

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE NITROGÊNIO PARA
MILHO EM SUCESSÃO A GRAMÍNEAS E LEGUMINOSAS DE
COBERTURA**

Leonardo Mella de Godoi

**Orientador: Prof. Dr. Manoel Evaristo Ferreira
Co-orientadora: Prof^a. Dr^a. Mara Cristina Pessôa da Cruz**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo).

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL
Julho de 2010

Godoi, Leonardo Mella
G588a Avaliação da disponibilidade de nitrogênio para milho em
sucessão a gramíneas e leguminosas de cobertura / Leonardo Mella
de Godoi. -- Jaboticabal, 2010
vii, 56 f. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2010

Orientador: Manoel Evaristo Ferreira

Banca examinadora: André César Vitti, José Frederico Centurion

Bibliografia

1. N mineralizado-milho. 2. N potencialmente mineralizável-milho.
3. Extratores de N-milho. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.4:633.15

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Leonardo Mella de Godoi – Nascido em 31 de dezembro de 1980, na cidade de São Paulo – SP, graduou-se em Engenharia Agrônômica pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV) – Universidade Estadual Paulista – Campus de Jaboticabal – SP, em fevereiro de 2008. Durante o curso de graduação, de novembro de 2006 a outubro de 2007, foi bolsista da Fapesp no projeto “Níveis críticos de fósforo para o estabelecimento de capim-milênio em solos”, do qual resultou o trabalho de conclusão de curso. Em março de 2008, na mesma unidade universitária, iniciou o curso de Mestrado no Programa de Pós-graduação em Agronomia (Ciência do Solo), vindo a concluí-lo em junho de 2010.

Ao Prof. Manoel Evaristo Ferreira e
à Prof^a. Mara Cristina Pessôa da
Cruz, pela orientação, amizade e
acima de tudo pelo exemplo de vida
e dedicação.

DEDICO

Aos meus pais,
Benedito Marciano de Godoi e
Tânia Joséfina Mella de Godoi,
e à minha irmã Luciana Graziela
de Godoi,

por sempre estarem ao meu lado,
dando força, apoio, amor e a
convicção de ter um lar.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser meu guia e companheiro em momentos de escuridão, concedendo-me saúde e perseverança durante a minha caminhada.

À Selma Guimarães Figueiredo, pela amizade e auxílio nas análises de laboratório.

Ao meu grande amigo José Luiz Pita Jr., pela amizade cultivada desde o início da graduação e que perpetua até os dias de hoje, obrigado.

Aos amigos e exemplos, Carlos Alberto Kenji Taniguchi e Renato Yagi, pelo exemplo de dedicação e amizade.

À Milaine Trabuco pela concessão da área do experimento e pela amizade cultivada.

Ao Fernando Kuhnen, Thiago Sylvestre e Felipe Batistella Filho, pela força e amizade que aprendi a valorizar ao longo dos dias.

Ao Thiago Martins, Ana Flávia Gouveia, Juan Gabriel e Isabella Guidi, pelo companheirismo ao longo do curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de estudos.

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

.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	vi
SUMMARY	vii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
3. MATERIAL E MÉTODOS	14
3.1 Antecedentes	14
3.2 Avaliação da disponibilidade de nitrogênio	17
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
5. CONCLUSÕES	37
6. REFERÊNCIAS	38

AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE NITROGÊNIO PARA MILHO EM SUCESSÃO A GRAMÍNEAS E LEGUMINOSAS DE COBERTURA

RESUMO – Para conhecer o potencial de plantas de cobertura no fornecimento de nitrogênio para o milho, em sistema de plantio direto, foi avaliado o N potencialmente mineralizável (N_0) do solo por meio de ensaio de incubação aeróbia de longa duração e o N disponível por meio dos extratores químicos KCl a quente, Dakota do Sul modificado e tampão fosfato borato a pH 11,2. Foram utilizadas amostras de solo de experimento a campo, instalado em área de Latossolo Vermelho argiloso e conduzido em delineamento em blocos casualizados, com cinco tratamentos: testemunha com vegetação espontânea, sorgo, milheto, mucuna-preta e feijão-de-porco, e cinco repetições. A coleta de solo nas parcelas foi feita após a dessecação das plantas de cobertura e antes do cultivo de milho, nos anos agrícolas de 2007/2008 e 2008/2009. O solo coletado, representativo da profundidade de 0 a 10 cm, foi utilizado no ensaio de incubação aeróbia, em experimento em vasos, com milho, e para as análises químicas. A eficiência dos extratores foi avaliada por meio de testes de correlação, empregando como variáveis de referência o N_0 e o N mineralizado acumulado por 30 semanas, obtidos no ensaio de incubação aeróbia, e a produção de matéria seca e o N acumulado na parte aérea do milho, obtidos no experimento em vasos. As plantas de cobertura não diferem entre si quanto ao potencial de fornecimento de N para o milho. O método do KCl a quente é capaz de prever a mineralização de N, porém os métodos químicos avaliados para prever o N disponível não são eficientes.

Palavras-chave: N mineralizado, N potencialmente mineralizável, extratores de N, KCl a quente, dicromato ácido, tampão fosfato borato.

NITROGEN AVAILABILITY TO CORN AFTER GRASSES AND LEGUMES AS COVER CROPS

SUMMARY - Aiming to determine the potential of cover crops to supply nitrogen for corn in no-tillage system, it was evaluated the soil potentially mineralizable N (N_0) by long-term aerobic incubation and available N by chemical extractants (hot KCl, modified South Dakota and pH 11.2 phosphate-borate buffer). Soil samples were collected from a field experiment, installed in an Udox and carried out in a randomized block design with five treatments (control with spontaneous vegetation, *Sorghum bicolor*, *Pennisetum glaucum*, *Mucuna aterrima* and *Canavalia ensiformis*) and five replications. Plots soil sampling was made after the cover crops desiccation and before growing the corn in the agricultural seasons of 2007/2008 and 2008/2009. Soil samples collected from 0 to 10 cm depth were used for long-term aerobic incubation, pots experiment with corn, and for soil chemical analysis. Extractants efficiency was evaluated by correlation tests, using as reference the N_0 and the mineralized accumulated N over 30 weeks obtained from long-term aerobic incubation, dry matter production and N accumulated in maize shoots, obtained from pots experiment. Cover crops do not differ in their potential to supply nitrogen for corn. Hot KCl is able to predict the N mineralization but the chemical methods evaluated to predict the available nitrogen are not efficient.

Keywords: N mineralization, potentially mineralizable N, N extractants, hot KCl, dichromate acid, phosphate-borate buffer.

1 INTRODUÇÃO

O sistema de plantio direto (SPD) foi introduzido no Brasil para controle da erosão. À medida que ele foi sendo introduzido, o interesse pelas plantas de cobertura aumentou, uma vez que, associadas aos preparos conservacionistas, elas favorecem o controle da erosão e, ao mesmo tempo, podem resultar em melhoria de atributos físicos e químicos do solo, que refletem na produtividade. Uma função importante das plantas de cobertura é a reciclagem dos nutrientes, principalmente de nitrogênio.

Dentre as espécies empregadas como planta de cobertura, as leguminosas destacam-se por estabelecer associações simbióticas com bactérias fixadoras de N_2 e pela baixa relação C/N que, aliada à grande presença de compostos solúveis, favorece a rápida decomposição e a mineralização, com expressivo aporte de N ao sistema solo-planta (AITA et al., 2001). Por outro lado, o emprego de gramíneas pode amenizar a perda de N mediante reciclagem e imobilização em sua fitomassa, ao mesmo tempo em que sua baixa taxa de decomposição, determinada pela alta relação C/N, confere cobertura mais prolongada do solo (LARA CABEZAS et al., 2004).

Os resíduos culturais deixados na superfície do solo sofrem ação de microrganismos que, dependendo da qualidade desses resíduos e das condições ambientais, promovem elevadas taxas de mineralização do N-orgânico (SERRA, 2006). Para avaliar a mineralização do N-orgânico nativo e do adicionado ao solo, podem ser utilizados ensaios de incubação de solo, de longa ou de curta duração, em condições aeróbias ou anaeróbias. Contudo, o tempo e as condições requeridas para o desenvolvimento destes estudos inviabilizam seu uso no dia a dia. Assim, é desejável dispor de métodos químicos capazes de prever a disponibilidade de N pelos solos. Porém, para a validação de um método químico, é necessária a existência de correlação significativa entre o N extraído pelo método químico e o mineralizado determinado em ensaio de incubação de referência que reflita a capacidade de

mineralização de N do solo, e com o N acumulado em planta-teste (BUSHONG et al., 2008).

Com o presente trabalho, objetivou-se avaliar o N potencialmente mineralizável (N_0) por meio de ensaio de incubação aeróbia de longa duração e o N disponível (N_d) por meio de extratores químicos de solo, para milho cultivado em Latossolo, em sucessão a gramíneas e leguminosas de cobertura.

2 REVISÃO DE LITERATURA

O sistema de plantio direto tem-se destacado como uma das estratégias mais eficazes para melhorar a sustentabilidade da agricultura em regiões tropicais e subtropicais, contribuindo para minimizar perdas de solos e de nutrientes por erosão. Esse sistema de manejo do solo tem apresentado rápido crescimento em área cultivada no Brasil, ocupando cerca de 20 milhões de hectares (CAIRES et al., 2006), o que representou aproximadamente 50% da área cultivada para grãos no Brasil.

O sucesso do sistema de plantio direto depende da produção de fitomassa e da manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo. Com isso, pode-se elevar o teor de matéria orgânica do solo, que depende fundamentalmente da quantidade de matéria seca produzida pelos sistemas de culturas (GONÇALVES & CERETTA, 1999). A matéria orgânica do solo (MOS), que provém da adição da palha no sistema, atua no solo aumentando a capacidade de retenção de água, promovendo melhor estruturação dos solos e melhora das condições edáficas para os microrganismos e da fertilidade do solo (SANTOS & TOMM, 2003).

O tempo de permanência da cobertura morta na superfície do solo é determinado pela velocidade de decomposição dos resíduos vegetais, que está relacionada à forma de manejo, ao grau de trituração do resíduo, à temperatura, à umidade (BERTOL et al., 1998) e ao teor de lignina e à relação C/N dos resíduos (HEINRICHS et al., 2001). Quanto mais rápida for sua decomposição, maior será a velocidade de liberação dos nutrientes, diminuindo, entretanto, a proteção do solo. Por outro lado, quanto mais altos forem os conteúdos de lignina e a relação C/N nos resíduos, mais lenta será sua decomposição (FLOSS, 2000). KLIEMANN et al. (2006), em área de Latossolo Vermelho distrófico, cultivada em sistema de plantio direto, avaliaram a taxa de decomposição de sete resíduos de espécies de cobertura. A

fitomassa foi cortada, amostrada e acondicionada em saquinhos de náilon e, em seguida, foi colocada sobre o solo. Periodicamente, até os 150 dias após o corte, os saquinhos foram pesados para a avaliação das perdas de massa das palhadas e as taxas de decomposição. Em termos de perdas relativas de massa das palhadas, aos 150 dias, tomando como referência o tempo inicial, foi estabelecida a seguinte ordem decrescente: sorgo (80%) > estilosantes (72%) > guandu (65%) > capim-mombaça (64%) > milheto (58%) > braquiária em cultivo solteiro (56%) e consorciado com milho (48%).

As leguminosas destacam-se como plantas de cobertura ou adubos verdes pela redução da erosão do solo, conservação da água no solo e reciclagem de nutrientes. Porém, o grande benefício do cultivo de leguminosas no aumento do rendimento das culturas tem sido atribuído ao aumento da disponibilidade de N às culturas cultivadas em sucessão (RAO & MATHUVA, 2000; AITA et al., 2001), permitindo a redução dos custos com fertilizantes nitrogenados sintéticos (BOHLOOL et al., 1992) e dos impactos ambientais gerados pela produção industrial desses fertilizantes, o que envolve alto consumo de combustíveis fósseis, com grande emissão de gases para a atmosfera (AMADO et al., 2002; ZANATTA et al., 2007). Além disso, estima-se que a eficiência de utilização de nitrogênio (EUN) por cultura produtora de grãos é, em média, cerca de 33%. Sendo assim, um aumento da EUN contribui para a diminuição dos impactos ambientais, como da lixiviação do nitrato e da poluição atmosférica por óxido nitroso (CANTARELLA, 2007). A utilização de leguminosas em sistema de plantio direto também contribui para o aumento dos estoques de N total do solo (POUDEL et al., 2001; DIEKOW et al., 2005), como resultado da maior entrada de N pela formação de associações simbióticas entre leguminosas e bactérias fixadoras de N_2 (BAYER & MIELNICZUK, 1997; LOVATO et al., 2004). SAINJU et al. (2001) determinaram, após três anos, acúmulo de 430 kg ha^{-1} até 20 cm de profundidade no estoque de N total do solo com a utilização de ervilhaca, antecedendo tomate, em sistema de plantio direto. Na ausência de leguminosas, houve diminuição de 250 kg ha^{-1} de N.

Nas condições do cerrado, as gramíneas têm sido mais utilizadas como plantas de cobertura, graças à sua maior resistência às deficiências hídricas, maior produção de biomassa (LARA CABEZAS et al., 2004), menor custo das sementes e menor

decomposição, comparadas às leguminosas, mesmo sob elevadas temperaturas associadas à alta umidade no verão (SOUSA & LOBATO, 2004). Além disso, o uso de gramíneas traz a vantagem de maior rentabilidade pela implementação de cultura comercial na entressafra (VASCONCELOS et al., 2001).

