EFEITO DO N DO SOLO NA FIXAÇÃO SIMBIÓTICA DO N₂
E NA UTILIZAÇÃO DE FERTILIZANTE NITROGENADO EM
SOJA [*Glycine max* (L.) MERRIL]

ROBERTO BONETTI

Orientadora: Dra. SIU MUI TSAI SAITO

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Solos e Nutrição de Plantas.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Junho - 1982

OFEREÇO

ao meu pai.

À memória de
minha mãe,

DEDICO.

À Dra. Siu Mui Tsai Saito,
pela orientação, confiança,
estímulo e amizade durante
a condução do presente trabalho,
meu **AGRADECIMENTO ESPECIAL**.

AGRADECIMENTOS

À Dra. Alaídes P. Ruschel, pelo apoio, estímulo e amizade.

Aos colegas, Renato, Marli, Mariangela, Francisco, Soninha, Lourdes, Maria José, Daciano, Paulo, Lucia, Iraci, Mônica, pelo companheirismo e ajuda durante a elaboração do trabalho.

Ao Dr. Reinaldo L. Victória, pelas sugestões.

Ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), especialmente à Seção de Microbiologia do Solo, pelos materiais e facilidades concedidos.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo financiamento da bolsa de pesquisa durante os anos de 1980 e 1981.

A todos que direta ou indiretamente colaboraram para a realização deste trabalho.

Í N D I C E

	Página
RESUMO.....	viii
SUMMARY.....	x
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1. O nitrogênio no solo.....	4
2.1.1. Os fatores que influem os processos de N.....	6
2.1.2. Efeito de solo.....	9
2.1.3. Adição de matéria orgânica e seu efei- to na relação C/N.....	11
2.1.4. Uso de fertilizante nitrogenado.....	14
2.2. Efeito do nitrogênio mineral na fixação biol <u>ô</u> gica de N ₂	17
2.3. Avaliação da fixação biol <u>ô</u> gica do N ₂	29
2.3.1. Método Kjeldahl.....	30
2.3.2. Método da redução do acetileno.....	31
2.3.3. Método isotópico do ¹⁵ N.....	32
2.3.4. Abundância natural.....	32
2.4. Nitrogenase e redutase do nitrato.....	33
2.5. Interação nutricional e fixação biol <u>ô</u> gica do N ₂ ...	34
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	36
3.1. Experimento em laboratório (I).....	36
3.1.1. Solos.....	37
3.1.2. Materiais.....	37
3.1.3. Instalação do experimento.....	38
3.1.4. Análise do N mineral (NO ₃ ⁻ e NH ₄ ⁺) e N orgânico.....	40
3.1.5. Determinação do ¹⁵ N nas diferentes fra- ções do N do solo.....	41
3.1.5.1. Porcentagem de nitrogênio re- cuperado.....	41

	Página
3.1.6. Carbono orgânico - relação C/N.....	42
3.1.7. Taxa de liberação de $^{14}\text{CO}_2$ nos diferen <u>tes</u> solos - estimativa da atividade <u>mi</u> crobiana.....	42
3.1.8. pH dos solos.....	43
3.1.9. Medida da desnitrificação.....	44
3.2. Experimento em casa-de-vegetação (II).....	44
3.2.1. Materiais.....	45
3.2.1.1. Solos.....	45
3.2.1.2. Vasos.....	45
3.2.1.3. Plantas.....	46
3.2.1.4. Estirpes utilizadas - inocula <u>ç</u> <u>ã</u> o.....	46
3.2.1.5. Uréia.....	46
3.2.1.6. Bagaço de cana.....	47
3.2.2. Instalação do experimento.....	47
3.2.2.1. Local.....	48
3.2.2.2. Tratamentos.....	48
3.2.2.3. Delineamento experimental....	49
3.2.3. Condução do experimento II.....	49
3.2.4. Análise química dos solos.....	50
3.2.4.1. Determinação de NO_3^- , NH_4^+ e N orgânico do solo.....	51
3.2.4.2. Determinação do carbono orgâ- nico.....	51
3.2.5. Amostragem das plantas.....	51
3.2.5.1. Determinação da atividade de nitrogenase (redução do C_2H_2 em raízes destacadas).....	52
3.2.5.2. Atividade da redutase do ni- trato nas folhas (ARN-ase)...	53

3.2.5.3. Determinação do peso da planta e nódulos e teores de ^{15}N , P e S na planta.....	54
3.2.6. Determinação de ^{15}N	55
3.2.6.1. Determinação do N derivado do fertilizante (NDDF), do solo e da fixação.....	55
3.2.6.2. Eficiência de utilização do fertilizante (EUF).....	56
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	57
4.1. Experimento I.....	57
4.1.1. Retenção de ^{15}N pelo solo.....	57
4.1.2. Mineralização e imobilização.....	60
4.2. Experimento II.....	73
4.2.1. Crescimento e produção em soja.....	73
4.2.2. Nodulação e atividade dos nódulos.....	76
4.2.3. Absorção de nutrientes.....	80
4.2.4. Distribuição de N em soja nodulante e não nodulante.....	89
5. CONCLUSÕES.....	103
6. LITERATURA CITADA.....	105
7. APÊNDICE.....	125

EFEITO DO N DO SOLO NA FIXAÇÃO SIMBIÓTICA DO N₂
E NA UTILIZAÇÃO DE FERTILIZANTE NITROGENADO
EM SOJA [*Glycine max* (L.) MERRIL]

Autor: ROBERTO BONETTI

Orientadora: DRA. SIU MUI TSAI SAITO

RESUMO

Foi conduzido em laboratório, sob condições de umidade, temperatura e luminosidade controladas, um experimento visando acompanhar durante 107 dias os processos de imobilização e mineralização do N em dois solos (um sob vegetação natural e outro sob cultivo). Uréia marcada com ¹⁵N (9,2 átomos ¹⁵N excesso) foi adicionada nas doses de 0 e 40 kg N/ha. Periodicamente (cada 10 dias), foram retiradas amostras de solo correspondente a cada tratamento para análises de N mineral (NO₃⁻ e NH₄⁺, N orgânico), %C, pH, atividade microbológica por respirometria - ¹⁴C e medidas de desnitrificação.

Em casa-de-vegetação, um experimento com 2 etapas foi realizado para verificar o crescimento de soja (nodulante e não nodulante) sob um esquema fatorial para observar os efeitos dos solos, matéria orgânica (0 e 20 t/ha de bagaço

de cana) e N do fertilizante (0, 40 e 80 kg ^{15}N -uréia/ha).

