, gênese e aptidão agrícola de uma seqüência de solos no Planalto Central Brasileiro. Porto Alegre, 1977. 107p. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- MUZILLI, O. Manejo da fertilidade do solo. In: INSTITUO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Plantio direto no Paraná**. Londrina: IAPAR, 1981. p.43-57. (Circular, 23).
- MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional sobre a fertilidade da camada arável do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, V.7, p.95-102. 1983.
- MUZILLI, O. Plantio direto como alternativa no manejo e conservação do solo. In: IAPAR. CURSO BÁSICO PARA INSTRUTORES EM MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO. Londrina, 1991. 20p.
- MUZILLI, O.; OLIVEIRA, E.L. Nutrição e adubação. In: FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **O milho no Paraná**. Londrina: IAPAR, 1982. p.88-104. (Circular, 29).
- MYERS, R.J.K.; PALM, C.A.; CUEVAS, E.; GUNATILLEKE, I.U.N.; BROSSARD, M. The synchronisation of nutrient mineralisation and plant nutrient demand. In: WOOMER, P.L.; SWIFT, M.J. (Ed.). **The biological management of tropical soil fertility**. New York: Wiley-Sayce Publication, 1994. p.81-112.

OLIVEIRA, I.P.de; KLUTHCOUSKI, J.; YOKOYAMA, L.P.; DUTRA, L.G.; PORTES, T.de A; SILVA, A.E. da; PINHEIRO, B.da S; FERREIRA, E.; CASTRO, E da M. de; GUIMARÃES, C.M.; GOMIDE, J.de C; BALBINO, L.C. **Sistema Barreirão**: recuperação/renovação de pastagens degradadas em consórcio com culturas anuais. Goiânia: EMBRAPA, CNPAF, 1996. 87p. (Documentos, 64).

Oliveira, P.P.A. Manejo da calagem e da fertilização nitrogenada na recuperação de pastagens degradadas de *Brachiaria* spp. 2001. 107 p.:il. Tese (Doutorado) Centro de Energia Nuclear na Agricultura.

IOLIVEIRA, R.M. de. Resposta do feijão de inverno a doses de nitrogênio no sistema de plantio direto e efeito de palhadas no desenvolvimento do mofo branco. Goiânia, 2001. 88p. Tese (Doutorado) – Universidade de Goiás.

OLSON, R.A. Fate of tagged nitrogen fertilizer applied to irrigated corn. **Soil Science Society of America Journal**, v.44, n.3, p.514-517, 1980.

PACE, L. Adubação nitrogenada na cultura do milho em sucessão as espécies de cobertura de solo. Botucatu, 2001. Dissertação (Mestrado) Universidade Estadual de São Paulo.

PAIVA, P.J.R. Parâmetros de fertilidade de um solo do Paraná sob diferentes sistemas de manejo. Lavras, 1990. 55p. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal de Lavras.

PALM, C.A.; SANCHEZ, P.A. Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents. **Soil Biology and Biochemistry**, v.23, p.38-88, 1991.

- PARKINSON, J.A.; ALLEN, S.E. A wet oxidation procedure suitable for the determination of nitrogen and mineral nutrients in biological materials. **Communications in Soil Science and plant Analysis**, v.6, p.1-11, 1975.
- PARRA, M.S. Dinâmica de matéria orgânica e de nutrientes num latossolo roxo distrófico submetido aos sistemas de plantio convencional e direto e a diferentes sucessões de cultura. Viçosa, 1986. 94p. Dissertação (M.S.) - Universidade Federal de Viçosa.
- PAVAN, M.A. Fertilidade do solo em plantio direto. In: ENCONTRO NACIONAL DE PLANTIO DIRETO, 3., Ponta Grossa, 1985. **Anais**. Castro: Cooperativa Central de Laticínio do Paraná; Fundação ABC, 1985. p.67-75.
- PAVAN, M.A.; OLIVEIRA, E.L. **Manejo da acidez do solo**. Londrina: IAPAR, 1997. 86p. (Circular, 95).
- PHILLIPS, R.E.; THOMAS, G.W.; FRYE, W.W.; PHILLIPS, S.H. No tillage agriculture. **Science**, v.208, p.1108-1113, 1980.
- PICCOLO, A. Húmus and soil conservation. In: PICCOLO, A. (Ed.). **Humus substances in terrestrial ecosystems**. Amsterdam: Elsevier, 1996. p.225-264.
- PÖTTKER, D.; WIETHÖLTER, S. Antecipação da aplicação de nitrogênio em milho. (compact disc) In: FERTIBIO 2000- REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 22., Santa Maria, 2000. Santa Maria: SBCS, 2000.
- POWLSON, D.S.; BARRACLOUGH, D. Mineralization and assimilation in soil – plant system. In: KNOWLES, R.; BLACKBUM, T.H. (Ed.) **Nitrogen isotope techniques**. San Diego: Academic Press, 1993. p.209-242.