No plantio direto, o não revolvimento do solo e o cultivo de plantas de cobertura promovem modificações na ciclagem dos nutrientes, sendo o N o mais afetado. A decomposição dos resíduos vegetais deixados na superfície do solo influencia na dinâmica do N no solo, principalmente nos processos de mineralização/imobilização (VASCONCELLOS et al., 2001; SILVA et al., 2006) e, conseqüentemente, no aproveitamento do N destes resíduos, do N fertilizante e do N orgânico nativo do solo pelo milho cultivado em sequência (FIGUEIREDO et al., 2005).

No solo, os processos de mineralização e de imobilização de N são simultâneos e opostos, e sua dinâmica e intensidade relativa dependem da quantidade de N, S e P mineral no solo. O balanço líquido entre a mineralização e a imobilização é controlado por diversos fatores: ambientais, como temperatura e umidade do solo; físicos do solo, como textura; químicos, como o pH; qualidade do resíduo que está sendo decomposto, determinada pelas relações C/N, C/P e C/S, e pelo teor de frações facilmente decomponíveis e recalcitrantes; o tipo de decompositores presentes; a atividade e o tamanho da biomassa microbiana e a disponibilidade de N inorgânico (MARY et al., 1996; MOREIRA & SIQUEIRA, 2006). Segundo HEINZMANN (1985), para resíduos com relação C/N < 25, o intervalo entre o corte da planta de cobertura de inverno e o plantio da cultura de verão deve ser o menor possível. O autor obteve mineralização de N relativamente rápida nos resíduos com relação C/N < 25 mesmo sem incorporação ao solo, concluindo que, neste caso, a perda por lixiviação, após a mineralização, pode ser considerável, quando grandes quantidades de resíduos vegetais são deixadas sobre o solo. Segundo o autor, para as culturas não leguminosas utilizadas na rotação de verão, os resíduos das plantas de cobertura de inverno devem apresentar relação C/N em torno de 23-24, com a finalidade de obter mineralização de N em sincronismo com a cultura em sucessão.

AMBROSANO et al. (2003) avaliaram a mineralização do ¹⁵N derivado de resíduos de mucuna-preta, crotalária e feijão, incorporados em um Latossolo Vermelho

eutroférico e em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico, em casa de vegetação. Após 49 dias de incubação, os autores observaram que os resíduos da parte aérea de mucuna-preta resultaram em maior produção de N inorgânico em relação aos outros resíduos, e que o de feijão, embora planta leguminosa, apresentava relação C/N relativamente mais larga, resultando em imobilização do N inorgânico.

HEINZMANN (1985), em um Latossolo, no norte do Paraná, acompanhou a dinâmica do N, em nove épocas, após o manejo de adubos verdes de inverno (aveia-preta, nabo-forrageiro, ervilhaca-peluda, tremoço e trigo) e avaliou a influência destas plantas nas culturas de verão (feijão, soja e milho). O autor observou que, no momento do manejo, havia teores menores de nitrato no solo nas parcelas com aveia-preta (cerca de 30 kg ha^{-1}) e maiores no pousio (48 kg ha^{-1}). Posteriormente, 20 dias após o corte, os teores de NO_3^- aumentaram sensivelmente, atingindo valores de 60; 90 e 110 kg ha^{-1} de N nas parcelas com aveia-preta, tremoço e nabo forrageiro, respectivamente. Aos 54 dias, os maiores teores de NO_3^- (75 kg ha^{-1}) foram determinados nas parcelas com nabo forrageiro, e nas com aveia-preta ocorreram outros dois picos mais tardios, aos 120 e 160 dias após o corte. Com base nesses resultados, foi concluído que a liberação de N, a partir de leguminosas, ocorre nas primeiras semanas após o corte e, na gramínea, a lenta decomposição pode permitir sincronismo entre decomposição dos resíduos, liberação de N e demanda do milho na fase de florescimento e enchimento de grãos.

Para o melhor proveito dos benefícios propiciados pela utilização de plantas de cobertura, é necessário identificar espécies mais adaptáveis à região, à quantidade de N adicionado ao sistema e à capacidade de substituição da adubação nitrogenada (CERETTA et al., 1994). DE-POLLI & CHADA (1989) verificaram que a adubação verde com mucuna-preta, consorciada com feijão-de-porco, na cultura do milho em solo com baixo potencial de produtividade, proporcionou produção de grãos 21% maior do que no tratamento que recebeu N mineral e 211% maior que no tratamento-testemunha, com pousio anterior e sem adubação nitrogenada de cobertura. Neste contexto, esses autores estabeleceram a hipótese de que o cultivo de adubos verdes na entressafra pode reduzir as quantidades de adubos nitrogenados na cultura do milho em sucessão.

AITA et al. (2001) avaliaram o desempenho de plantas de cobertura de solo cultivadas no inverno, bem como sua capacidade em fornecer nitrogênio para o milho em plantio direto, em quatro anos agrícolas. Os autores observaram que, na ausência de adubação nitrogenada, o rendimento médio de grãos de milho em sucessão às leguminosas foi superior em 89 e 43% nos tratamentos com aveia-preta e pousio invernal, respectivamente. Com aplicação de 160 kg ha^{-1} de N, o rendimento de grãos foi semelhante quando as espécies de cobertura eram ervilhaca comum, ervilha forrageira, chícharo e tremoço-azul. A demanda de N foi parcialmente atendida quando o milho foi cultivado após o chícharo e a ervilha forrageira, e totalmente, quando a cultura foi estabelecida após tremoço-azul e ervilhaca comum.

Durante a mineralização do N-orgânico do solo, as diferentes formas de N são transformadas, a velocidades variáveis, em N-inorgânico, podendo algumas, principalmente de natureza não proteica, ser acumuladas em função do seu elevado grau de recalcitrância e resistência ao ataque microbiano (JANSSEN, 1996). O N das frações mais lábeis é liberado nos períodos iniciais do processo de mineralização, e sua estimativa de mineralização pode ser utilizada para ajustar as recomendações de adubação nitrogenada (MENGEL, 1996). Do ponto de vista prático, tem-se observado que o potencial de mineralização e a respectiva taxa de mineralização podem ser utilizados na predição da disponibilidade de N às plantas em determinado período de tempo.

Para avaliar a mineralização do N-orgânico nativo e do adicionado ao solo, podem ser utilizados ensaios biológicos como uma medida de referência. Os métodos biológicos procuram simular o mecanismo pelo qual o N orgânico do solo é disponibilizado para as plantas. Normalmente, envolvem a medida do desenvolvimento microbiano, produção de pigmento após incubação com um meio nutritivo sem N e uma cultura microbiana, estimativa do N mineral formado por incubação sob condições ótimas de mineralização, ou estimativas de CO_2 produzido por incubação do solo sem adição de N prontamente disponível (BREMNER, 1965). Dentre estes métodos, os que consideram quantidades de N mineral formado durante a incubação do solo tanto sob condições aeróbias quanto anaeróbias, são considerados os mais satisfatórios para a avaliação da capacidade dos solos em disponibilizar N (REICHMANN SOBRINHO,

1989). A mineralização do nitrogênio, quantificada por ensaios de incubação aeróbia e anaeróbia, refere-se às quantidades líquidas, pois não são contabilizados o consumo e as perdas de nitrogênio por processos de desnitrificação, volatilização, imobilização, etc. (WANG et al., 2001).

Os ensaios de incubação de solo de curta duração para N são mais simples, mais rápidos e de custos de operação menores, podendo ser utilizados também para determinar a fração de mineralização líquida de N de solos que receberam materiais orgânicos na forma de lodo (BOEIRA & MAXIMILIANO, 2004). De acordo com GONÇALVES et al. (2001), de posse dos valores de N potencialmente mineralizável (N_0), da constante de mineralização (k) e das informações das exigências nutricionais de determinada cultura, pode-se estimar o estoque de N para as plantas e prever a resposta à adubação nitrogenada.

Nos ensaios de incubação de solo de longa duração para N, misturas de solo e areia lavada acondicionadas em tubos percoladores, são mantidas sob condições aeróbias, à temperatura de 35°C. São feitas extrações e determinações do N mineralizado em avaliações ao longo do tempo (2; 4; 8; 12; 16; 22 e 30 semanas do início da incubação), obtendo-se a quantidade de N potencialmente mineralizável (N_0), a partir do ajuste das quantidades de N mineralizado acumulado em 30 semanas ao modelo exponencial simples (STANFORD & SMITH, 1972). O modelo pressupõe que a taxa de mineralização do N orgânico seja proporcional ao substrato mineralizável do solo e que tal fenômeno seja explicado pela equação: $N_{mac} = N_0(1 - e^{-kt})$, em que N_{mac} = N mineralizado acumulado; N_0 = N potencialmente mineralizável; k = constante da taxa de mineralização, e t = tempo. Os valores de N_0 dos solos têm sido utilizados como padrão de referência em trabalhos de seleção de métodos químicos para a estimativa do N orgânico mineralizável do solo (GIANELLO & BREMNER, 1986; CURTIN & WEN, 1999).

Em ensaio de incubação aeróbia de longa duração para N, VASCONCELLOS et al. (2001) avaliaram o efeito de resíduos de duas variedades de sorgo incorporadas ao solo, complementadas ou não com N mineral. Os autores obtiveram diferenças ($P < 0,01$) entre as variedades de sorgo na mineralização do N orgânico, sendo que a maior parte da quantidade de N mineralizada foi observada nos primeiros 15 dias da

incubação. Em comparação com o tratamento que não recebeu o resíduo vegetal, e independentemente da aplicação ou não de N mineral, os tratamentos que receberam os resíduos de sorgo apresentaram a menor quantidade de N_0 , o que foi justificado pela menor quantidade de $N-NO_3^-$ neste tratamento, que teria sido imobilizado pela biomassa microbiana.

YAGI et al. (2009) avaliaram a mineralização potencial e líquida de N em 22 solos, submetidos à incubação em condições aeróbias a 35°C, e relacionaram-nas com a disponibilidade de N para o milho cultivado em casa de vegetação. Os autores observaram que, na incubação por 30 semanas, houve aumento do N mineralizado até a segunda semana, seguido de diminuição e estabilização a partir da quarta semana. As quantidades de N_0 correlacionaram significativamente com o N disponível medido pelas plantas (concentração de N e N acumulado na parte aérea). O N mineralizado acumulado (N_{mac}) apresentou maior correlação com o N disponível medido pelas plantas do que com o N_0 , e valores altos de correlação foram obtidos após duas semanas de incubação, indicando que o período de incubação pode ser encurtado.

De maneira geral, os resultados obtidos nos experimentos de incubação apresentam alta correlação com a quantidade de nitrogênio absorvida pela planta; contudo, o tempo e as condições requeridas para o desenvolvimento destes estudos de incubação inviabilizam seu uso no dia a dia. Além disso, os ensaios de incubação são afetados pelos procedimentos utilizados na obtenção das amostras, preparo e armazenamento das amostras de solo (GIANELLO & BREMNER, 1986), dificultando a comparação entre os valores de N mineralizado relatados na literatura (REICHMANN SOBRINHO, 1989). Assim, têm sido estudados métodos químicos para extração de nitrogênio que apresentem boa correlação com a quantidade que é obtida no método da incubação e que, por este motivo, deve apresentar boa correlação com o nitrogênio absorvido pela planta (STANFORD, 1982).

Os métodos químicos para avaliação de N disponível para as plantas vêm sendo pesquisados há mais de 50 anos por diversos autores (HARMSSEN & VAN SCHREVEN, 1955; GIANELLO & BREMNER, 1986; OLIVEIRA, 1989; YAGI, 2008). Em sua maior parte, os métodos são avaliados por meio de análises de regressão entre o N extraído pelo método químico e o N acumulado por planta teste em experimentos a campo ou

casa de vegetação, ou com os resultados obtidos por métodos biológicos conduzidos em laboratório, e nessas condições há grande quantidade de resultados satisfatórios (GIANELLO et al., 2000; CORDOVIL et al., 2007; YAGI, 2008). A principal objeção em relação aos métodos químicos propostos era que eles são empíricos e não levam em consideração o fato de o ciclo mineralização-imobilização no solo ser controlado pelo suprimento de material energético para os processos microbianos (BREMNER, 1965), o que, mais recentemente, passou a ser observado (OLIVEIRA, 1989; SERRA, 2006; MENEGHIN et al., 2009).

Nos métodos químicos, são empregadas soluções de ácidos, bases ou sais diluídos (OLIVEIRA, 1989), com alta, média ou baixa intensidade de extração de N (GIANELLO et al., 2000). O desenvolvimento de um método químico para extração de N, que simule a ação dos microrganismos na liberação das formas de N disponíveis no solo para a planta, é muito complicado (REICHMANN SOBRINHO, 1989). Apesar disto, diversos extratores têm sido sugeridos, nos quais elevadas proporções do N extraído podem ser derivadas das frações mais lábeis da MO que será mineralizada durante o ciclo de desenvolvimento das plantas (STANFORD, 1982).

OIEN & SELMER-OLSEN (1980) propuseram, para a determinação do Nd do solo, a utilização de solução extratora de KCl 2 mol L⁻¹ com aquecimento a 80°C por 20 h. Os autores determinaram correlação de 0,96** entre o N extraído pelo método químico e o mineralizado em ensaio de incubação aeróbia a 30°C por 2 semanas, em 43 solos da Noruega. Posteriormente, SELMER-OLSEN et al. (1981), ao utilizarem solução extratora de KCl 2 mol L⁻¹ com aquecimento a 80°C por 20 h, em 36 amostras de solo da Noruega, obtiveram correlação de 0,84** entre o N extraído pelo método e o N absorvido por plantas de aveia.