O processo de imobilização do N do solo causado pela adição de bagaço afetou a nodulação, crescimento da planta e a produção de vagem em soja.

A adição de 80 kg N/ha diminuiu a nodulação, entretanto durante o processo de imobilização, o N adicionado mostrou um efeito positivo e sinérgico neste parâmetro.

Neste experimento, quando o teor de N no solo atingiu uma média entre 25 ppm e 80 ppm, promoveu uma melhor nodulação e produção de vagem, reforçando a idéia da necessidade de doses de arranque de N, para maximizar a nodulação e a fixação de N_2 .

Em geral foi observado baixa utilização do N fertilizante em ambos os solos. Baixas doses de N foram suficientes para promover o efeito "priming", principalmente quando a matéria orgânica foi também adicionada.

O N derivado da fixação e o N do solo mostraram-se suficientes para promoverem boas produções. Neste experimento, verificou-se uma fixação média de N_2 pela soja de 53-72% no solo sob vegetação natural e 72-81% no solo cultivado.

EFFECT OF SOIL NITROGEN ON SYMBIOTIC
N₂-FIXATION AND N-FERTILIZER UTILIZATION
IN SOYBEAN [*Glycine max* (L.) MERRIL]

Author: ROBERTO BONETTI

Adviser: SIU MUI TSAI SAITO

SUMMARY

A 107-day laboratory experiment was carried out on two soils (undisturbed and cultivated) under controlled moisture and temperature conditions, to observe the process of N-immobilization and mineralization. Urea labelled with ¹⁵N (9.2% ¹⁵N atom excess) was added at rates of 0 and 40 kg N/ha. Soil samples were taken every 10 days from each treatment for analysis of mineral-N (NO₃⁻ and organic-N), %C, pH, microbiological activity by ¹⁴C-respirometry and measurement of denitrification.

A two-stage factorial design experiment was carried out in the glasshouse to check soybean (nodulating and non-nodulating) growth to observe the effect of soil, organic matter (0 and 20 t/ha sugarcane bagasse) and fertilizer-N [0, 40 and 80 kg ¹⁵N (urea)/ha]. The immobilization process of soil-N due to addition of bagasse affected nodulation, plant growth and seed production. 80 kg N/ha decrease nodulation, but

during the immobilization process, the added N showed a synergistic and positive effect on this parameter. When soil-N reached an average of 25-80 ppm there was better nodulation and pod production, which reinforces the idea that "starter" nitrogen doses are necessary to maximize nodulation and N_2 -fixation.

In general, low utilization of fertilizer-N was noted in both soils. Low doses of N were enough for a "priming" effect, especially when organic matter was also added. N derived from fixation and soil-N were sufficient for a good yield. N_2 -fixation by soybean was on average 53-72% and 72-81% in undisturbed and cultivated soils, respectively.

1. INTRODUÇÃO

A soja [*Glycine max* (L.)] foi introduzida em 1822 no Brasil, com fins experimentais, por Gustavo Dutra, no Estado da Bahia. Em São Paulo, as primeiras experiências foram realizadas em 1892 por Franz W. Daffert e no Rio Grande do Sul, sua introdução foi feita em 1914 pelo Professor F.C. Graig. Os primeiros cultivos ocorreram em 1931 na região das Missões, no Rio Grande do Sul. Embora já na década de 50 o Rio Grande do Sul apresentasse uma pequena produção e algumas tentativas tenham sido feitas em São Paulo e Paraná, a soja passou a apresentar índices economicamente significativos na segunda metade da década de 60.

No período de 1977/1978 o crescimento da produção registrou uma taxa geométrica anual de aproximadamente 30%. No início da década de 50, a área de soja no Brasil representou apenas 1% da área cultivada. Atualmente ocupa 8,7 milhões

de hectares de terra. De 1970 a 1980, a produção passou de 1,5 para 15 milhões de toneladas anuais, com uma produtividade média de 1.736 kg/ha (ANÔNIMO, 1981).

A soja tem a capacidade de aproveitar diretamente o nitrogênio do solo ou do fertilizante, ou indiretamente através da fixação biológica de N_2 , que muitas vezes representa a maior fonte de N para a planta. As respostas da soja ao fertilizante nitrogenado tem sido porém contraditórias. Numerosos estudos mostram uma resposta negativa da adubação nitrogenada na produção da soja; outros estudos porém, relatam que a produção está intimamente ligada ao nitrogênio acumulado na planta, sendo que a aplicação de nitrogênio pode resultar em aumento de produção. Em geral, aplicações de nitrogênio estão associadas a um decréscimo nas quantidades de nitrogênio fixadas.

A máxima utilização de nitrogênio pela soja ocorre nos estágios finais do crescimento vegetativo (FRANCO, 1978), ressaltando a importância da época de aplicação do fertilizante para a máxima produção de grãos e proteína.

Fatores tais como a disponibilidade de nitrogênio no solo, taxa e época de aplicação do fertilizante, localização e tipo de fonte de N, influenciam de certo modo as respostas da soja à aplicação do fertilizante nitrogenado.

Sabe-se que os principais processos do ciclo do nitrogênio no solo são de origem microbiológica, e podem determinar ou não a disponibilidade do elemento no solo. Des-

ses processos a mineralização e imobilização se destacam dos demais. A mineralização, conversão do nitrogênio orgânico em formas assimiláveis de nitrato e amônia, é o processo biológico de interesse prático, pois torna o elemento disponível às plantas. O processo inverso, a imobilização, não favorece o desenvolvimento das plantas e pode no caso trazer decréscimo na produção. A eficiência da inoculação do *Rhizobium* e o uso de fertilizantes em leguminosas são muito dependentes do tipo de solo, e o nitrogênio já existente no solo, seja mineral ou orgânico, constitui um dos fatores que influenciam diretamente no sucesso do uso de inoculantes ou do uso de fertilizantes em leguminosas. Em diversos trabalhos ficou evidenciado um menor efeito da inoculação e da adição de nitrogênio em solos com elevado teor de nitrogênio mineral (LEGG e STANTFORD, 1967; BELL e NUTMAN, 1971; RUSCHEL *et alii*, 1979; BEZDICEK *et alii*, 1978).