- PRIMAVESI, A.O. **Manejo ecológico do solo**. 4.ed. São Paulo: Nobel, 1982. 541p.
- RAIJ, B. VAN; CANTARELLA, H.E. Milho para grãos e silagens. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.) Campinas: IAC, 1996. p.56-59. (Boletim Técnico, 100).
- RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.de; CANTARELLA, H.E.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: IAC, 2001. 285p.
- RAO, A.C.S.; SMITH, J.L.; PARR, J.F.; PAPENDICK, R.I. Considerations in estimating nitrogen recovery efficiency by the difference and isotopic dilution methods. **Fertilizer Research**, v.33, p.209-217, 1992.
- REATTO, A.; CORREIA, J.R.; SPERA, S. T. Solos do bioma cerrado: aspectos pedológicos. In: SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P. **Cerrado ambiente e flora**. Planaltina: EMBRAPA, 1998. p.47-86.
- REDDY, G.B.; REDDY, K.R. Fate of nitrogen- 15 enriched ammonium nitrate applied to corn. **Soil Science Society of America Journal**, v.57, p.111-115, 1993.
- REICHARDT, K.; LIBARDI, P. L.; URQUIAGA, S. C. Fate of fertilizer nitrogen in soil-plant systems with emphasis on the tropics. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Agro-chemicals: Fate in food and the environment**. Vienna: IAEA, 1982. p.277-290.
- RESENDE, M.; CURI, N.L.; SANTANA, D.P. **Pedologia e fertilidade do solo: interações e aplicações**. Brasília: Ministério da Educação; Lavras: ESAL; Piracicaba: POTAFÓS, 1988. 83p.

- RESENDE, M.; KER, J.C.; BAHIA FILHO, A F.C. Desenvolvimento sustentado do cerrado. In: ALVAREZ, V.V.H.; FONTES, L.E.F.; FONTES, M.P.F. **Os solos nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa: SBCS, 1996. p.169–199.
- RESENDE, M.; CURI, N.L.; RESENDE, S.B.; CORRÊA, G.F. **Pedologia**: base para distinção de ambientes. Viçosa: NEPUT, 1995. 304p.
- RODRIGUES, T.E. Mineralogia e gênese de uma seqüência de solos dos cerrados no Distrito Federal. Porto Alegre, 1977. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- ROOS, L.C. Impacto econômico da integração agricultura-pecuária em Plantio Direto. In: ENCONTRO REGIONAL DE PLANTIO DIRETO NO CERRADO, 4., Uberlândia, 1999. **Plantio direto na lavoura-pecuária**. Uberlândia, 1999.
- ROZAS, H.S.; ECHEVERRÍA, H.E.; STUDDERT, G.A.; ANDRADE, F.H. No-till maize nitrogen uptake and yield: effect of urease inhibitor and application time. **Agronomy Journal**, v.91, p.950-955, 1991.
- SÁ, J.C.M. **Manejo de nitrogênio na cultura do milho no sistema de plantio direto**. Passo Fundo: Aldeia Norte Editora, 1996. 24p.
- SÁ, J.C.M. Nitrogênio: Influência da rotação de culturas e resposta da cultura de milho em solos sob plantio direto. In: CURSO SOBRE MANEJO DO SOLO NO SISTEMA PLANTIO DIRETO. Castro, 1995. **Anais**. Castro: Fundação ABC, p.213-227.