GIANELLO & BREMNER (1986) citaram que, embora o método proposto por OIEN & SELMER-OLSEN (1980) tenha apresentado elevada correlação com os valores de N mineralizado por incubação aeróbia, ele não é adaptado para uso em laboratório de rotina, pois envolve um período de aquecimento longo (20 horas) e uma etapa de filtração. Por isso, GIANELLO & BREMNER (1986) propuseram, em substituição ao método descrito por OIEN & SELMER-OLSEN (1980), a extração do Nd com solução de KCl 2 mol L⁻¹ a 100°C por 4h, em tubos de digestão fechados, e a quantificação do

Nd por destilação direta da mistura solo+KCl, com o objetivo de agilizar o procedimento analítico. Os autores verificaram elevadas correlações entre o Nd e o N mineralizado por incubação aeróbia ($r = 0,92^{**}$) e anaeróbia ($r = 0,95^{**}$).

CORDOVIL et al. (2007), em um Neossolo Quartzarênico tratado com resíduos orgânicos (resíduo sólido urbano, derivado de lama de celulose, esterco de galinha, fração sólida de dejetos de suíno e composto de estrume de suínos), avaliaram 12 extratores químicos de Nd e verificaram que o KCl 2 mol L⁻¹ a 100°C, por 4h, foi o mais eficiente em prever o Nd, apresentando maior correlação com N mineralizado por incubação aeróbia ($r = 0,86^{**}$). Resultados semelhantes já haviam sido observados por OLIVEIRA (1989), JALIL et al. (1996) e GIANELLO et al. (2000). Contudo, na literatura, há relatos divergentes quanto à eficiência do método que emprega KCl 2 mol L⁻¹ a 100°C, não tendo havido, em outros casos, correlação entre o método químico e o N mineralizado em ensaio de incubação. GONZALEZ-PRIETO et al. (1994) não observaram correlação significativa entre as quantidades de N extraído por KCl a 100°C, por 4h, e o N mineralizado em ensaio de incubação anaeróbia, em 33 solos do nordeste da Espanha. CURTIN & WEN (1999), ao avaliarem a eficiência do método do KCl 2 mol L⁻¹ a 100°C, por 4h, em 62 solos do Canadá, não observaram correlação ($r = 0,13$) com o N₀ obtido por meio de incubação aeróbia.

Tracey (1952), citado por OLIVEIRA (1989), baseando-se em observações de Morgan (1936), segundo o qual os açúcares aminados (glucosamina e galactosamina) liberam N na forma de NH₃ em solução alcalina, quando aquecida a 100°C, propôs o método de extração de nitrogênio orgânico com solução de Na₃PO₄/bórax a pH 11,2. Segundo GIANELLO & BREMNER (1986) vários métodos de avaliação de N orgânico potencialmente disponível do solo, por meio de reagentes alcalinos, têm sido propostos, mas a maior parte dos pesquisadores não tem chegado a resultados satisfatórios com estes métodos. Os autores concluíram que isto é, em parte, devido à falta de controle do pH nas análises. Baseados nesta observação, propuseram a determinação do N-amoniaco por destilação a vapor com solução tampão fosfato borato a pH 11,2, diretamente na amostra de solo por 8 minutos, e os resultados obtidos em estudo, utilizando 33 solos do Brasil, foram altamente correlacionados com aqueles obtidos por métodos de incubação aeróbia ($r = 0,90^{**}$) e anaeróbia ($r = 0,96^{**}$). Os autores

concluíram que é um método adequado para uso em laboratórios de análises de solos, pois não apresenta etapas de extração morosas, filtração ou de transferência, e apresenta baixo coeficiente de variação (0,9 a 2,7%).

OLIVEIRA (1989) avaliou a disponibilidade de nitrogênio para o milho, por meio de extratores químicos, e classificou o método do tampão fosfato borato a pH 11,2 como um dos mais promissores ao obter correlação significativa entre o N disponível e o N mineralizado em ensaio de incubação aeróbia ($r = 0,936^{**}$) e o N-absorvido pelo trigo ($r = 0,792$). SERRA (2006), ao avaliar o Nd para o milho em Latossolo Vermelho-Amarelo por meio de extratores químicos, concluiu que a utilização da solução extratora tampão fosfato borato a pH 11,2 e com a determinação do NO_3^- nativo do solo é o método mais viável para análise de rotina, por ser rápido, simples e econômico, após obter correlação significativa entre o método e a produtividade do milho ($r = 0,775^*$).

STANFORD (1982) propôs o emprego de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7/\text{H}_2\text{SO}_4$, utilizado para a determinação da matéria orgânica, como extrator químico para estimar o N potencialmente mineralizável, e obteve correlação de $r < 0,74^{**}$ com o N mineralizado em ensaio biológico. O autor classificou os resultados como insatisfatórios. Na literatura, há diversos relatos da não efetividade do método em estimar o Nd (OLIVEIRA, 1989; SERNA & POMARES, 1993; GIANELLO et al., 2000). SAHRAWAT (1982a) modificou o método de Walkley & Black para a determinação conjunta dos teores de matéria orgânica e de N-NH_4^+ , observando alta correlação ($r = 0,98^{**}$) entre o N-NH_4^+ com o nitrogênio mineralizado em ensaio de incubação. Ainda, SAHRAWAT (1982b) obteve correlação ($r = 0,74^{**}$) entre os teores de N-NH_4^+ e o nitrogênio absorvido por plantas de arroz inundado. OLIVEIRA (1989), ao avaliar a disponibilidade de N em solo, não verificou correlação satisfatória ($r < 0,32$) entre o Nd obtido com a solução extratora de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7/\text{H}_2\text{SO}_4$ e os teores de nitrogênio mineralizado em ensaios de incubação aeróbia de solo, por 42 dias.

NÔMMIK (1976) empregou solução de $\text{Na}_2\text{CrO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ em H_3PO_4 como extrator de N-orgânico e obteve correlação ($r = 0,877$) com o N mineralizável em ensaio de incubação aeróbia, por 20 semanas, a 20°C . No Estado de São Paulo, na determinação da matéria orgânica, é usado método colorimétrico em que, na oxidação do carbono orgânico, é empregada solução de $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}/\text{H}_2\text{SO}_4$ (Dakota do Sul modificado).

YAGI (2008) usou alíquota do extrato empregado para a quantificação da MOS para, por meio de destilação a vapor, avaliar a quantidade de N potencialmente mineralizável. Posteriormente, o autor correlacionou os dados obtidos com os de ensaios de incubação, obtendo correlação de 0,93** entre o N extraído pelo método químico e o N_0 calculado a partir do N mineralizado em ensaio de incubação aeróbia, por 210 dias. O autor concluiu que o aproveitamento do extrato oriundo do procedimento Dakota do Sul modificado consiste em método rápido, simples, eficiente e preciso para estimar a quantidade de N potencialmente mineralizável e disponível do solo, com a vantagem de aproveitar o mesmo extrato utilizado na determinação da matéria orgânica.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Antecedentes

Para o presente estudo, foram utilizadas amostras de solo coletadas em experimento conduzido por TRABUCO (2008), no município de Arealva (SP). O experimento foi conduzido em Latossolo Vermelho textura argilosa, em que foram avaliados os efeitos de plantas de cobertura, cultivadas no inverno, na fertilidade do solo e na produtividade do milho cultivado em sucessão às plantas de cobertura. A área do experimento estava sendo cultivada em sistema de plantio direto, há 6 anos, sendo utilizada rotação soja-milho no verão e sorgo no inverno. A cultura comercial antecessora ao início do experimento foi a soja. As precipitações pluviárias do período de abril a setembro de 2007 e de abril a setembro de 2008, estão na Figura 1.

O delineamento do experimento foi em blocos casualizados, com cinco repetições, tendo como tratamentos quatro plantas de cobertura e um tratamento com vegetação espontânea. As plantas de cobertura foram o sorgo (*Sorghum bicolor*), o milheto (*Pennisetum glaucum*), o feijão-de-porco (*Canavalia ensiformes*) e a mucuna-preta (*Mucuna aterrina*). Na análise granulométrica, o solo apresentou 430 g kg⁻¹ de argila, 190 g kg⁻¹ de silte, 270 g kg⁻¹ de areia fina e 110 g kg⁻¹ de areia grossa na camada de 0-20 cm. Os atributos químicos do solo, no início do experimento, eram: P resina, 74 mg dm⁻³; MOS, 28 g dm⁻³; pH em CaCl₂, 5,7; K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, H+Al, SB e CTC, em mmol_c dm⁻³, 11,0; 65; 18; 25; 94 e 119, respectivamente; e V, 79%. A análise granulométrica foi realizada conforme descrito em CAMARGO et al. (1986), e a química, segundo RAIJ et al. (2001).

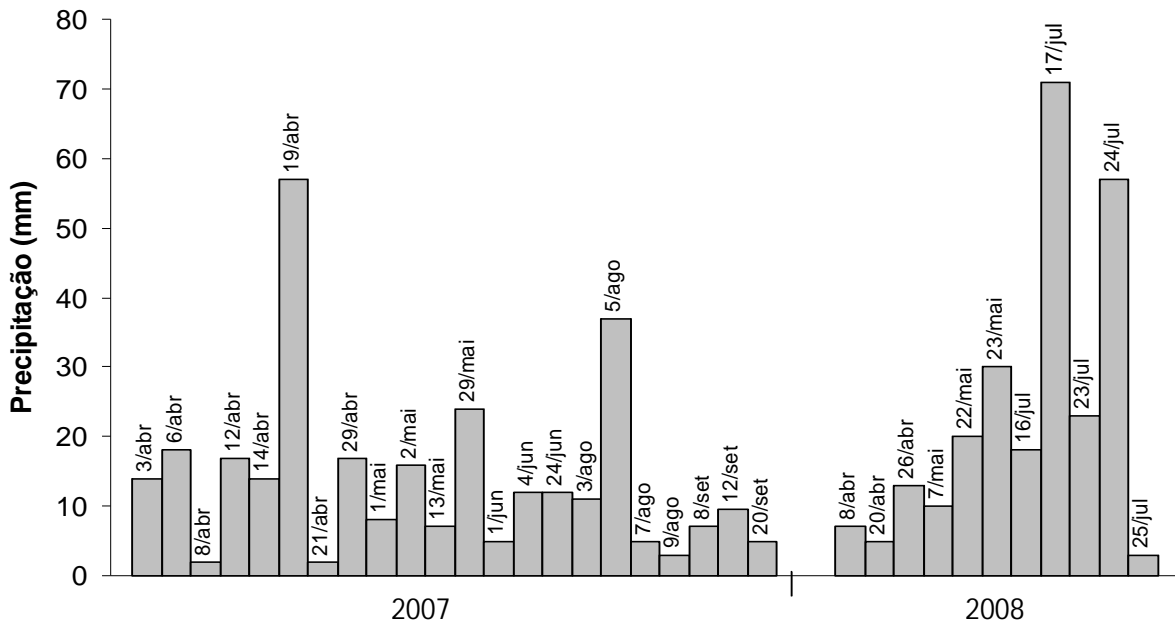


Figura 1. Precipitação pluvial no local do experimento no período compreendido entre a semeadura e a dessecação das plantas de cobertura.

As parcelas tinham área total de 120 m² (12 x 10 m), e a semeadura das plantas de cobertura foi feita nos dias 14 e 15 de abril de 2007 e 18 e 19 de abril de 2008. O espaçamento adotado nas entrelinhas foi de 0,5 m, tanto para leguminosas quanto para gramíneas. O número de sementes (nove, oito e dez para mucuna-preta, feijão-de-porco e sorgo, respectivamente) e a densidade de semeadura (17,2 kg ha⁻¹ para milho) foram definidos conforme a recomendação de BURLE et al. (2006). Tanto em 2007 quanto em 2008, a dessecação do milho, feijão-de-porco e mucuna-preta foi feita no pleno florescimento, e a do sorgo, após a colheita dos grãos. Como na cultura do sorgo foi avaliada a produção de grãos como cultura comercial, foram aplicados 30 kg ha⁻¹ de N em cobertura, na forma de ureia, em superfície, em ambos os anos de plantio. Em 2007, a dessecação do milho, feijão-de-porco e mucuna-preta foi realizada, respectivamente, nos dias 30 de junho e 04 e 27 de agosto; do sorgo, no dia 03 de setembro, e da vegetação espontânea em 25 de junho. No ano de 2008, foi realizada a dessecação da vegetação espontânea e do milho, no dia 21 de junho; do feijão-de-porco, no dia 2 de agosto, e da mucuna-preta e do sorgo, no dia 12 de agosto. As plantas de cobertura foram dessecadas com glifosato (ia), sendo aplicados 4.802 g ha⁻¹ nas parcelas de milho, feijão-de-porco e vegetação espontânea, e 2.398

g ha⁻¹ nas parcelas de mucuna-preta e sorgo. A aplicação foi realizada com pulverizador costal. Tanto em 2007 quanto em 2008, para a determinação da matéria seca e do teor de N nas plantas de cobertura, foram coletadas plantas de 1 metro de linha na cultura do milho, do feijão-de-porco e do sorgo, e o material vegetal contido em 0,5 m² (0,5 x 1,0 m) para a mucuna-preta, centralizando na linha da cultura o menor lado do retângulo. Para a avaliação da vegetação espontânea, foram feitas cinco amostragens por parcela, empregando retângulo de 0,5 m² (0,5 x 1,0 m). Foi feita a identificação das espécies de plantas e a contagem por espécie. A partir deste levantamento, foi feita a coleta do número de plantas de cada espécie dentro de cada parcela, ao acaso. As plantas coletadas por parcela variaram em espécie e número, mas, de maneira geral, as espécies predominantes no 1º e 2º anos foram: leiteiro (*Euphorbia heterophylla* L.), caruru (*Amaranthus* spp.), soja (*Glycine max*), losna-branca (*Parthenium hysterophorus* L.), picão-preto (*Bidens pilosa* L.), maria-pretinha (*Solanum americanum* Mill.), beldroega (*Portulaca oleracea* L.) e quebra-pedra (*Phyllanthus tenellus* Roxb.). Todos os materiais coletados (parte aérea) foram colocados em sacos de plástico e levados ao Laboratório de Fertilidade do Solo, no mesmo dia da coleta. Em seguida, as plantas coletadas foram lavadas com água corrente, em solução de detergente neutro (1 mL L⁻¹) e em três porções, sucessivas, de água deionizada. Em seguida, o material foi colocado para secar em estufa com circulação forçada de ar acerca de 65°C, até massa constante, para a obtenção da matéria seca produzida. O material vegetal seco foi moído em moinho tipo Wiley e analisado quanto a N-total, conforme TEDESCO et al. (1985).