O presente trabalho teve por finalidade verificar os efeitos da inoculação e da adição de fertilizante nitrogenado marcado (^{15}N) em soja nodulante e não nodulante e determinar as frações do nitrogênio na planta derivado do fertilizante, da fixação do N_2 e do solo, assim como as fases dos processos biológicos da mineralização e imobilização do N do solo causados pela incorporação de bagaço de cana em um solo sem cultivo (sob vegetação natural) e outro sob cultivo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. O NITROGÊNIO NO SOLO

Os principais processos do ciclo do N no solo são de origem microbiológica e podem determinar a disponibilidade ou não do elemento no solo. A maior parte, cerca de 98% do N total, está sob a forma orgânica, sendo o restante encontrado nas formas inorgânicas, como nitrato e amônia (BARTHOLOMEW, 1965).

Apesar do seu papel crítico na nutrição das plantas, o nitrogênio é assimilado quase totalmente na forma inorgânica e como a maior parte do N no solo está na forma orgânica, o N é pouco disponível para as plantas (ALEXANDER, 1977).

A conversão do nitrogênio orgânico em formas inorgânicas assimiláveis pela planta é conhecida como minerali

zação, processo análogo à produção de dióxido de carbono dos materiais carbonáceos, o qual coloca o nutriente à disposição das plantas e microrganismos (BARTHOLOMEW, 1965; ALEXANDER, 1977).

Os produtos da mineralização são obtidos por dois processos: a amonificação na qual a amônia é formada, e a nitrificação, termo usado para a oxidação da amônia a nitrato; a amônia é associada como produto do metabolismo microbiológico, sendo a quantidade em excesso de substrato nitrogenado proveniente da demanda microbiológica, representado pelo acúmulo da amônia. A nitrificação está associada com as reações de produção de energia no metabolismo de bactérias autotróficas (ALEXANDER, 1977).

Mineralização e imobilização são processos simultâneos no solo, esteja ele sob cultivo ou não. À medida que a matéria orgânica vai sendo oxidada, com liberação de dióxido de carbono e amônia, os microrganismos presentes usam uma parte do nitrogênio mineralizado e contido no solo, para a formação de novas células. Em solos sem a adição de material orgânico fresco, a quantidade de nitrogênio a ser usada para a síntese de novas células será pequena. A adição de materiais orgânicos, dependendo da resistência à decomposição e da relação C/N, terá quantidade decomposta variável. Com a adição de materiais orgânicos com baixa relação C/N, a mineralização domina a imobilização, ou seja, mais amônia e nitrato serão acumulados e usados para a síntese de novas células (ALLISON, 1973).

O nitrogênio mineralizado e o imobilizado variam diretamente com a facilidade de decomposição e com a quantidade presente de material orgânico (KANAMORI e YASUDA, 1979), sendo eles determinados por medidas na formação de nitrogênio mineral com incubações de solo em condições ideais (método direto) (BROADBENT e TYLER, 1962; HIROSE, 1973; KANAZAWA e YONEYAMA, 1980) ou da liberação de dióxido de carbono pelas amostras durante a decomposição (SHIELDS e PAUL, 1973; JENKINSON e AYANABA, 1977).

2.1.1. OS FATORES QUE INFLUEM OS PROCESSOS DE N NO SOLO

As transformações do N no solo são governadas por vários fatores ambientais tais como: pH (SILVA, 1947; CORNFIELD, 1952, 1959; DANCER *et alii*, 1973; KINJO *et alii*, 1978; NYBORG e HOYT, 1978), estado nutricional do solo (PRIMAVESI, 1974), temperatura (PAL *et alii*, 1975; THIAGALINGAM e KANEHIRO, 1973; STANFORD *et alii*, 1975; CASSMAN e MUNNS, 1980) e aeração e umidade (MILLER e JOHNSON, 1964; CASSMAN e MUNNS, 1980). Os fatores ambientais associados ao solo têm uma influência marcante sobre os processos de formação e perda de N que regulam a quantidade de nitrogênio no solo (JENKINSON, 1977; OPUWARIBO e ODU, 1978).

A temperatura afeta as transformações do N uma vez que a degradação da matéria orgânica é feita por todos os heterotróficos e uma mudança na temperatura alterará a compo-

sição da flora ativa, tendo uma influência direta dentro da comunidade heterotrófica. Apreciável decomposição da matéria orgânica ocorre a 5°C (ALEXANDER, 1977). PAL *et alii* (1975) verificaram que o teor de N mineral aumentou com o aumento de 7,2 a 37°C até os 30 dias. A perda de carbono do solo aumentou do mesmo modo, não havendo diferença entre solo incubado com e sem incorporação de palha de arroz.

Em geral nos trópicos, região de altas temperaturas, a mineralização tende a ser maior devido a um aumento da atividade microbiológica (THIAGALINGAM e KANEHIRO, 1973). Em climas temperados onde ocorrem bruscas mudanças de temperaturas, há uma influência marcante nas mudanças biológicas. Os estudos mostram que a mineralização do nitrogênio e do carbono ocorrem com máxima intensidade entre 30-35°C e 37-40°C, respectivamente, sendo que uma vez estabelecida uma faixa entre 30-40°C, a variação dentro dela terá pouca influência (ALEXANDER, 1977).

Um outro processo do N no solo, a nitrificação, possui uma temperatura ótima em torno de 30-36°C (MEIKLEJOHN, 1954; WAKSMAN e MADHOCK, 1937). Cada espécie microbiológica e a capacidade bioquímica da comunidade como um todo, tem uma faixa de temperatura ótima. Entretanto, a composição da flora varia de local para local, e mesmo num simples local tratado com diferente resíduo vegetal, não se pode encontrar uma temperatura ótima para a decomposição.

Vários estudos demonstram a importância da ae-

ração e umidade na mineralização do nitrogênio, uma vez que faz parte do metabolismo energético dos microrganismos. Estudos de CASSMAN e MUNNS (1980) mostram que a mineralização é máxima quando a água está retida a 0,33, diminuindo quando o solo se satura ou quando se torna seco. Também MILLER e JOHNSON (1964) encontraram que sob umidade de 0,5-0,15 bar a produção de dióxido de carbono foi máxima aos 14 dias, diminuindo abaixo de 0,5 e acima de 0,15 bar, verificando também que a nitrificação foi máxima nessa umidade, superpondo-se os picos de N-mineralizado, CO₂ evoluído e N-nitrificado.