- SÁ, J.C.M. **Manejo da fertilidade do solo no plantio direto.** Castro: Fundação ABC, 1993. 96p.
- SÁ, J.C.M. Efeito de doses e épocas de aplicação de nitrogênio na produção de milho, após resteva de aveia preta (*Avena strigosa*) sob plantio direto. In: FUNDAÇÃO ABC. **Resultados de pesquisa 88/89.** Castro: 1989a. (Boletim Técnico, 4).
- SÁ, J.C.M. **Efeito de doses de nitrogênio na cultivar BR-14 em três densidades de semeadura em sistema de plantio direto após resteva de milho e soja;** resultados de pesquisa safra inverno 1989. Castro: Sociedade Cooperativa Castrolândia 1989b. p.13-14.
- SALET, R.L. Dinâmica de íons na solução de um solo submetido ao sistema plantio direto. Porto Alegre, 1994. 110p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- SALTON, J.C. Opções de safrinha para agregação de renda nos cerrados. In: ENCONTRO REGIONAL DE PLANTIO DIRETO NO CERRADO, 4., Uberlândia, 1999. **Plantio direto na integração lavoura-pecuária.** Uberlândia, 1999b. p.189-200.
- SALTON, J.C.; HERNANI, L.C.; FONTES, C.Z. **Sistema plantio direto.** O produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília: EMBRAPA, SDI; Dourados: EMBRAPA, CPAO, 1998. 248p.
- SALTON, J.C.; HERNANI, L.C.; BROCH, D.L.; FABRICIO, A.C. **Alterações em atributos físicos do solo decorrentes da rotação soja-pastagem, no sistema plantio direto.** Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 1999a. 5p. (Comunicado Técnico, 10).

- SANCHEZ, C.A.; BLACKMER, A.M.; HORTON, R.; TIMONS, D.R. Assessment of errors associated with plot size and lateral movement of nitrogen-15 when studying fertilizer recovery under field conditions. **Soil Science**, v.144, n.5, p.344-351, 1987.
- SANCHEZ, C.A.; BLACKMER, A.M. Recovery of anhydrous ammonia- derived nitrogen-15 during three years of corn production in IOWA. **Agronomy Journal**, v.80, p.102-108, 1988.
- SANGOI, L.; ALMEIDA, M.L. de. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio para a cultura do milho num solo com alto teor de matéria orgânica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.29, n.1, p.13-24, 1994.
- SARRUGE, J.K; HAAG, H.P. **Análise química em plantas**. Piracicaba: ESALQ, Depto. De Química, 1974. 55p.
- SAS INSTITUTE. **SAS property** (software). Version 6.03. Cary, 1990.
- SEGUY, L.; BOUZINAC, S.; DOUZET, J.M. **Gestão dos solos e das culturas nas áreas de fronteiras agrícolas dos cerrados úmidos e das florestas no Centro-Oeste brasileiro – região Centro Norte de Mato Grosso**: campanha agrícola 1993-94. Lucas do Rio Verde: Cooperlucas; CIRAD-CA, 1994. 259p. (Convênio RPA/COOPERLUCAS/CIRAD-CA).
- SEGUY, L.; KLUTHCOUSKI, J.; SILVA, J.G.da; BLUMENSCHIEIN, F.N.; DALL'ACQUA, F.M. **Técnicas de preparo do solo**: efeitos na fertilidade e na conservação do solo, nas ervas daninhas e na conservação da água. Goiânia: EMBRAPA, CNPAF, 1984. 26p. (Circular Técnica, 17).

- SILVA, E.C.; MURAOKA, T.; BUZETTI, S.; GUIMARÃES, G.L. Doses e épocas de aplicação e utilização do nitrogênio (^{15}N) pelo milho sob plantio direto.(compact disc) In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., Ribeirão Preto, 2003. **Resumos**. Ribeirão Preto: SBCS, 2003.
- SOUZA, G.A. Estudo comparativo de propriedades de latossolos do Brasil. Porto Alegre, 1977. 107p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- SPEHAR, C.R.E.; LARA CABEZAS, W.A.R. Introdução e seleção de espécies para a diversificação do sistema produtivo nos cerrados. In: ENCONTRO REGIONAL DE PLANTIO DIRETO NO CERRADO, 4., Uberlândia, 1999. **Plantio direto na integração lavoura-pecuária**. Uberlândia, 1999. p.179–188.
- STALEY, T.E.; BOYER, D.G. Short-term carbon, nitrogen and pH alterations in a hill-land Ultisol under maize silage relative to tillage method. **Soil & Tillage Research**, v.42, n.1/2, p.115-126, 1997.
- STOUT, W.L. Evaluating the “added nitrogen interaction” effect in forage grasses. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v.26, p.2829-2841, 1995.
- TEIXEIRA NETO, M.L. Efeito de espécies vegetais para cobertura, no sistema plantio direto na região dos cerrados, sobre as propriedades do solo. Goiânia, 2002. 151p. Tese (Mestrado)-Universidade Federal de Goiás.
- TERMAN, G.L. Volatilization losses of nitrogen from surface-applied fertilizers, as measured by crop respond. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.28, n.5, p.667-672, 1964.