Para a avaliação do N disponível no solo, foram usadas amostras coletadas nos dias 16; 17 e 20 de novembro de 2007 (primeira amostragem), e 13 e 14 de novembro de 2008 (segunda amostragem). Na primeira amostragem, foram coletadas 20 amostras simples por parcela, nas camadas de 0 a 5 e 5 a 10 cm de profundidade, para a formação de uma amostra composta com aproximadamente 1,5 dm³ de solo por profundidade. Posteriormente, as amostras compostas, das camadas de 0 a 5 cm e 5 a 10 cm, foram juntadas em partes iguais e homogeneizadas, formando uma amostra de 0 a 10 cm de profundidade, com aproximadamente 3 dm³ de solo por parcela. Na segunda amostragem, foram coletadas 20 amostras simples por parcela, na camada de

0 a 10 cm de profundidade, para a formação de uma amostra composta com aproximadamente 3 dm³ de solo. As amostras simples foram coletadas nas entrelinhas, em caminhamento em zigue-zague, dentro da área útil das parcelas.

Tanto na primeira amostragem, quanto na segunda, as amostras foram espalhadas sobre pedaços de plástico, secas, destorroadas, passadas por peneira de 4 mm de abertura de malha e homogeneizadas.

3.2 Avaliação da disponibilidade de nitrogênio

Para o estudo pretendido, foram usados procedimentos de laboratório, com determinação do N-total e do N disponível por métodos químicos, complementados por ensaio de incubação de longa duração em condições controladas e experimento em casa de vegetação.

Métodos químicos

Foram determinados o N-total, segundo TEDESCO et al. (1985), e o N disponível (Nd), segundo GIANELLO & BREMNER (1986), GIANELLO & BREMNER (1988) e YAGI (2008).

O método para determinação de N-total, segundo TEDESCO et al. (1985), consistiu de: aproximadamente 1 g de solo foi triturado em almofariz e, em seguida, foi passado em peneira de 0,30 mm de abertura de malha. Posteriormente, 0,5 g de solo foi pesado e transferido para tubo de digestão, no qual, posteriormente, foram adicionados 1 ml de H₂O₂ 300 mL L⁻¹ e 7 ml da mistura digestora contendo H₂SO₄ concentrado p.a., água deionizada, CuSO₄.5H₂O, SeO₂ e Na₂SO₄. Após repouso por uma noite, os tubos de digestão com as amostras foram colocados em bloco digestor. A digestão foi iniciada, elevando-se a temperatura do bloco a 100°C, por 30 minutos, aumentando-se em 50°C a cada trinta minutos até atingir 330°C. Com o clareamento da amostra, manteve-se a temperatura de 330°C por mais 2 horas. Após este período de aquecimento, o suporte com os tubos foi colocado sobre pedaço de madeira, no qual permaneceu até esfriar. O material contido nos tubos de digestão foi transferido

quantitativamente para tubos de destilação, com auxílio de 20 ml de água deionizada, os quais foram, posteriormente, acoplados em destilador de N. Em seguida, adicionaram-se 15 ml de NaOH 18 mol L⁻¹ e iniciou-se a destilação de modo a coletar, em 4 a 5 minutos, cerca de 40 ml de destilado em erlenmeyer com capacidade de 125 ml, contendo 10 ml de solução de H₃BO₃ 20 g L⁻¹ com indicadores (verde de bromocresol e vermelho de metila). A quantificação do N da amostra foi feita por titulação com solução de H₂SO₄ 0,005 mol L⁻¹ padronizada.

O método para determinar o Nd de GIANELLO & BREMNER (1986), usado para determinação de N-NH₄⁺, utilizando o extrator KCl 2 mol L⁻¹, consistiu em: 2,5 cm³ de solo foram transferidos para tubos de digestão, adicionando-se em seguida 20 mL de solução de KCl 2 mol L⁻¹. Os tubos de digestão foram tampados com rolhas de borracha (nº 4) fixadas aos tubos com fita adesiva e aquecidos em bloco digestor à temperatura de 100°C, por 4h. Após este período de aquecimento, no bloco digestor, os tubos de digestão foram resfriados à temperatura ambiente. Em seguida, foram adicionados 20 ml de H₂O destilada nos tubos de digestão, que foram agitados, e, em seguida, a suspensão foi transferida para tubos de destilação. O tubo de destilação foi acoplado ao destilador Kjeldahl, sendo adicionado 0,2 g de MgO, para a conversão do N-NH₄⁺ a N-NH₃. Na saída do condensador do destilador, foi acoplado um erlenmeyer com capacidade para 125 mL, contendo 10 mL de solução de H₃BO₃ 20 g L⁻¹ e mistura de indicadores (verde de bromocresol e vermelho de metila). Procedeu-se à destilação por 4 a 5 minutos, obtendo-se cerca de 40 mL de destilado. Em seguida, por meio de titulação com solução de H₂SO₄ 0,005 mol L⁻¹, foi obtida a quantidade de N-NH₄⁺ na amostra. Conforme preconiza o método, o N-NH₄⁺ “nativo” foi determinado em outra amostra, sem aquecimento prévio em bloco digestor, diretamente em tubo de digestão, contendo suspensão de solo + KCl, em destilador de Kjeldahl, por 4 a 5 minutos, obtendo-se cerca de 40 mL de destilado. Em seguida, por meio de titulação com solução de H₂SO₄ 0,005 mol L⁻¹, foi obtida a quantidade de N-NH₄⁺ na amostra. O índice de disponibilidade de N representado pelo N-NH₄⁺ extraível com KCl 2 mol L⁻¹ foi calculado por meio da diferença entre os resultados obtidos com e sem aquecimento prévio da amostra de solo a 100°C.

O método para a determinação do Nd de GIANELLO & BREMNER (1988), para a determinação de N-NH_4^+ utilizando como extrator o tampão fosfato-borato a pH 11,2 (N-TFB pH 11,2), consistiu em: 2,5 cm^3 de solo foram transferidos para tubos de destilação, adicionando-se em seguida 40 mL de solução de tampão fosfato-borato a pH 11,2 e 3 gotas de óleo mineral Nujol[®]. Na saída do condensador do destilador, foi acoplado erlenmeyer com capacidade para 125 mL, contendo 10 mL de solução de H_3BO_3 20 g L^{-1} e mistura de indicadores (verde de bromocresol e vermelho de metila). Procedeu-se à destilação por 8 minutos, obtendo-se cerca de 60 mL do destilado. O N-NH_4^+ obtido foi quantificado por meio de titulação com H_2SO_4 0,005 mol L^{-1} . A quantidade de N-NH_4^+ liberado do N orgânico da amostra com o tampão fosfato-borato a pH 11,2 foi corrigida por meio da diferença entre os resultados obtidos com este procedimento, e os teores de N-NH_4^+ nativo, obtido pelo método de N-KCl.

O método para a determinação do Nd, proposto por YAGI (2008), determina o N-NH_4^+ utilizando como extrator o $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{SO}_4$, a partir da adaptação do método descrito em QUAGGIO & RAIJ (1979) para a determinação dos teores de matéria orgânica do solo, e consistiu em: 1 cm^3 de solo foi transferido para erlenmeyer com capacidade para 250 mL, adicionando-se, em seguida, 10 mL de solução de $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0,667 mol L^{-1} em H_2SO_4 5 mol L^{-1} . Em agitador mecânico, a suspensão foi agitada por 10 minutos acerca de 180 rpm, seguindo-se repouso por uma hora. Após o repouso, adicionaram-se 50 mL de água deionizada, agitou-se manualmente para uniformizar o meio e, em seguida, aguardou-se repouso por uma noite. No dia seguinte, 10 mL do sobrenadante foi transferido para tubo de destilação, adicionando-se 15 mL de solução de NaOH 18 mol L^{-1} para proceder à destilação, coletando-se o destilado em erlenmeyer com capacidade para 125 mL, contendo 10 mL de solução de H_3BO_3 20 g L^{-1} e mistura de indicadores (verde de bromocresol e vermelho de metila). Foram coletados cerca de 40 mL de destilado, em aproximadamente 5 minutos, e o N-NH_4^+ foi determinado por titulação com solução de H_2SO_4 0,005 mol L^{-1} .

Métodos biológicos

Foi feita a determinação do N potencialmente mineralizável (N_0) por meio de ensaio de incubação aeróbia de longa duração, empregando procedimento adaptado de STANFORD & SMITH (1972) e experimento em casa de vegetação, utilizando o milho como planta-teste.

O ensaio de incubação aeróbia, para a determinação do N_0 , consistiu em: em tubos percoladores ou colunas cromatográficas (18 cm de comprimento x 2 cm de diâmetro, com placa perfurada), foi colocada camada de 30 mm de lã de vidro, em seguida, adicionada mistura de solo + areia (15 g + 15 g) e, por último, camada de 10 mm de lã de vidro. O nitrogênio mineral do solo de cada tubo foi removido por meio de percolação de 100 mL de solução de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ $0,01 \text{ mol L}^{-1}$, em sistema de vácuo, em que foram usados bomba de vácuo e kitassato com capacidade para 500 mL. Para a percolação da solução salina, foram adicionadas alíquotas de 10 mL da solução, aplicado vácuo e adicionadas novas alíquotas de 10 mL da solução até completar o total de 100 mL. No extrato obtido, foi feita a quantificação do nitrogênio mineral, considerando desprezível a quantidade de nitrito (N-NO_2^-) e, desta forma, contabilizaram-se apenas os teores de amônio (N-NH_4^+) e nitrato (N-NO_3^-). Para a determinação do N mineral foi feita destilação dos extratos em destilador de Kjeldahl, conforme o método descrito em CANTARELLA & TRIVELIN (2001). Em seguida a percolação da solução salina, os tubos com a mistura de solo + areia acoplados a outros kitassatos receberam 30 mL de solução nutritiva sem N [$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ $0,002 \text{ mol L}^{-1}$; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ $0,002 \text{ mol L}^{-1}$; $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ $0,005 \text{ mol L}^{-1}$ e K_2SO_4 $0,0025 \text{ mol L}^{-1}$]. Para o ajuste da umidade nesses tubos, com auxílio de bomba a vácuo, foi feita sucção com pressão equivalente a 10 cm de Hg, conforme adaptação de YAGI (2008) para evitar perda de argila e compactação da mistura de solo+areia. Em seguida, os tubos contendo a mistura de solo+areia foram transferidos para câmara tipo BOD com temperatura de 27°C (temperatura média observada no local do experimento) e colocados para incubar. Com intervalos de 2; 4; 6; 8; 12; 16; 22 e 30 semanas do início de incubação, foram realizadas percolações, com solução de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ $0,01 \text{ mol L}^{-1}$, conforme já descrito, obtendo extratos. Nos extratos, foram determinados N-NH_4^+ e N-

$-\text{NO}_3^-$, conforme já citado. Depois da percolação de CaCl_2 através dos tubos, sistematicamente, foi adicionada solução nutritiva e ajustada a umidade em cada tubo, continuando a incubação. Com as quantidades de nitrogênio inorgânico acumulado em 30 semanas de incubação do solo, foi obtido o nitrogênio potencialmente mineralizável (N_0), por meio da equação $N_t = N_0 (1 - e^{-kt})$, em que: N_t = nitrogênio mineralizado acumulado no tempo t ; N_0 = nitrogênio potencialmente mineralizável; k = taxa de mineralização.

O experimento em casa de vegetação, para a determinação do N_0 , foi feito na FCAV, UNESP de Jaboticabal (SP), no período de agosto a setembro de 2009, utilizando amostras de solo oriundas do experimento de TRABUCO (2008), descrito em 3.1. Empregou-se o delineamento de blocos ao acaso, em parcelas subdivididas, considerando parcelas os tratamentos (plantas de cobertura utilizadas) e subparcelas os anos de coleta dos solos (2007 e 2008).

Não houve a necessidade de fazer calagem e adubação na instalação do experimento, pois o solo apresentava boa fertilidade. Porções de $2,3 \text{ dm}^3$ de solo foram transferidas para vasos com capacidade de $2,5 \text{ dm}^3$, umedecidas com água desionizada a 60% da capacidade de retenção e, em seguida, foi feita a semeadura de 10 sementes de milho por vaso. Após 7 dias da semeadura, foi feito desbaste, deixando-se 5 plantas por vaso, e procedeu-se à condução do experimento por 32 dias. O tempo de condução do experimento foi determinado pelo aparecimento de sintomas de deficiência de N.