CORNFIELD (1952 e 1959) comparou a taxa de mineralização em numerosos solos e encontrou que o acúmulo de nitrato ocorreu com maior intensidade em solos com pH maior ou igual a 6,5. Também KINJO *et alii* (1978) obtiveram um efeito positivo na produção de nitrato com a correção da acidez. SILVA (1947) estabeleceu que a reação do solo favorável para as bactérias nitrificadoras está entre pH 6,8 e 7,0. DANCER *et alii* (1973) e NYBORG e HOYT (1978) verificaram que o pH do solo não afeta a amonificação apreciavelmente, porém afeta a nitrificação. Nesse estudo, encontraram que 5,6, 2,7, 1,8 e 1,7% do N total inorgânico do solo era composto de amônia com pH 4,7; 5,3; 6,0 e 6,3 respectivamente, e concluíram que altas porcentagens de amônia indicam menor número de microrganismos nitrificadores em pH baixo, sendo que a taxa de mineralização permanece constante quanto ao pH.

CORNFIELD (1959) e KINJO *et alii* (1978) encon-

traram que o efeito da correção da acidez favorece o acúmulo de amônia, seguido por um decréscimo na mineralização, após resíduos facilmente decomponíveis terem desaparecidos.

Em solos virgens geralmente ocorre pouca nitrificação, e em solos cultivados, grande nitrificação, devido ao número de bactérias nitrificadoras ser baixo em solos virgens. Após a correção da acidez, o número de bactérias nitrificadoras aumenta e a nitrificação se iguala aos solos cultivados, variando de 18-81% sem e com correção de acidez, respectivamente (NYBORG e HOYT, 1978).

2.1.2. EFEITO DE SOLO

A disponibilidade de nitrogênio e o potencial de mineralização aumenta com os seguintes tipos de solo: areia barrenta (7% de argila), areia barrenta grossa (13% argila) e barro (24% argila) (HERLIHY, 1979).

A desnitrificação está estritamente relacionada com o teor de água no solo e aeração. É máxima em temperaturas de 30°C e em umidades de 80%, alcançando 35 e 41 kg N/ha desnitrificado em solos com e sem adições de substratos orgânicos respectivamente. A adição de palha aumenta a imobilização de nitrato e reduz a perda por desnitrificação (CRASWELL, 1978). Solos bem drenados podem apresentar perdas de N por desnitrificação através de zonas anaeróbicas do matrix do so-

lo (BROADBENT, 1965). Entretanto, solos argilosos, com 70% de argila, só exibem perdas gasosas do N sob condições de saturação de água (CRASWELL e MARTIN, 1975).

A atividade dos microrganismos nos solos implica em utilização de elementos principalmente N, C, P, K e S além de micronutrientes da solução do solo, da mineralização do húmus, da decomposição de material orgânico adicionado e de fertilizantes. A decomposição do húmus reflete a disponibilidade do carbono no solo, enquanto a mineralização do CO₂ seguida da adição de substratos orgânicos, estima a biodegradabilidade do solo (ALEXANDER, 1977).

A decomposição do húmus do solo tem relação positiva entre a porcentagem de carbono, N-total e N-mineralizado (CORNFIELD, 1952). Solos com alto teor de carbono e N-total possuem maior potencial de mineralização. Estudos mostram uma variação de 10, 39 e 82 ppm de N mineralizado em 40 dias em solos com 1,62; 1,95 e 2,51% de carbono (0,18; 0,23 e 0,31% de N) respectivamente (HERLIHY, 1979). JENKINSON (1977) também verificou que o teor de carbono no solo não afeta a decomposição de material orgânico adicionado, embora as quantidades potenciais de N, P e S mineralizáveis em solos com alto teor de carbono sejam maiores.

O cultivo favorece a destruição da matéria orgânica do solo. No primeiro ano de cultivo, a maioria dos solos apresentam perda de ¹⁴C variável entre 50 e 75% e a decomposição se torna mais lenta. A perda de carbono (¹⁴C) diminui -

nui para a metade num período que varia de 4 a 6 anos e este fenômeno de diminuição constante e assintótico após o primeiro ano, apresenta o mesmo aspecto em todos os solos. Calcula-se que após 50 anos, o carbono no solo atinge 1% do carbono de origem (SAUERBECK, 1975; JENKINSON e AYANABA, 1977).

O solo contém duas fases de matéria orgânica: a fase jovem e lábil (perfazendo cerca de um terço) e a fase velha não lábil (cerca de dois terços). A fase estável é formada lentamente e é pouco afetada pela aplicação de fertilizantes e matéria orgânica, sendo de difícil decomposição (DABIN, 1975). A decomposição da matéria orgânica, medida pela evolução de CO_2 , é diretamente proporcional ao teor de carbono no solo (ALEXANDER, 1977), enquanto que a adição de material carbonáceo, pode favorecer ou não a evolução do carbono do solo (CAMPBELL, 1978).

Com a aplicação de fertilizante nitrogenado no solo, tem-se notado que pode também estimular, inibir ou mesmo não ter efeito na mineralização do carbono e nitrogênio no solo (WESTERMAN e KURTZ, 1973). A matéria orgânica do solo é relativamente resistente ao ataque microbiológico ou se torna indisponível durante o processo de decomposição.

Na decomposição de material enriquecido com ^{15}N , verifica-se que a presença de energia disponível nos materiais adicionados favorece a suscetibilidade para mineralização do nitrogênio da fração orgânica do solo, bem como a evolução do CO_2 (BROADBENT, 1947).

2.1.3. EFEITO DA ADIÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA

Muitos estudos com incorporação de materiais orgânicos no solo têm sido feitos (JENKINSON e AYANABA, 1977; SHIELDS e PAUL, 1973; HIROSE, 1973; KANAMORI e YASUDA, 1979; COCHRAN *et alii*, 1980; MARUMOTO *et alii*, 1980; KANAZAWA e YONEMA, 1980) para verificar a mineralização, imobilização do N mineral do solo e/ou do fertilizante. A decomposição dos materiais orgânicos adicionados e os processos de mineralização e imobilização são dependentes da relação C/N (carbono : nitrogênio), umidade e temperatura e da qualidade e quantidade do material adicionado.

Quando materiais orgânicos com relação C/N estreita (20:1 ou menos) são incorporados ao solo, o nitrogênio deverá ser mineralizado materiais com larga relação C/N imobilizará o N temporariamente (ALLISON e KLEIN, 1962; COCHRAN, 1980). Entretanto, deve-se ter cuidado com o uso desta relação para se predizer se haverá ou não imobilização, pois a afirmativa é válida somente quando o C e o N do material são prontamente disponíveis para os microrganismos (BARTHOLOMEW, 1965; PAR e PAPENDICK, 1978).