- TESTA, V.M.; TEIXEIRA, L.A.J.; MIELNICZUK, J. Características química de um Podzólico Vermelho-escuro afetadas por sistemas de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.16, p.107-114, 1992.
- THOMAS, G.W. The relationship between organic matter content and exchangeable aluminum in acid soil. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.39, p.591, 1975.
- THOMAS, G.W.; WELLS, K.L.; MURDOCK, L. Fertilization and liming. In: **No-tillage crop production**. Lexington: University of Kentucky, 1980. p.39-50.
- THOMAS, G.W.; BLEVINS, R.L.; PHILLIPS, R.E.; MCMAHON, M.A. Effect of a killed sod mulch on nitrate movement and corn yield. **Agronomy Journal**, v.65, p.736-739, 1973.
- TIMMONS, D. R.; CRUSE, R. M. Effect of fertilization method and tillage on nitrogen-15 recovery by corn. **Agronomy Journal**, v.82, p.777-784, 1990.
- TIMMONS, D.R.; BAKER, J.L. Fertilizer management effect on recovery of labeled nitrogen by continuous no-till. **Agronomy Journal**, v.84, p.490-496, 1992.
- TRIVELIN, P.C.O.; SALATI, E.; MATSUI, E. **Preparo de amostras para análise de ^{15}N por espectrometria de massas**. Piracicaba: CENA/USP, 1973. 41p. (Boletim Técnico, 2).
- TRIVELIN, P.C.O.; CABEZAS, W.A.R.L.; VICTORIA, R.L.; REICHARDT, K. Avaliação de um modelo de parcela com fertilizante ^{15}N na determinação do aproveitamento do nitrogênio do fertilizante por cana-de-açúcar. **Scientia Agricola**, v.51, n.2, p.226-234, 1994.

- URQUIAGA, S.; VICTORIA, R.L.; BUITRÓN, F.; NEYRA, J.C. Perdas por volatilização de ^{15}N -Uréia e ^{15}N -sulfato de amônio num solo calcário da parte central da região costeira do Peru. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.24, p.607-613, 1989.
- VALE, F.R.; GUEDES, G.A.; GUILHERME, L.R.G.; FURTINU, A.E. **Fertilidade do solo**: dinâmica e disponibilidade de nutrientes de plantas. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. 171p.
- VASCONCELLOS, C.A.; VIANA, M.C.M.; FERREIRA, J.J. Acúmulo de matéria seca e de nutrientes em milho cultivado no período inverno-primavera. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, p.1835-1845, 1998.
- VICTORIA, 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. (Coord.) **Microbiologia do solo**. Campinas: SBCS, 1992. p.105-120.
- VILLAS BÔAS, R.L. Alternativas para aumento da recuperação do nitrogênio da uréia pelo milho (*Zea mays* L.) Piracicaba, 1990. 78p. Dissertação (Mestrado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo.
- VITTI, A.C. Utilização pela cana-de-açúcar (cana planta) do nitrogênio da uréia (^{15}N) e do mineralizado no solo em sistemas de manejo com e sem a queima. Piracicaba, 1998. 93p. Dissertação (Mestrado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo.
- VOSS, M. Biologia do solo: suas relações com a química e a física do solo. In: Informativo do contrato de cooperação técnica EMBRAPA-Pará/Fundação Abc. **Plantio Direto**, v.22, p.4-5, 1987.

YOKOYAMA, L.P.; KLUTHCOUSKI, J.; OLIVEIRA, I.P.de; DUTRA, L.G.; SILVA, J.G.da; GOMIDE, J.de C.; BUSO, L.H. **Sistema Barreirão**: análise de custo/benefício e necessidade de máquinas e implementos agrícolas. Goiânia: EMBRAPA, CNPAF, 1995. 31p. (Documentos, 56).

WATSON, C.J. The comparative effect of a mixed urea, ammonium nitrate , ammonium sulphate granular formulation on the efficiency of N recovery by perennial ryegrass. **Fertilizer Research**, v.14, p.193-204, 1987.

WESTERMAN, R.L.; KURTZ, L.T. Isotopic and non isotopic estimations of fertilizer nitrogen uptake by sudan grass in field experiments. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.38, p.107-109, 1974.