Apesar de o solo apresentar teor muito alto de P ($P_{\text{resina}} = 74 \text{ mg dm}^{-3}$), durante a condução do experimento, as plantas de milho mostraram sintomas de deficiência de P. Assim, aos 9; 15 e 22 dias após o desbaste, foi feita adubação fosfatada por meio de solução contendo 30 mg L^{-1} de P usando $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ como fonte. A umidade do solo foi mantida em torno de 60% da capacidade de retenção de água, durante toda a condução do experimento. Ao final do período de condução do experimento, as plantas foram cortadas a 1 cm da superfície do solo, lavadas com água corrente, em solução aquosa de detergente neutro (1 mL L^{-1}), e em três porções, sucessivas, de água deionizada. Em seguida, o material foi colocado para secar em estufa com circulação forçada de ar, acerca de 65°C , até massa constante, para a

obtenção da produção de matéria seca. O material vegetal seco foi moído em moinho tipo Wiley e analisado quanto a N-total, conforme TEDESCO et al. (1985).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, pelo Teste F, comparando-se os efeitos dos tratamentos por meio de teste de Tukey, a 5%. Foram calculadas correlações lineares entre os métodos químicos e biológicos, as quais foram testadas a 5 e 1%, a fim de avaliar o potencial dos extratores químicos em predizer o N disponível.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O N acumulado (N_{acum}) nas plantas de cobertura variou entre as espécies e, para uma mesma espécie, de um ano de avaliação para o outro (Tabela 1). A vegetação espontânea apresentou a menor média de N acumulado (31 kg ha^{-1} de N), e o feijão-de-porco, a maior (116 kg ha^{-1} de N), semelhante à das gramíneas. Apesar de o N acumulado no sorgo não diferir das quantidades acumuladas nas leguminosas, estas últimas têm a vantagem de adicionar N ao sistema (AMADO et al., 2002) e, por apresentarem sistema radicular profundo e ramificado, proporcionar maior capacidade de reciclar nutrientes (ALCÂNTARA et al., 2000). PADOVAN et al. (2000) estimaram que aproximadamente 85% do N da fitomassa da leguminosa mucuna-preta provêm da fixação biológica do N. Em geral, o destino da fitomassa das plantas de cobertura é o solo; sendo assim, fica evidente a capacidade de plantas leguminosas em adicionar N ao sistema.

Em todos os tratamentos, houve maior acúmulo de N no ano de 2007 em relação a 2008. Isto se deve ao maior retorno de N ao sistema pela cultura antecessora às plantas de cobertura que, em 2007, foi a soja e, em 2008, o milho. POWER et al. (1986) avaliaram o aproveitamento do N dos resíduos de soja e milho marcados com ^{15}N pelo milho cultivado em sucessão e verificaram que praticamente todo N-orgânico contido no resíduo da soja foi utilizado pelo cultivo subsequente, mas não houve aproveitamento do N-orgânico proveniente do resíduo de milho pela mesma cultura produzida em sucessão. AMADO et al. (1999) avaliaram o efeito imediato e residual do N proveniente da ervilhaca utilizada como planta de cobertura antecedendo o milho e concluíram que, no primeiro ano, houve incremento de 45,6% no rendimento do milho, enquanto no segundo, de 19%. Assim, a cultura imediatamente posterior à leguminosa terá maior aproveitamento do N residual.

Tabela 1. Nitrogênio acumulado nas plantas de cobertura, e produção de matéria seca e acúmulo de nitrogênio no milho que cresceu em casa de vegetação, em função das plantas de cobertura e ano de avaliação.

Tratamento	Ano	N _{acum} Pl.Cb. ¹		MS Milho ²		N _{acum} Milho ³	
		----- kg ha ⁻¹ -----		----- g/vaso -----		----- mg/vaso -----	
Testemunha	2007	33 a ⁴	C	22,42 a	A	105,34 a	A
	2008	29 b		17,14 b		93,06 b	
Sorgo	2007	105 a	AB	23,60 a	A	112,76 a	A
	2008	90 b		20,20 b		112,15 b	
Mucuna-preta	2007	97 a	B	21,96 a	A	108,71 a	A
	2008	76 b		19,52 b		105,84 b	
Milheto	2007	110 a	AB	24,58 a	A	110,73 a	A
	2008	83 b		18,40 b		98,06 b	
Feijão-de-porco	2007	120 a	A	23,76 a	A	113,79 a	A
	2008	111 b		19,00 b		101,54 b	
Teste F							
Tratamentos - T (Pl.Cb.)		41,44 **		0,87 ^{ns}		0,53 ^{ns}	
Anos - A		11,59 **		22,73 **		35,46 **	
Interação T x A		0,78 ^{ns}		0,56 ^{ns}		1,73 ^{ns}	
Blocos		1,31 ^{ns}		1,91 ^{ns}		3,15 *	
C.V ⁵ parcelas		18,51		14,15		3,77	
C.V Subparcelas		18,51		14,90		3,39	

¹ Nitrogênio acumulado nas plantas de cobertura; ² Matéria seca do milho; ³ Acúmulo de nitrogênio no milho; ⁴ Letras maiúsculas iguais indicam ausência de efeito significativo entre tratamentos (plantas de cobertura) e minúsculas iguais ausência de efeito entre os anos de avaliação; ⁵ Coeficiente de variação. ^{ns}, * e ** - Não significativo e significativo a 5 e a 1%, respectivamente.

No experimento conduzido em casa de vegetação, a produção de matéria seca (MS) e o N_{acum} pelo milho não variaram em função das plantas de cobertura (Tabela 1), o que está relacionado com a ausência do efeito das plantas de cobertura no N mineralizado, que será discutido posteriormente. A produção média de matéria seca e o acúmulo médio de nitrogênio no milho, em 2007, foram de 23,264 g/vaso e 110,26 mg/vaso de N, respectivamente, e, em 2008, de 18,85 g/vaso e 102,13 mg/vaso de N. Houve diferença significativa para MS e N_{acum} entre os anos, sendo no ano de 2007 obtidos maiores produção de MS e acúmulo de N pelo milho em relação a 2008. CARVALHO & PIZA (2007), em experimento de campo, avaliaram o efeito de plantas de cobertura (aveia-branca, aveia-preta, nabo-forrageiro e braquiária) na produtividade do milho no 2º ano de plantio direto e verificaram que não houve diferença na produtividade do milho em função das plantas de cobertura, num curto espaço de tempo. Contudo, DE-

POLLI & CHADA (1989), ao estudarem a adubação verde, por 4 anos, incorporada ou em cobertura, na produção de milho em solo de baixo potencial de produtividade, verificaram que ela proporcionou rendimento de grãos maior do que a aplicação de N mineral, e foi até 4 vezes superior à do tratamento-controle, estabelecendo-se a hipótese de que o uso combinado de uma fonte inorgânica de N, com adubos verdes, poderia aumentar a eficiência de utilização de N do fertilizante pelo milho cultivado em sistema de plantio direto ao longo do tempo.

As plantas de cobertura não tiveram efeito no teor de N-total do solo (Tabela 2), independentemente das plantas de cobertura utilizadas e do ano de avaliação. A média do N-total no solo, nos 2 anos de avaliação, foi de 2,09 g dm⁻³. O N proveniente das plantas de cobertura, principalmente das leguminosas, é mineralizado, em sua maior parte, nos primeiros 40 dias (AMADO et al., 2002; TORRES et al., 2005). Sendo assim, este N estará sujeito a perdas do sistema por lixiviação, denitrificação, volatilização da NH₃, erosão e remoção pela colheita (BERTOL et al., 2005), diminuindo o potencial de aumento do N-total do solo pelo uso de plantas de cobertura em curto espaço de tempo. Contudo, BAYER et al. (2003), ao estudarem o efeito de plantas de cobertura por 23 anos, obtiveram aumento de 22% no estoque de N-total no solo com feijão-de-porco, indicando que, em longo prazo, o uso de plantas de cobertura, principalmente leguminosas, é eficiente no aumento do estoque de N-total no solo.

Dentre os métodos químicos de determinação do nitrogênio disponível (Nd), o tampão fosfato borato a pH 11,2, proposto por GIANELLO & BREMNER (1988), apresentou a menor capacidade de extração de N, com percentual médio de 1,1% do N-total do solo (Tabela 2). O método do KCl a quente, proposto por GIANELLO & BREMNER (1986), apresentou percentual médio de extração de 2,3% do N-total do solo, e o Dakota do Sul modificado (DKSM), proposto por YAGI (2008), extraiu, em média, 26% do N-total do solo (Tabela 2). As quantidades extraídas de N com o método do tampão fosfato-borato a pH 11,2 são menores do que as relatadas na literatura, e também contrariam a informação de que este método extrai quantidades maiores de N em relação ao método do KCl a quente (GIANELLO & BREMNER, 1988; GIANELLO et al., 2000; SERRA, 2006). YAGI (2008) também observou maior poder de extração de Nd pelo método da DKSM, estimado em aproximadamente 30% do N-total do solo, o

que está relacionado ao uso de solução sulfocrômica, oxidante de C orgânico, que resulta em capacidade de extração média.

Tabela 2. Nitrogênio total no solo e nitrogênio disponível (Nd) pelos métodos do KCl, Dakota do Sul modificado (DKSM) e tampão fosfato borato (TFB) em função das plantas de cobertura e ano de avaliação.

Tratamento	Ano	N-total	Nd						
			KCl		DKSM		TFB ¹		
----- mg dm ⁻³ -----									
Testemunha	2007	2065,4 a ²		42,40 a		476,5 a		22,06 a	
	2008	2063,9 a	A	54,45 b	A	518,4 a	B	23,86 a	A
Sorgo	2007	2160,1 a	A	46,72 a	A	517,5 a	AB	25,17 a	A
	2008	2128,3 a		52,37 b		535,7 a		23,98 a	
Mucuna-preta	2007	2103,3 a	A	46,69 a	A	515,8 a	AB	23,52 a	A
	2008	2128,3 a		55,37 b		552,2 a		21,20 a	
Milheto	2007	2038,8 a	A	43,87 a	A	606,6 a	A	21,78 a	A
	2008	2063,9 a		48,72 b		536,6 a		22,03 a	
Feijão-de-porco	2007	2114,6 a	A	43,13 a	A	598,4 a	A	22,79 a	A
	2008	2022,3 a		52,22 b		563,6 a		23,10 a	
Teste F									
Tratamentos – T (Pl. Cb.)		1,41 ^{ns}		1,03 ^{ns}		6,37 ^{**}		2,20 ^{ns}	
Anos – A		0,19 ^{ns}		24,08 ^{**}		0,10 ^{ns}		0,08 ^{ns}	
Interação T x A		0,59 ^{ns}		0,62 ^{ns}		1,98 ^{ns}		1,08 ^{ns}	
Blocos		4,68 [*]		0,33 ^{ns}		1,70 ^{ns}		0,53 ^{ns}	
C.V ³ parcelas		5,10		11,58		7,90		9,39	
C.V Subparcelas		6,95		11,95		10,13		10,80	

¹ Tampão fosfato borato a pH 11,2; ² Letras maiúsculas iguais indicam ausência de efeito significativo entre tratamentos e minúsculas iguais ausência de efeito entre os anos de avaliação; ³ Coeficiente de variação. ^{ns}, * e ** - Não significativo e significativo a 5 e a 1%, respectivamente.

Com o método do KCl a quente, não foi detectada diferença de Nd no solo entre os tratamentos (plantas de cobertura), no mesmo ano, mas houve diferença entre os anos (Tabela 2). Com o método do KCl a quente, foram extraídos, em média, 44,56 mg dm⁻³ e 52,62 mg dm⁻³ de N em 2007 e 2008, respectivamente. Quando o N-NH₄⁺ nativo, obtido por extração com KCl sem aquecimento, não foi descontado dos valores da Tabela 2, obteve-se extração média de 59,32 mg dm⁻³ de N no ano de 2007 e de 67,19 mg dm⁻³ de N no ano de 2008, o que representa um acréscimo na extração de N de 33 e 27%, nos anos de 2007 e 2008, respectivamente.

Com o método da DKSM foi detectada diferença significativa para o Nd entre os tratamentos (Tabela 2), mas não houve diferença entre os anos de avaliação. A

quantidade de N extraída pelo método DKSM variou de 476,50 a 563,41 mg dm⁻³ de N. Os maiores teores foram obtidos nas parcelas com feijão-de-porco e milho, e o menor, nas parcelas com vegetação espontânea.

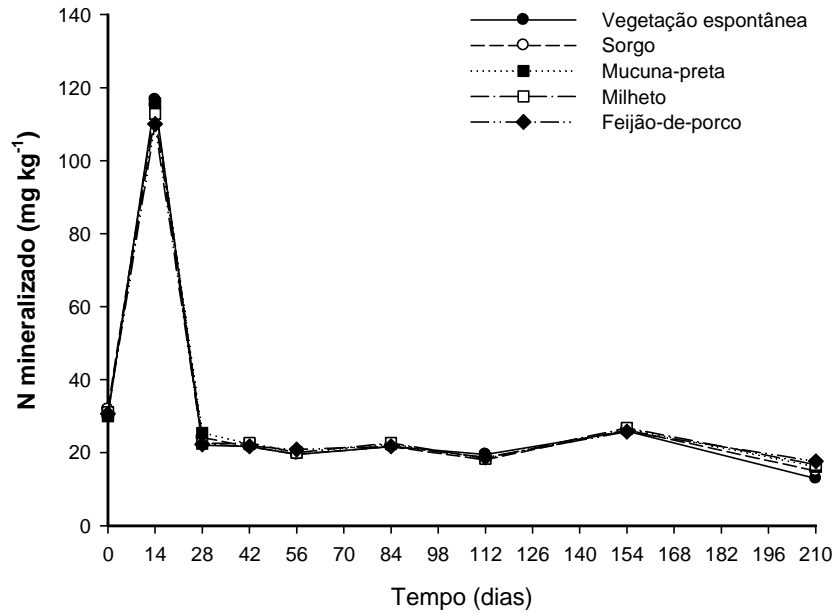
Com o método do tampão fosfato-borato a pH 11,2, não foi detectada diferença para o Nd entre os tratamentos (plantas de cobertura), nem entre os anos de avaliação (Tabela 2), e a quantidade extraída foi, em média, 22,95 mg dm⁻³ de N.