ALLISON e KLEIN (1962) e BROADBENT (1947) encontraram que a imobilização do N é paralela à evolução do CO₂. Imediatamente após a máxima liberação de CO₂ e imobilização do N, começa o processo de mineralização e a seguir a evolução de CO₂ diminui. Enquanto a matéria orgânica do solo é estável

ao ataque microbiológico (JENKINSON e AYANABA, 1977), a decomposição do material orgânico adicionado depende da sua qualidade. Assim, a glucose promove máxima imobilização do N inorgânico dentro de uma semana seguida da celulose e lignina (KANAMORI e YASUDA, 1979; MARUMOTO *et alii*, 1980).

A aplicação de materiais orgânicos juntamente com nitrogênio mineral causa a imobilização de N adicionado, o qual se mineraliza após certo intervalo de tempo. Quando materiais com alta relação C/N (palha de arroz por exemplo) são adicionados, quase 100% do N mineral aplicado é imobilizado até os 45 dias, e após os 90 dias de incubação esse N começa a mineralizar-se. No caso de adição de material com baixa relação C/N (leguminosas por exemplo) a quantidade de fertilizante nitrogenado transferida para a matéria orgânica, é pequena, sendo por volta de 5%. Isto faz com que a turfa não seja prontamente sujeita a decomposição, permitindo que o N mineral aplicado permaneça em sua forma original (KANAMORI e YASUDA, 1979). Materiais adicionados ao solo corrigindo-se suas relações C/N, mostram uma rápida imobilização dentro de uma semana, após a qual, o N imobilizado começa a mineralizar-se (MARUMOTO *et alii*, 1980). De fato, em solos misturados com 10 toneladas de palha de arroz a imobilização do N se dá até 60 dias de incubação. A adição de N inorgânico sofre uma rápida imobilização nas duas primeiras semanas, seguindo de uma mineralização desse N imobilizado (COCHRAN *et alii*, 1980). Adições de N estimulam a decomposição inicial de resíduos em so-

los com baixos teores de N (PAR e PAPENDICK, 1978; KANAMORI e YASUDA, 1979). Embora o processo de imobilização seja danoso devido à competição com as plantas pelo N mineral, a imobilização temporária pode ser benéfica, uma vez que reduz as perdas por desnitrificação e lixiviação (CRASWELL, 1978), principalmente do nitrato.

Um outro fator verificado é o efeito prejudicial da incorporação de resíduo vegetal carbonáceo de culturas como trigo e milho o qual é devido principalmente a dois fatores: imobilização do N mineral e produção de toxinas (BORNER, 1960; GUENZI e McCALLA, 1962; McCALLA e HASKINS, 1964; KIMBER, 1967; TOUSSOUN *et alii*, 1968; KIMBER, 1973; McCALLA e NORSTADT, 1974; COCHRAN *et alii*, 1977). Em condições de campo verifica-se que os produtos tóxicos de materiais em decomposição se restringe à zona de decomposição e não ao solo. Raízes de plantas em contato direto com o material em decomposição, podem mostrar danificações. A persistência desses resíduos tóxicos se dá por volta de 22-28 dias, onde a toxicidade é maior, após o qual começa a diminuir (GUENZI *et alii*, 1967).

2.1.4. USO DE FERTILIZANTE NITROGENADO

A uréia, fertilizante comumente usado, sofre hidrólise rapidamente dentro de uma semana (AYANABA e KANG, 1976) produzindo amônia e nitrato. A amônia e nitrato produzi

dos podem ser imobilizados na fração orgânica do solo pelo processo de decomposição. Quando se adiciona palha de arroz e ^{15}N fertilizante, a quantidade de N absorvido pelas plantas diminui até os 45 dias. Após 90 dias de incubação, a absorção da fração fertilizante aumenta. No caso de turfa adicionada, a quantidade de N absorvido permanece constante, sendo que o N adicionado permanece na sua forma original (KANAMORI e YASUDA, 1970). Segundo esses autores, a palha de arroz pode imobilizar nos dois primeiros meses quase a totalidade do N aplicado, seguindo-se de sua mineralização.

A quantidade de N retida pela matéria orgânica do solo sem a adição de materiais orgânicos se dá geralmente nas primeiras quatro semanas de incubação, podendo chegar a 20% do N adicionado. No final de 12 semanas, entre 8-46% do N adicionado como fertilizante, pode ficar retido na matéria orgânica do solo indicando diferentes níveis de retenção de acordo com o tipo de solo (TOMAR e SOPER, 1980).

A recuperação do fertilizante nitrogenado aplicado varia com a dose de fertilizante (BLACK *et alii*, 1947). Uma apreciável fração do N aplicado pode ficar retida na fração orgânica não sendo absorvido pelas plantas ou extraível (BARTHOLOMEW *et alii*, 1950). Em solos sob vegetação natural, a imobilização do N aplicado é temporária, enquanto que em solos sob cultivo, o N imobilizado não é recuperável pela cultura ou extraível, sendo fixado na matéria orgânica estável do solo, permanecendo mais tempo, devido à difícil decomposi

ção desta fração. Solos virgens mineralizam mais N, C e P que solos cultiváveis. Aparentemente, a matéria orgânica se torna mais resistente com o grau de decomposição o que acontece em solos sob cultivo (HARSEM e SCHEREVEN, 1955). THOMPSON e BLACK (1950) e CORNFIELD (1952) estudaram a influência do solo na mineralização do N e verificaram alta correlação positiva entre carbono total e nitrogênio total e a mineralização do N. Este processo pode ser influenciado pelo tipo de húmus ou grau de decomposição da matéria orgânica do solo. A adubação nitrogenada parece favorecer a mineralização de N do solo contido na fração orgânica (efeito "priming"), uma vez que as correlações entre mineralização e N adicionado são positivas (WESTERMAN e KURTZ, 1973; KANAMORI e YASUDA, 1973; TOMAR e SOPER, 1980).

A recuperação total do N aplicado em incubações de solo por método indireto (^{15}N da fração orgânica + ^{15}N da fração mineral) tem boa correlação com o método direto (^{15}N total), variando para ambos os métodos de 76-100% de recuperação do N aplicado em 4 semanas de incubação (TOMAR e SOPER, 1980). Solos com alta relação C/N, alto teor de carbono e nitrogênio, retêm mais nitrogênio na fração orgânica, aumentando com o tempo de incubação. De fato, a retenção do N adicionado está ligada ao teor de matéria orgânica do solo, sendo maior a retenção quanto maior o teor de matéria orgânica (WALUNJKAR *et alii*, 1959; TOMAR e SOPER, 1980).