No experimento de incubação aeróbia de longa duração, foi observado aumento abrupto do N mineral nos primeiros 14 dias de incubação, com subsequente diminuição e estabilização das quantidades mineralizadas em todos os tratamentos e nos anos de 2007 e 2008 (Tabela 3, Figura 2A,B). As quantidades de nitrogênio mineralizadas, acumuladas por tratamento (N_{mac}) (Figura 3A,B), foram ajustadas ao modelo exponencial de primeira ordem ou de crescimento (STANFORD & SMITH, 1972), com valores de R² variando de 0,987** a 0,989** (Tabela 4).

Tabela 3. Nitrogênio mineralizado durante a incubação aeróbia, em função dos tempos de avaliação, das plantas de cobertura e ano de avaliação.

Tratamento	Tempo (semanas)									
	0	2	4	6	8	12	16	22	30	
----- mg kg ⁻¹ de N -----										
2007										
Testemunha	30,22	116,68	22,08	21,71	19,54	21,71	19,53	25,91	11,94	
Sorgo	31,85	115,15	24,13	21,63	19,58	21,63	18,03	26,24	12,95	
Mucuna-preta	29,98	115,72	25,41	22,39	20,00	22,39	18,50	26,56	13,12	
Milheto	31,12	112,81	22,48	22,67	20,00	22,67	18,36	26,77	12,71	
Feijão-de-porco	30,65	110,03	22,29	21,77	20,86	21,77	18,69	25,74	12,64	
2008										
Testemunha	30,91	111,38	23,62	21,87	31,56	21,80	18,95	27,34	20,13	
Sorgo	36,17	113,64	23,80	21,56	31,49	21,85	19,74	29,04	21,12	
Mucuna-preta	31,38	108,85	24,27	21,75	29,65	21,51	20,53	29,70	18,12	
Milheto	34,61	113,74	25,69	22,29	30,20	22,22	19,94	29,75	20,04	
Feijão-de-porco	36,12	114,98	24,51	21,97	32,15	21,85	19,46	27,65	18,83	

A



B

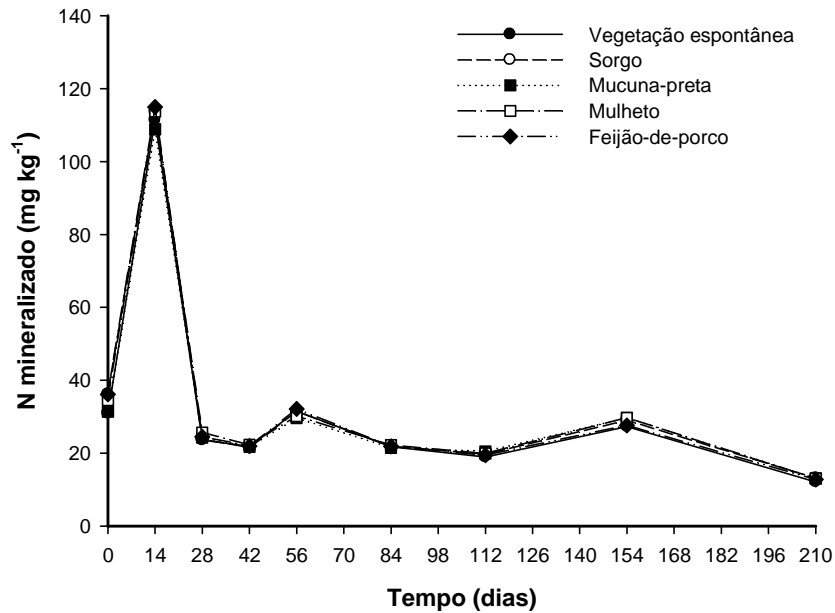
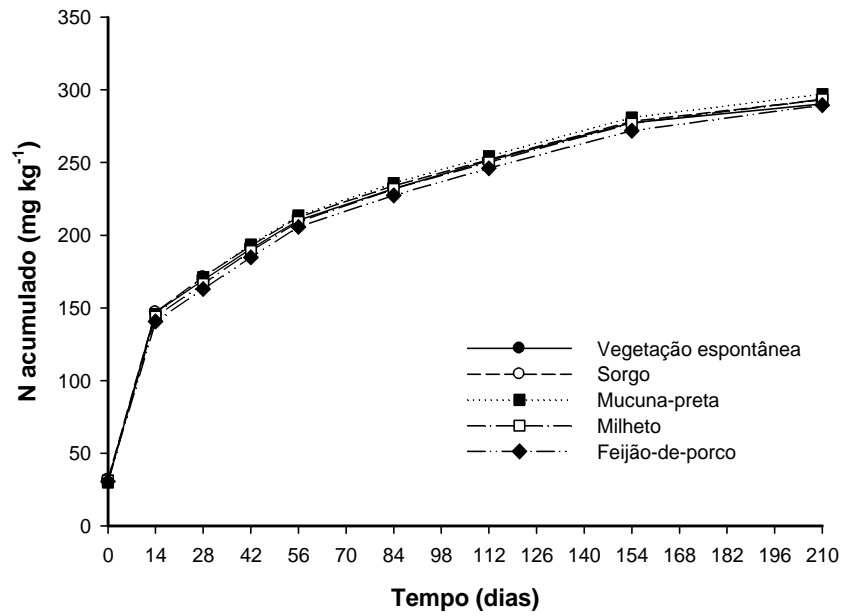


Figura 2. A – Quantidade de nitrogênio mineralizado (N_m) em função do tempo e das plantas de cobertura no 1º ano. B - Quantidade de nitrogênio mineralizado (N_m) em função do tempo e das plantas de cobertura no 2º ano.

A



B

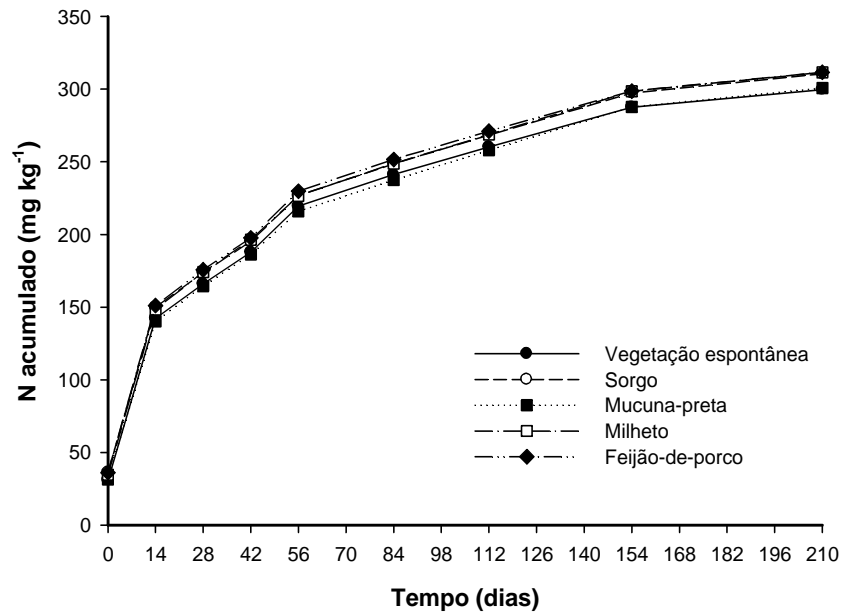


Figura 3. A – Quantidade de nitrogênio acumulado (N_{mac}) em função do tempo e das plantas de cobertura no 1º ano. B - Quantidade de nitrogênio acumulado (N_{mac}) em função do tempo e das plantas de cobertura no 2º ano.

Tabela 4. Nitrogênio mineralizado em função das plantas de cobertura e ano de avaliação pelo método biológico de incubação aeróbia.

Tratamento	Ano	R ² -MESC ¹	N _{mac} ²	N ₀ ³	T _{1/2} ⁴
			----- mg kg ⁻¹ -----	-----	Dias
Testemunha	2007	0,987 **	290,33	264,93	19
	2008	0,989 **	299,58	279,02	22
Sorgo	2007	0,987 **	293,19	266,09	19
	2008	0,987 **	310,41	287,41	22
Mucuna-preta	2007	0,987 **	297,07	264,46	20
	2008	0,987 **	300,76	279,18	23
Milheto	2007	0,988 **	293,58	265,63	20
	2008	0,988 **	311,48	288,62	22
Feijão-de-porco	2007	0,987 **	289,44	261,21	20
	2008	0,987 **	311,52	289,07	21

¹Modelo exponencial simples de crescimento; ²Nitrogênio mineralizado acumulado em 30 semanas de incubação aeróbia; ³Nitrogênio potencialmente mineralizável; ⁴T_{1/2} = ln 2/k, em que k = constante de mineralização (dia⁻¹) e representa o tempo necessário para que 50% do N potencialmente mineralizável seja mineralizado.

A partir dos resultados de N_m (Tabela 3), foram calculadas as taxas de mineralização do N em cada período de incubação, dividindo as quantidades de N_m pelo respectivo período de tempo (em semanas). As taxas médias de N_m, em ambos os anos avaliados, foram de 56,65; 12,19; 10,94; 15,50; 5,49; 4,79; 4,58 e 1,59 mg kg⁻¹ de N por período, respectivamente. YAGI et al. (2009), ao avaliarem a mineralização potencial e líquida de N em 22 solos, também observaram aumento abrupto do N_m nos períodos iniciais da incubação, com posterior estabilização. Essa maior quantidade de N_m no início da incubação é atribuída por MENGEL (1996) às frações orgânicas de fácil mineralização, resultantes da ciclagem microbiana, que é potencializada pela aeração promovida com o manuseio das amostras de solo que induz aumento da atividade microbiana (CAMARGO et al., 1997). Segundo YAGI et al. (2009), a temperatura e a umidade constantes durante a incubação aeróbia favorecem a liberação intensa e gradativa de N inorgânico das frações orgânicas mais lábeis, seguidas da mineralização constante das frações de maior recalcitrância.

O N mineralizado acumulado (N_{mac}) em 30 semanas, por meio do método da incubação aeróbia, não mostrou variação entre as plantas de cobertura (Tabela 4), porém, em 2008, foi obtida maior média da fração de N_{mac} (306,75 mg kg⁻¹ de N) em relação a 2007 (289,72 mg kg⁻¹ de N). A ausência de efeito das plantas de cobertura no

N_{mac} pode estar relacionada com o intervalo de tempo entre a dessecação e a amostragem de solo. No presente trabalho, a amostragem do solo, no 1º ano, foi realizada aos 114; 109; 105; 80 e 75 dias após a dessecação da vegetação espontânea, milho, feijão-de-porco, mucuna-preta e sorgo, respectivamente. No 2º ano, a amostragem foi feita aos 115 dias após a dessecação da vegetação espontânea e milho, aos 104 dias da dessecação do feijão-de-porco e aos 94 dias da dessecação da mucuna-preta e sorgo. Isto significa que, quando foram feitas as amostragens, a maior parte do N presente nos resíduos culturais já havia sido mineralizada, e este ficou exposto a perdas do sistema, conforme citado anteriormente. TORRES et al. (2005), ao avaliarem a decomposição e a liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura, observaram que todas as espécies avaliadas apresentaram a maior taxa de liberação de N até 42 dias após a dessecação, obtendo taxas de liberação de N de 67,5% no feijão-guandu, 64,2% no milho, 62,2% no sorgo, 44,6% na vegetação espontânea e 40,8% na braquiária. AITA et al. (2001) observaram que, nas leguminosas aveia-preta, ervilhaca-comum, ervilha-forrageira, tremoço-azul e chícharo, aproximadamente 60% do N foram liberados dos resíduos culturais nos primeiros 30 dias após o manejo das plantas.

As quantidades médias de N potencialmente mineralizável (N_0) obtidas foram de 264,42 e 284,62 mg kg⁻¹ de N, nos anos de 2007 e 2008, respectivamente (Tabela 4), correspondendo a 16,1 e 17,5% do N-total do solo. Tomando por base uma mineralização teórica de 2% ao ano, as quantidades de N_0 obtidas indicam uma superestimação do potencial de mineralização líquida de N nos solos. Esse fato pode ser atribuído à temperatura constante e ao aumento de aeração do sistema a partir da mistura do solo com areia. Além destes, outros aspectos, como a aplicação de solução nutritiva, a remoção de substâncias tóxicas inibidoras da mineralização, as mudanças no pH no decorrer da incubação e, principalmente, a menor imobilização do N devido à remoção de C do sistema, justificam as altas quantidades de N mineralizado com o método de incubação aeróbia do solo (WANG et al., 2003).

Os tempos médios, para que metade do N fosse mineralizado ($T_{1/2}$), foram de 20 e 22 dias no ano de 2007 e 2008 (Tabela 4), respectivamente. Assim, fica evidente que um manejo correto da cultura subsequente é necessário para o aproveitamento do

nitrogênio proveniente da mineralização do N de resíduos orgânicos. Segundo YAGI et al. (2009), pode-se especular que a cinética de mineralização de N em incubação aeróbia de amostras de solo, caracterizada por aumento abrupto e posterior estabilização do N mineralizado, assemelha-se, principalmente, ao que ocorre em sistemas convencionais de preparo do solo, nos quais há aumento da aeração devido ao revolvimento e à exposição dos agregados à oxidação da MOS após arações e gradagens.