A recuperação do N adicionado em solos sob cul

tivo é maior que em solos sob vegetação natural, sendo que a adição de material carbonáceo promove maior recuperação em am bos os solos. A variação de recuperação de N pode variar de 50-100% do $N-^{15}N$ aplicado (BROADBENT e TYLER, 1962).

Numerosos trabalhos relatados por ALLISON (1966), mostram que a recuperação de várias fontes de N, adicionados em solos e incubados em condições controladas, está por volta de 100% após poucos dias ou semanas. Entretanto, variações de vido a um excesso de umidade diminui este valor principalmente com uso de nitrato ou quantidades excessivas de sais de amônia, os quais resultam em baixas porcentagens de recuperação, assim como longos períodos de incubação.

2.2. EFEITO DO NITROGÊNIO MINERAL NA FIXAÇÃO BIOLÓGICA DO N_2

A soja é altamente exigente em nitrogênio, e variedades produzindo 3.000-3.500 kg/ha de sementes exigem cerca de 300-320 kg N/ha (MALAVOLTA, 1980; NELSON e WEAVER, 1980).

É aceito de modo geral que em níveis baixos e médios de produção (menores que 2.000 kg/ha) a fixação simbió tica consegue fornecer todo o N exigido pela cultura, o que não aconteceria quando a produção ultrapassa 2.000 kg/ha (MALAVOLTA, 1980).

Muitas pesquisas têm sido feitas até o presente momento para estudar a resposta da soja ao N adicionado, e

na maioria dos casos foram obtidas respostas contraditórias (BEZDICEK *et alii*, 1974). Tem sido difundida a idéia de que o nitrogênio mineral quando abundante, diminui a nodulação em leguminosas. A maioria dos trabalhos citam inibição na formação e desenvolvimento dos nódulos e conseqüentemente, ocorrendo decréscimo nas quantidades de N fixadas. A inibição do processo de formação dos nódulos provocada pela presença de nitrato é, em parte, devido ao seu efeito prejudicial na infecção dos pêlos radiculares. Isto é atribuído à destruição catalítica do ácido indolacético (AIA), responsável pelo encurvamento e formação do "cajado-de-pastor" pelo íon nitrito, produzido através da redução do nitrato pelo *Rhizobium* (TANNER e ANDERSON, 1963).

Outros autores associam o efeito externo do N a mudanças químicas na superfície dos pêlos radiculares, de tal modo que poucas lecitinas ficam disponíveis para ligar o *Rhizobium* ao pêlo radicular (GIBSON, 1981).

Em um estágio posterior, o nitrogênio também pode afetar o desenvolvimento dos nódulos e a atividade da enzima nitrogenase, através de alterações no metabolismo de carbono e nitrogênio na planta hospedeira, pois qualquer N adicional absorvido significa uma competição pelos fotossintatos disponíveis, prejudicando a síntese de proteínas e redução do N_2 (RAGGIO *et alii*, 1965; GIBSON e PAGAN, 1977; GIBSON, 1981).

A relação inversa entre nitrogênio mineral e a formação e atividade dos nódulos, pode ser explicada pelo

fato dos fotossintatos estarem constantemente em quantidades limitantes na planta, e a absorção de N mineral pode afetar negativamente pela perda de fotossintatos, provocando competição entre os nódulos e os núcleos de assimilação do N mineral que usam os fotossintatos como esqueletos de carbono e de redução (OGHOGHORIE e PATE, 1971; RABIE *et alii*, 1980). De fato, o acúmulo de fotossintatos marcados (^{14}C) nos nódulos e a taxa de redução de acetileno são estreitamente correlacionadas (LAWRIE e WHEELER, 1974), sendo que uma vez nos nódulos, os mesmos, são rapidamente usados na formação de aminoácidos juntamente com a amônia formada na fixação de N_2 . Por outro lado, o suprimento de N mineral, principalmente na forma de nitrato, diminui a proporção de fotossintatos transportados para os nódulos (LAWRIE e WHEELER, 1975; SMALL e LEONARD, 1969; LATIMORE *et alii*, 1977; RABIE *et alii*, 1980).

Outra hipótese é a relação carboidrato:nitrogênio na planta, que quando excessiva, pode restringir o desenvolvimento dos nódulos e a fixação do N_2 e a baixas relações C:N, a formação de nódulos e a fixação de nitrogênio são reduzidas (WILSON, 1940). Experimentos em plantas com alto nível de carboidrato e alto nível de N mineral mostraram aumento do tamanho dos nódulos formados (HATFIELD *et alii*, 1974). A resposta do sistema simbiótico da planta dependerá portanto, de como a adição de N mineral alterará a relação C:N da planta. Baseando-se nisso, em plantas com alto teor de carboidrato, adições de pequenas quantidades de N mineral favorecem o desen

volvimento dos nódulos e a fixação do N_2 , mas grandes quantidades prejudicam o processo. Em solos com baixo teor de N cultivado com leguminosas, pode ocorrer um atraso na fixação de N_2 , devido a uma larga relação C:N, causando danos à cultura. Nesse caso, pequenas doses de N mineral poderão ser benéficas, uma vez que um arranque no crescimento da planta pode resultar e promover desenvolvimento satisfatório da planta e da fixação do N_2 .

A fixação do N_2 é normalmente iniciada em soja aos 20-30 dias após o plantio (HARDY, 1972; GIBSON, 1974; FRANCO *et alii*, 1978), e a necessidade inicial de nitrogênio deve provir das reservas da semente ou do solo. Em solos extremamente pobres em N, doses de N mineral aplicados no plantio, no período da "fome" de nitrogênio, pode estimular um maior crescimento inicial das plantas e, como consequência, aumentar a nodulação e a produção de grãos (FRANCO *et alii*, 1978). Entretanto, experimentos testando vários níveis de N mineral no plantio em solos com menos de 1,5% de matéria orgânica, não mostraram aumento na produção (HATHCOK, 1975).

Vários autores (HATFIELD *et alii*, 1974) têm mostrado que a soja requer uma fonte externa de N até o início da fixação do N_2 . WEAVER e FREDERICK (1972) verificaram que plantas novas de soja ficam deficientes em nitrogênio quando o número de nódulos é pequeno e o solo pobre em N. Há um aumento de nódulos com adição de 10 ppm de NO_3^- em plantas com duas semanas, com consequente aumento da matéria seca nos tratamen -

tos com N e inoculação, sugerindo também a importância do N do solo no crescimento inicial da soja, mesmo na presença de adequada produção. A colocação de pequenas doses de N mineral no início do desenvolvimento da soja, pode nesse caso ser favorável à planta hospedeira, o que corresponderá a um maior envio de fotossintatos aos nódulos e uma vez que os fotossintatos se dirigem para os nódulos, maior quantidade de energia se destina aos mesmos, resultando num maior desenvolvimento do sistema simbiótico, aumentando o N₂ fixado (GIBSON, 1976).

Entretanto, acima de certas doses de N mineral as plantas usarão o N aplicado em detrimento do N₂ fixado. Segundo GIBSON (1976), as respostas do N mineral em soja são raramente observadas, ou somente ocorrem em altas doses de N, e nesse caso, antieconômicas. O nível apropriado de N do "solo + fertilizante" é aquele no qual se tem um mínimo efeito da nodulação, sendo que em muitos casos, a adubação com N mineral não é necessária.

Se altas produções são desejadas, proporcionalmente mais N será requerido. Alguns pesquisadores afirmam que a soja não encontra na fixação biológica toda a sua necessidade em N para altas produções, e portanto, a adubação com N mineral se faz necessária para aumentar a produção (DeMOOY *et alii*, 1973; BHANGHOO e ALBRITTON, 1972, 1976). Entretanto, o uso de fertilizante não aumenta a produção suficientemente para ser economicamente viável, ou raramente a produção é aumentada (SORENSEN e PENAS, 1978; WELCH *et alii*, 1973). Além do

mais, somente altas doses de N usadas por alguns autores (BHANGHOO e ALBRITTON, 1972 e 1976; WEBER, 1966) mostraram respostas quanto à produção.

As respostas na produção da soja quanto às aplicações de N, têm sido contraditórias. Respostas positivas ao N adicionado, têm sido observadas por vários pesquisadores (RIOS e SANTOS, 1973; BHANGHOO e ALBRITTON, 1972, 1976; GUIMARÃES, 1974; HARPER, 1974). Entretanto, numerosos estudos não mostram respostas à adição de N mineral (WILLIAMSOM e DIATLOFF, 1975; BARNI *et alii*, 1975, 1977; BEZDICEK *et alii*, 1978; NELSON e WEAVER, 1980). Em geral os autores concordam que há um efeito negativo do N mineral, quando aplicado excessivamente, na fixação do N₂ e na nodulação.

A necessidade de N pela soja em condições de campo, é mais ou menos satisfeita pelo nitrogênio do solo e fixação. Entretanto, condições adversas de umidade poderão limitar a mineralização do nitrogênio orgânico e nitrificação e neste caso, uma resposta positiva do fertilizante nitrogenado poderá ocorrer, principalmente no crescimento vegetativo e enchimento dos grãos (FREIRE e VIDOR, 1971).

Com a finalidade de diminuir a quantidade de N do solo, BEARD e HOOVER (1971) aplicaram palha queimada ou picada e doses de N de 0-168 kg N/ha como sulfato de amônio no plantio e no florescimento ou em ambos os estágios. Verificaram que as plantas de soja sem adição de N mostravam amarelamento, mesmos as folhas verdadeiras e as subseqüentes, até

os 30-40 dias, sendo mais pronunciado com a aplicação da palha picada. Após 40 dias, todas as plantas ficaram verdes. O número de nódulos foi reduzido com a adição de 56 kg N/ha ou mais antes do plantio. A aplicação de 112 kg N/ha no florescimento não afetou a formação de nódulos, mas 168 kg de N/ha diminuiu o número de nódulos drasticamente; a adição de palha, que promoveu imobilização, do N do solo, favoreceu a nodulação.

Plantas nodulantes e não nodulantes se comportam igualmente com adequado suprimento de nitrogênio; entretanto, variam consideravelmente, dependendo da nutrição mineral de nitrogênio e umidade. De fato, a aplicação de material carbonáceo (sabugo de milho) imobiliza o N do solo, sendo necessários 600 kg N/ha para igualar a produção da isolinha não nodulante à nodulante. As isolinhas nodulantes mostraram baixa resposta ao N aplicado, independente da incorporação do material carbonáceo; a matéria seca das plantas nodulantes diminuiu quando N do solo foi imobilizado pelo material carbonáceo. Com solo normal, foi necessário aplicar 150 kg N/ha para as isolinhas não nodulantes alcançando, assim, uma produção igual às das isolinhas nodulantes (WEBER, 1966). Também PAL e SAXENA (1975) verificaram que isolinhas não nodulantes necessitam de 200-300 kg N/ha para uma produção igual à isolinha nodulante, sendo que a simbiose promove melhor nutrição de N na soja.

A incorporação de palha (2-4 t/ha) um mês an-

tes do plantio da soja, com e sem enriquecimento de CO_2 , influenciou marcadamente a fixação de N_2 e rendimento da soja. A palha aumentou em média 141 e 197% a atividade de nitrogenase com 2 e 4 t/ha de palha, respectivamente, sendo que com 4 t/ha o peso de nódulos duplicou e a produção aumentou de 56% (SHRIVAJHAN e VLASSAK, 1978). Esses autores sugerem também que a incorporação da palha estimula o crescimento dos nódulos pela imobilização do nitrogênio do solo, e ao mesmo tempo um fluxo constante de CO_2 para a parte aérea, favorecendo assim a fotossíntese e produção da soja. A palha promoveu, pois, boas condições para o estabelecimento do *Rhizobium*.

RIOS e SANTOS (1973) obtiveram uma resposta de 325 kg/ha de grãos sobre o controle com a aplicação de 120 kg N/ha, sendo que o número e peso de nódulos não foram afetados com 40 e 60 kg N/ha, diminuindo com 120 kg N/ha. MYASAKA (1970) não encontrou efeito da aplicação de N em solo com *Rhizobium japonicum* nativo, mas a inoculação ainda deu uma resposta positiva em relação ao controle. DOBEREINER *et alii* (1966) e VEST (1971) verificaram que a nodulação e a fixação do N_2 foram afetadas com altas doses de N, com diferenças entre variedades. Concluíram que esse diferente procedimento em relação ao N fertilizante é devido às diferenças fisiológicas internas no metabolismo. DOBEREINER e ARRUDA (1967) em casa-de-vegetação usando duas variedades de soja, verificaram resposta à adubação nitrogenada, sendo prejudicada com 20-40 ppm de N no solo, com o efeito do N ligado ao cálcio disponível.