As quantidades de N_0 e N_{mac} obtidas com o método de incubação aeróbia não se correlacionaram com a MS e com o N_{acum} pelo milho do experimento em casa de vegetação (Tabela 5). Este resultado opõe-se aos observados por CAMARGO et al. (1997), RHODEN et al. (2006) e YAGI et al. (2009), que determinaram estreitas correlações entre o N mineralizado em ensaio de incubação aeróbia, com a MS e o N_{acum} por milho, caracterizando, adequadamente, a absorção de N pelo milho em função do N mineralizado. A ausência de correlação deve-se ao não efeito das plantas de cobertura no N disponível.

Tabela 5. Coeficientes de correlação linear (r)¹ entre o Nd obtido por métodos químicos, biológico de incubação aeróbia, N-total no solo, e matéria seca e nitrogênio acumulado no milho.

Atributos	MS ²	KCl	DKSM	TFB	KCl ³	N-total	N_0 ⁴	N_{mac} ⁵
N_{acum} ⁶	0,83**	-0,50 ^{ns}	0,30 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	-0,45 ^{ns}	0,56 ^{ns}	-0,54 ^{ns}	-0,43 ^{ns}
MS	-	-0,55 ^{ns}	0,31 ^{ns}	-0,06 ^{ns}	-0,79 ^{ns}	0,20 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	-0,55 ^{ns}
KCl	-	-	-0,07 ^{ns}	0,08 ^{ns}	-0,99**	0,05 ^{ns}	0,76**	0,66*
DKSM	-	-	-	-0,25 ^{ns}	-0,07 ^{ns}	-0,18 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	0,09 ^{ns}
TFB	-	-	-	-	0,04 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,13 ^{ns}
KCl ³	-	-	-	-	-	-0,45 ^{ns}	0,78**	0,68**
N-total	-	-	-	-	-	-	0,40 ^{ns}	-0,24 ^{ns}
N_0	-	-	-	-	-	-	-	0,96**

¹ ^{ns}, * e ** Não significativo e significativo a 5 e a 1%, respectivamente; ² Matéria seca do milho; ³ Método do KCl a quente sem descontar o NH_4^+ nativo; ⁴ Nitrogênio potencialmente mineralizável; ⁵ Nitrogênio mineralizado acumulado em 30 semanas de incubação aeróbia; ⁶ Nitrogênio acumulado no milho;

No experimento de incubação aeróbia de longa duração, foi observado aumento abrupto do N mineral nos primeiros 14 dias de incubação (Figura 2A,B) com posterior

estabilização e a quantidade de N mineralizada indica uma superestimação do potencial de mineralização líquida de N no solo. Na tentativa de eliminar este efeito, desconsiderou-se o N mineralizado nas 2 primeiras avaliações, e o N mineralizado médio obtido foi de 153,45 e 154,81 mg kg⁻¹ de N nos anos de 2007 e de 2008, respectivamente. Ao correlacionar essas quantidades de N mineralizado com a MS e com o N_{acum} pelo milho do experimento em casa de vegetação, também não foram obtidas correlações (r = -0,57 e -0,50). Como as amostras usadas no ensaio de incubação e no experimento em casa de vegetação passaram, em intensidades diferentes, por manuseio, a eliminação do N mineralizado nos primeiros 14 dias no ensaio de mineralização pode significar a eliminação de parte do N disponível para a planta e isso justifica a ausência de correlação também neste caso.

No presente trabalho, a planta de milho cresceu, em casa de vegetação, por 32 dias e, ao correlacionar com os dados de N mineralizado em ensaio de incubação aeróbia por 28 dias (Tabela 3), não foi obtida correlação significativa (r = -0,53 e -0,39 nos anos de 2007 e 2008, respectivamente). No ensaio de incubação aeróbia, aos 28 dias, o N mineralizado acumulado médio foi de 168,12 e 170,74 mg kg⁻¹ de N nos anos de 2007 e de 2008, respectivamente. A planta de milho, do experimento em casa de vegetação, apresentou acúmulo médio de 110,26 e 102,13 mg de N por vaso nos anos de 2007 e 2008, respectivamente. Comparando-se os dados de N mineralizado acumulado por 28 dias e o N_{acum} pelo milho por 32 dias, tem-se uma superestimação do N mineralizado pelo método de incubação aeróbio, confirmando os dados discutidos anteriormente. OLIVEIRA (1989), ao correlacionar o N mineralizado em ensaio de incubação aeróbia, por 42 dias, com o N acumulado no trigo produzido em casa de vegetação, por 42 dias, obteve correlação de 0,72**, afirmando que o N_{mac} se correlaciona melhor com o N acumulado por planta--teste quando se utiliza o mesmo tempo de avaliação.

Não foram obtidas correlações significativas do N-total do solo com os teores de N mineralizado acumulado (N_{mac}) e N potencialmente mineralizável (N₀) (Tabela 5), o que está coerente com a ausência do efeito das plantas de cobertura no N disponível. Embora não tenham existido correlações entre o N-total do solo e os teores de N_{mac} e N₀, este tem explicado as quantidades de nitrogênio orgânico mineralizada nos ensaios

de incubação aeróbios e anaeróbios realizados por outros autores (OLIVEIRA, 1989; GIANELLO & BREMNER, 1986; RHODEN et al., 2006). WANG et al. (2001) observaram que o N-total do solo explicou 69% e 91% da mineralização de ^{15}N em ensaios de incubação aeróbia e anaeróbia.

Os teores de N-total no solo não se correlacionaram com a MS e o N_{acum} pelo milho do experimento em casa de vegetação (Tabela 5), o que está coerente com a falta de efeito das plantas de cobertura no N disponível. O N-total é considerado um índice de disponibilidade de N de extração intensa (GIANELLO et al., 2000), pois, em muitos casos, apresenta estreita correlação com o N mineralizado em ensaio de incubação e com N_{acum} por planta-teste (WANG et al., 2001; YAGI, 2008). Contudo, ao longo do tempo, tem sido demonstrado que não é um índice confiável de disponibilidade de nitrogênio para muitos solos (STANFORD, 1982; GIANELLO et al., 2000), o que é observado no presente trabalho. De acordo com WANG et al. (2001), o N-total representa um compartimento dezenas ou centenas de vezes maior que o compartimento do N prontamente disponível para as plantas. Segundo MAGDOFF (1991), mesmo existindo variáveis que se correlacionam com ele, somente o uso de N-total não é adequado para prever a disponibilidade de N para as plantas, pois o N-total é influenciado pelo tipo de solo, manejo, clima, etc.

O nitrogênio extraído com o método do KCl a quente correlacionou-se significativamente com o N_{mac} e N_0 obtidos com o método de incubação aeróbia (Tabela 4), confirmando a eficiência do método em estimar a mineralização e a disponibilidade de N para as plantas, o que foi observado anteriormente por outros autores (GIANELLO & BREMNER, 1986; CORDOVIL et al., 2007; MENEGHIN et al., 2009). Por outro lado, GONZALEZ-PRIETO et al. (1994) não observaram correlação significativa entre as quantidades de N extraído por KCl a 100°C , por 4h, e o N mineralizado em incubação anaeróbia, em 33 solos do nordeste da Espanha. Estes autores verificaram que o N orgânico extraído por este método químico não foi correlacionado com os fatores que controlam a mineralização biológica do N orgânico.

Foram obtidas correlações significativas (Tabela 5) entre os valores de Nd obtido com KCl a quente, sem descontar o N-NH_4^+ nativo do solo, com os valores de N_{mac} e de N_0 . Este foi o método que apresentou a melhor correlação com o N_{mac} e N_0 obtidos em

ensaio de incubação aeróbia. YAGI (2008) observou que a extração a frio de N-NH_4^+ representou cerca de 47% da extração a quente, em 22 solos, e concluiu que o método proporcionou a melhor estimativa para a disponibilidade de N, ao estudar a quantificação do Nd por meio de 15 métodos químicos. JALIL et al. (1996), ao avaliarem a eficiência do método de KCl a quente, em determinar o Nd, observaram que as quantidades de N-NH_4^+ nativo obtidas sem aquecimento representaram, em média, 53% da extração a quente, e, quando este não foi descontado dos resultados obtidos com a extração a quente, obtiveram maior correlação ($r = 0,78^{**}$ e $0,62^*$ sem descontar e descontando o NH_4^+ nativo, respectivamente) com N_0 obtido em ensaio de incubação aeróbia, concluindo que o método de KCl a quente, sem descontar os resultados de N-NH_4^+ nativo, é mais eficaz e preciso em estimar o Nd do solo. KHAN et al. (2001) relatam que, provavelmente, o N-NH_4^+ obtido pela destilação do solo+KCl, sem aquecimento, não se refere apenas ao N-NH_4^+ do solo, pois o próprio aquecimento da destilação pode resultar em hidrólise de compostos orgânicos do solo, superestimando o N-NH_4^+ nativo do solo.

Não foram obtidas correlações significativas entre o valor de Nd obtido pelo método químico DKSM com os valores de N_{mac} , N_0 e N-total no solo (Tabela 5). YAGI (2008) obteve correlação significativa entre o Nd extraído com o método DKSM e o N_m obtido em ensaio de incubação aeróbia, em 22 solos ($r = 0,93^{**}$), concluindo que o método permite a avaliação da MOS e do Nd do solo, de forma eficiente, simples, rápida e precisa. A não obtenção de correlações entre o Nd obtido pelo método do DKSM com o N_{mac} e o N_0 obtidos pelo método biológico, no presente estudo, deve-se ao não efeito das plantas de cobertura no Nd do solo.

Também não foram obtidas correlações significativas entre o valor de Nd obtido pelo método do tampão fosfato borato a pH 11,2 com as quantidades de N_{mac} , N_0 e N-total do solo (Tabela 5). Os resultados obtidos diferem de diversos trabalhos na literatura, nos quais o método do tampão fosfato borato foi classificado como um dos mais promissores em prever o Nd do solo (OLIVEIRA, 1989; JALIL et al., 1996; SERRA, 2006; MENEGHIN et al., 2009), pois, além de ser simples e rápido, fornece resultados reprodutíveis, porque apresenta baixo coeficiente de variação. Contudo, a não obtenção de correlações entre o método químico e os parâmetros do modelo

ajustado aos dados obtidos pelo método de incubação aeróbia, no presente estudo, deve-se ao não efeito das plantas de cobertura no Nd do solo. No presente estudo, o método do tampão fosfato borato a pH 11,2 apresentou baixa capacidade de extração de Nd do solo. Com isto, este método leva desvantagem para sua utilização em laboratório de análise de solo, pois pequenas diferenças de N extraído podem indicar uma grande diferença em quantidades de N disponível no campo. Sendo assim, pequenos erros no laboratório ocasionam grandes erros de interpretação das análises para a recomendação de fertilizantes (REICHMANN SOBRINHO, 1989).

As quantidades de Nd obtidas com os métodos químicos não se correlacionaram com a MS e o N_{acum} pelo milho do experimento em casa de vegetação (Tabela 5). A não obtenção de correlações significativas entre o Nd, determinado por métodos químicos (KCl a quente, DKSM e tampão fosfato borato a pH 11,2), e as variáveis (MS e N_{acum} pelo milho), obtidas no experimento de casa de vegetação (Tabela 5), indicam que nenhum método químico poderá ser validado no presente estudo, pois, conforme BUSHONG et al. (2008), a validação de um método químico depende de sua correlação significativa com o N_{mac} e o N_0 obtidos por método biológico de referência e com o N acumulado por planta-teste. Por outro lado, considerando-se o N_{acum} pela planta de milho como referencial real de Nd no solo, foram obtidos valores de 110,26 e 102,13 mg de N por vaso para os anos de 2007 e de 2008, respectivamente. Convertendo as quantidades médias de N extraído do solo pelo KCl de $mg\ dm^{-3}$ para mg por $2,3\ dm^3$ (volume de solo nos vasos), obtêm-se 102,49 e 121,06 mg por vaso nos anos de 2007 e de 2008, respectivamente, que, entre os métodos avaliados, são os que mais se aproximam do N_{acum} pelo milho.

5 CONCLUSÕES

- a) Não há efeito das plantas de cobertura no teor de N disponível do solo.
- b) O método químico KCl a quente é eficiente em prever a mineralização do nitrogênio.

6 REFERÊNCIAS

AITA, C.; BASSO, C.J.; CERETTA, C.A.; GONÇALVES, C.N.; DAROS, C.O. Plantas de cobertura de solo como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p.157-165, 2001.

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

AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; FERNANDES, S.B.V.; BAYER, C. Culturas de cobertura, acúmulo de nitrogênio total no solo e produtividade de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.679-686, 1999.

AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.241-248, 2002.

AMBROSANO, E.J.; TRIVELIN, P.C.O.; CANTARELLA, H.; AMBROSANO, G.M.V.; MURAOKA, T. Nitrogen mineralization in soils amended with sunnhemp, velvet bean and common bean residues. **Scientia Agricola**, v.60, p.133-137, 2003.

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

BAYER, C.; SPAGNOLLO, E.; WILDNER, L.P.; ERNANI, P.R.; ALBUQUERQUE, J.A. Incremento de carbono e nitrogênio num Latossolo pelo uso de plantas estivais para cobertura do solo. **Ciência Rural**, v.33, p.469-475, 2003.

BERTOL, I.; CIPRANDI, O.; KURTZ, C.; BAPTISTA, A.S. Persistência dos resíduos de aveia e milho sobre a superfície do solo em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.705-712, 1998.

BERTOL, O.J.; RIZZI, N.E.; FAVARETTO, N.; LAVORANTI, O.J. Perda de nitrogênio via superfície e subsuperfície em sistema de semeadura direta. **Revista Floresta**, v.35, p.429-443, 2005.

BOEIRA, R.C.; MAXIMILIANO, V.C.B. **Determinação da fração de mineralização de nitrogênio de lodos de esgoto: um método alternativo**. Jaguariúna, Embrapa Meio Ambiente, 2004. 3p. (Comunicado técnico, 13)

BOHLOOL, B.B.; LADHA, J.K.; GARRITY, D.P.; GEORGE, T. Biological nitrogen fixation for sustainable agriculture: A perspective. **Plant and Soil**, v.141, p.1-11, 1992.

BREMNER, J.M. Inorganic forms of nitrogen. In: BLACK, C.A. (Ed.) **Methods of soil analysis: part 2**. Madison: ASA, 1965. p.1179-1236.

BURLE, M.L.; CARVALHO, A.M.; AMABILE, R.F.; PEREIRA, J. Caracterização das espécies de adubo verde. In: CARVALHO, A.M.; AMABILE, R.F. (Eds.) **Cerrado: Adubação verde**. Planaltina – DF: Embrapa Cerrados, 2006. p.71-142.

BUSHONG, J.T.; ROBERTS, T.L.; ROSS, W.J.R.; NORMAN, R.J.; SLATON, N.A.; WILSON Jr., C.E. Evaluation of distillation and diffusion techniques for estimating hydrolyzable amino sugar-nitrogen as a means of predicting N mineralization. **Soil Science Society of America Journal**, v.72, p.992–999, 2008.

CAIRES, E. F.; CORRÊA, J. C. L.; CHURKA, S.; BARTH, G.; GARBUIO, F. G. Surface application of lime ameliorates subsoil acidity and improves root growth and yield of wheat in an acid soil under no-till system. **Scientia Agricola**, v.63, p.502-509, 2006.

CAMARGO, F.A.O.; GIANELLO, C.; VIDOR, C. Potencial de mineralização do nitrogênio em solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.575-579, 1997.

CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas**. Campinas: Instituto Agronômico, 1986. 94p. (Boletim Técnico, 106).

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

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O. Determinação de nitrogênio inorgânico em solo pelo método da destilação a vapor. In: RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Eds.) **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. p.270-276.

CERETTA, C.A.; AITA, C.; BRAIDA, J.A. Fornecimento de nitrogênio por leguminosas na primavera para o milho em sucessão nos sistemas de cultivo mínimo e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 18, p. 215-220, 1994.

CARVALHO, R.; PIZA, R.J. Produção de biomassa de plantas de cobertura e efeitos na cultura do milho sob sistema de plantio direto no município de Passos, MG. **Bioscience Journal**, v.33, p.76-80, 2007.

CORDOVIL, C.M.D.S.; COUTINHO, J.; GOSS, J.; CABRAL, F. Comparison of chemical methods of assessing potentially available organic nitrogen from organic residues

applied to a sandy soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.38, p.989-1006, 2007.

CURTIN, D.; WEN, G. Organic matter fractions contributing to soil nitrogen mineralization potential. **Soil Science Society of America Journal**, v.63, p.410-415, 1999.

DE-POLLI, H.; CHADA, S.S. Adubação verde incorporada ou em cobertura na produção de milho em solo de baixo potencial de produtividade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.13, p.287-293, 1989.

DIEKOW, J.; MIELNICZUK, J.; KNICKER, H.; BAYER, C.; DICK, D.P.; KNABNER, I.K. Carbon and nitrogen stocks in physical fractions of a subtropical Acrisol as influenced by long-term no-till cropping systems and N fertilization. **Plant and Soil**, v.268, p.319-328, 2005.

FIGUEIREDO, C.C.; RESCK, D.V.S.; GOMES, A.C.; URQUIAGA, S. Sistemas de manejo na absorção de nitrogênio pelo milho em um Latossolo Vermelho no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, p.279-287, 2005.

FLOSS, E. Benefícios da biomassa de aveia ao sistema de semeadura direta. **Revista Plantio Direto**, v.57, p.25-29, 2000.

GIANELLO, C.; BREMNER, J.M. Comparison of chemical methods of assessing potentially available organic nitrogen in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.17, p.215-236, 1986.

GIANELLO, C.; BREMNER, J.M. A rapid steam distillation method of assessing potentially available organic nitrogen in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.19, p.1551-1568, 1988.

GIANELLO, C.; CAMARGO, F.A.O.; REICHMANN, E.; TEDESCO, M.J. Avaliação da disponibilidade de nitrogênio do solo estimada por métodos químicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.93-101, 2000.

GONÇALVES, C.N.; CERETTA, C.A. Plantas de cobertura de solo antecedendo o milho e seu efeito sobre o carbono orgânico do solo, sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.307-313, 1999.

GONÇALVES, J.L.M.; MENDES, K.C.F.S.; SASAKI, C.M. Mineralização de nitrogênio em ecossistemas florestais naturais e implantados do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.601-616, 2001.

GONZALEZ-PRIETO, S.J.; VILLAR, M.C.; CARBALLAS, M.; CARBALLAS, T. Comparison between a chemical and biological method to determine the N mineralization potential of temperate-humid region soils. **Plant and Soil**, v.162, p.147-150, 1994.

HARMSSEN, G.W.; VAN SCHREVEN, D.A. Mineralization of organic nitrogen in soil. **Advances in Agronomy**, v.7, p.299-308, 1955.

HEINRICH, R.; AITA, C.; AMADO, T.J.C.; FANCELLI, A.L. Cultivo consorciado de aveia e ervilhaca: relação C/N da fitomassa e produtividade do milho em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p.331-340, 2001.

HEINZMANN, F.X. Resíduos culturais de inverno e assimilação de N pelas culturas de verão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.20, p.1021-1030, 1985.

JALIL, A.; CAMPBELL, C.A.; SCHOENAU, J.; HENRY, J.L.; JAME, Y.W.; LAFOND, G.P. Assessment of two chemical extraction methods as indices of available nitrogen. **Soil Science Society of America Journal**, v.60, p.1954-1960, 1996.

JANSSEN, B.H. Nitrogen mineralization in relation to C:N ratio and decomposability of organic materials. **Plant and Soil**, v.181, p.39-45, 1996.

KHAN, S.A.; MULVANEY, R.L.; HOEFT, R.G. A simple soil test of detecting sites that are nonresponsive to nitrogen fertilization. **Soil Science Society of America Journal**, v.65, p.1751-1760, 2001.

KLIEMANN, H.J.; BRAZ, A.J.P.B.; SILVEIRA, P.M. Taxa de decomposição de resíduos de espécies de cobertura em Latossolo Vermelho Distroférico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.36, p.21-28, 2006.

LARA CABEZAS, W.R.L.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; SANTANA, D.G. Influência da cultura antecessora e da adubação nitrogenada na produtividade de milho em sistema plantio direto e solo preparado. **Ciência Rural**, v.34, p.1005- 1013, 2004.

LOVATO, T.; MIELNICKZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. Adição de C e N e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistema de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.175-187, 2004.

MAGDOFF, F. Field nitrogen dynamics: implications for assessing N availability. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.22, p.1507-1517, 1991.

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

MENEGHIN, M.F.S; RAMOS, M.L.G.; OLIVEIRA, S.A.; RIBEIRO JUNIOR, W.Q.R.; AMABILE, R.F. Avaliação da disponibilidade de nitrogênio no solo para o trigo em Latossolo Vermelho do Distrito Federal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p. 1941-1948, 2009.

MENGEL, K. Turnover of organic nitrogen in soils and its availability to crops. **Plant and Soil**, v.181, p.83-93, 1996.

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

NÔMMIK, H. Predicting the nitrogen-supplying power of acid forest soils from data on release of CO₂ and NH₃ on partial oxidation. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.7, p.569-584, 1976.

OIEN, A.; SELMER-OLSEN, A.R. A laboratory method for evaluation of available nitrogen in soil. **Acta Agriculturae Scandinavica**, v.30, p.149-156, 1980.

OLIVEIRA, S.A. Avaliação da disponibilidade de nitrogênio no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.24, p.131-148, 1989.

PADOVAN, M.P.; BALIEIRO, F.C.; SISTI, C.P.J.; OKITO, A.; FRANCH, C.M.; ARAÚJO, E.S.; MARTINS, L.M.V.; PEOPLES, M.B.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M.; TEIXEIRA, F.C.P.; MILLER, K.L.; LIMA, Q.S. Estimativa da fixação biológica de nitrogênio (FBN) pela mucuna (*Mucuna pruriens*) consorciada com milho, sob cultivo orgânico, utilizando a técnica de abundância natural de ¹⁵N (d15N). In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 24., Santa Maria, 2000. **Resumos**. Santa Maria: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p.24.

POUDEL, D.D.; HORWATH, W.R.; MITCHELL, J.P.; TEMPLE, S.R. Impacts of cropping systems on soil nitrogen storage and loss. **Agricultural Systems**, v.68, p.253-268, 2001.

POWER, J.F.; DORAN, J.W.; WILHELM, W.W. Uptake of nitrogen from soil, fertilizer and crop residues by no till corn and soybean. **Soil Science Society America Journal**, v.50, p.137-142, 1986.

QUAGGIO, J.A.; RAIJ, B. van. Comparação de métodos rápidos para a determinação da matéria orgânica em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.3, p.184-187, 1979.

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

RAO, M.R.; MATHUVA, M.N. Legumes for improving maize yields and income in sem-arid Kenya. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.78, p.123-137, 2000.

REICHMANN SOBRINHO, E. **Seleção de métodos para avaliação do nitrogênio orgânico do solo potencialmente disponível para as plantas**. 1989. 107f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1989.

RHODEN, A.C.; SILVA, L.S.; CAMARGO, F.A.O.; BRITZKE, D.; BENEDETTI, E.L. Mineralização anaeróbia do nitrogênio em solos de várzea do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v.36, p.1780-1787, 2006.

SAHRAWAT, K.L. Simple modification of the Walkley-Black method for simultaneous determination of organic carbon and potentially mineralizable nitrogen in tropical rice soils. **Plant and Soil**, v. 69, p.73-77, 1982a.

SAHRAWAT, K.L. Assay of nitrogen supplying capacity of tropical rice soils. **Plant and Soil**, v.65, p.111-121, 1982b.

SAINJU, U.M.; SINGH, B.P.; WHITEHEAD, W.F. Comparison of the effects of cover crops and nitrogen fertilization on tomato yield, root growth, and soil properties. **Scientia Horticulturae**, v.91, p.201-214, 2001.

SANTOS, H. P.; TOMM, G. O. Disponibilidade de nutrientes e teor de matéria orgânica em função de sistemas de cultivo e de manejo de solo. **Ciência Rural**, v.33, p.477-486, 2003.

SELMER-OLSEN, A.R.; OIEN, A.; BAERUG, R.; LYNGSTAD, I. Evaluation of a KCl-hydrolyzing method for available nitrogen in soil by pot experiment. **Agriculturae Scandinavica**, v.30, p.146-156, 1981.

SERNA, M.D.; POMARES, F. Evaluation of nitrogen availability in a soil treated with organic amendments. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.24, p.1833-1844, 1993.

SERRA, D. D. **Avaliação da disponibilidade de nitrogênio para o milho (*Zea mays*) em solo do Distrito Federal**. 2006. 92f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

SILVA, E.C.; TRIVELIN, P.C.O.; COLAÇO, W.; ENCARNAÇÃO, F.A.F.; CABEZAS, W.A.R.L. Absorção de nitrogênio nativo do solo pelo milho sob plantio direto em sucessão a plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência no Solo**, v.30, p.723-732, 2006.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. Adubação com nitrogênio. In: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (Eds.) **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2.ed. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. p.129-144.

STANFORD, G. Assesment of soil nitrogen availability. In: STEVENSON, F.J. (Ed.) **Nitrogen in agricultural soils**. Madison: ASA-SSSA, 1982. p.651-688.

STANFORD, G.; SMITH, S.J. Nitrogen mineralization potential of soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.36, p.465-472, 1972.

TEDESCO, M. J.; VOLKWEISS, S. J.; BOHNEN, H. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRGS, 1985. 188p.

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

TRABUCO, M. **Produtividade de milho em plantio direto após plantas de cobertura**. 2008. 54f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008.

VASCONCELLOS, C.A.; MARRIEL, I.V.; SANTOS, F.G.; MAGALHÃES, P.C.; OLIVEIRA, C.A. Resíduos de sorgo e a mineralização do nitrogênio em Latossolo Vermelho fase cerrado. **Scientia Agricola**, v.58, p.373-379, 2001.

WANG, W.; SMITH, C.J.; CHALK, P.M.; CHEN, D. Evaluation chemical and physical indices of nitrogen mineralization capacity with an unequivocal reference. **Soil Science Society of America Journal**, v.65, p.368-376, 2001.

WANG, W.J.; SMITH, C.J.; CHEN, D. Towards a standardized procedure for determining the potentially mineralizable nitrogen of soil. **Biology and Fertility of Soils**, v.37, p.362-374, 2003.

YAGI, R. **Métodos químicos para a estimativa do nitrogênio disponível do solo**. 2008. 115f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008.

YAGI, R.; FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.; BARBOSA, J.C. Mineralização potencial e líquida de nitrogênio em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.385-394, 2009.

ZANATTA, J.A.; BAYER, C.; DIECKOW, J.; VIEIRA, F.C.B.; MIELNICZUK, J. Soil organic carbon accumulation and carbon costs related to tillage, cropping systems and nitrogen fertilization in a subtropical Acrisol. **Soil Tillage Research**, v.94, p.510-519, 2007.