CHESNEY (1973), HERRERA e LONGERI (1974) e DUTRA (1975) não encontraram resposta à adubação nitrogenada. Também BARNI *et alii* (1975), usando sulfato de amônio (128kg/ha) no plantio, não encontraram resposta à aplicação de nitrogênio. Entretanto, os autores concordam em uma relação inversa entre nodulação e nível de fertilizante nitrogenado.

Alguns autores têm observado resposta do N mineral aplicado no florescimento. LATHWELL e EVANS (1951) e HARPER (1974) verificaram um aumento de produção. Entretanto WILLIAMSON e DIATLOFF (1975) e BARNI *et alii* (1976) não encontraram efeito significativo ao N aplicado no florescimento com relação ao rendimento de grãos e outras características (%N, teor de proteína, teor de óleo). RIOS e SANTOS (1973) verificaram que doses maiores de N (325 kg/N no plantio) provocaram um aumento de inserção da primeira vagem e altura das plantas, reduzindo com isso as perdas na colheita.

Estudos de RUSCHEL *et alii* (1979) mostram que plantas nodulantes absorvem mais nitrogênio que plantas não nodulantes. Isto sugere um efeito sinérgico do N_2 fixado sobre o N derivado de outras fontes. A aplicação de 25 kg/ha de N mineral deu máxima absorção de N. Neste nível, a fixação permaneceu alta, mas com 50 kg N/ha diminuiu a fixação.

Pesquisas com fontes diferentes de N mineral e orgânico aplicado em soja, têm mostrado que o NO_3^- é o mais prejudicial para a nodulação (HAM *et alii*, 1975). A uréia parece ser a melhor fonte quando comparada com NH_4NO_3 e NH_4OH .

(DeMOOY *et alii*, 1973). RUSCHEL e RUSCHEL (1975) e RUSCHEL *et alii* (1979) comparando várias fontes de nitrogênio (nitrato de sódio, sulfato de amônio, nitrato de amônio e uréia) encontraram que a uréia promoveu maior nodulação. Também HARPER (1975) verificou que a uréia tem pouco efeito na formação e funcionamento dos nódulos em soja e que a absorção da uréia é mais lenta que a do nitrato, podendo isso explicar a melhor nodulação com uréia.

O uso de uréia como fonte de nitrogênio parece ser mais atrativo, uma vez que a dissociação em NH_4^+ e CO_2 libera uma fonte de N reduzido, com um menor gasto de energia pela planta, comparado com a redução de NO_3^- ou N_2 (HARPER, 1975).

Soja em solução nutritiva, tem um melhor desenvolvimento e nodulação quando se usa uréia comparada ao nitrato. Plantas com 8 mM de uréia produziram nódulos, enquanto com 2 mM de nitrato inibiram a nodulação. O N fixado foi de 74% com 6 mM de uréia enquanto que com 3 mM de nitrato a fixação foi de 14% (VIGUE *et alii*, 1977).

HAM *et alii* (1976) em estudos com variedades comerciais nodulantes e não nodulantes, aplicaram 224 kg de N/ha como nitrato de amônio, uréia, uréia mais enxofre, uréia revestida com enxofre e uréia formaldeído. A adubação com N mineral aumentou a produção de sementes, peso da semente e % de proteína na semente, sendo que todas as fontes de N reduziram a fixação do N_2 , peso e número dos nódulos. Concluíram que a fixação não foi suficiente para permitir máxima produção, e

verificaram que as plantas com N extra apresentaram um melhor arranque no crescimento, uma vez que a fixação ocorreu aos 14 dias após o plantio. Entretanto, os teores de proteína e óleo na semente bem como a produção não foram afetados pelas doses crescentes de N mineral (0-130 kg N/ha) nos experimentos de WILLIAMSON e DIATLOFF (1975) e BARNI *et alii* (1977). Segundo esses autores, os níveis crescentes de N adicionados apenas substituíram, em parte, o N proveniente da fixação do N_2 .

WEBER (1966) verificou pequenos aumentos no teor de N nas sementes da isolinha nodulante sugerindo que a planta pode não estar recebendo suficiente nitrogênio da fixação. Verificou também que as plantas nodulantes superaram as não nodulantes em todas as doses de N usadas indicando que: a) o N fixado simbioticamente é mais desejável para o crescimento da planta e b) a energia requerida para a produção de semente, respiração dos nódulos e redução do N_2 para NH_3^+ , é menor que a requerida para absorção e redução do NO_3^- . Nesse mesmo trabalho verificou relação inversa entre doses de N e nodulação: obteve 6,0; 6,4; 4,9 e 3,4 g de nódulos fresco / 4 plantas com 0, 50, 100 e 150 kg de N/ha. Com a incorporação de material carbonáceo (sabugo de milho) obteve 7,6; 5,2; 2,4 e 1,6 g de nódulos fresco/4 plantas com 0, 200, 400 e 600 kg N/ha.

KOHL *et alii* (1980) estimaram que a fixação entre 58 a 89% de N fixado com base no N total, e 51 a 95% com base na abundância de ^{15}N , não são diferentes estatisticamen-

te. No campo encontrou entre 7,3 e 51% de N fixado por diferença de N total, e 5,4 a 46% com base na abundância de ^{15}N . Quando o solo recebeu material carbonáceo, as contribuições do N fixado aumentaram, o que não aconteceu com o aumento das doses de nitrato (0, 25 e 150 ppm). Entretanto a produção de sementes não variou para a soja nodulante (3.211 kg/ha e 2.935 kg/ha sem e com adição de material carbonáceo) e nem para a soja não nodulante (2.250 kg/ha e 2.106 kg/ha sem e com adição de material carbonáceo).

BHANGHOO e ALBRITTON (1972), verificaram uma fixação de 63% sem a aplicação de N mineral, sendo que a fixação caiu para 55, 32, 16 e 0,3% de N fixado com a aplicação de 50, 100, 200 e 400 kg N/ha, respectivamente. Também STREETER (1973), encontrou valores de 60% de fixação sem a aplicação de N mineral. ALLOS e BARTHOLOMEW (1955), trabalhando em solução nutritiva, verificaram que as quantidades de N fixadas foram de 100, 83, 67 e 42% com 0, 108, 216 e 432 ppm de N/vaso, sendo que a absorção total de N foi igual para todas as doses de N, havendo portanto uma substituição do N fixado pelo N mineral. KOHL *et alii* (1980) encontraram valores semelhantes de 63, 57, 18 e 22% de N fixado com a adição de 0, 25, 75 e 150 ppm de N em solo em casa-de-vegetação; no campo encontraram valores 18 e 22% de N fixado com a adição de 0, 25, 75 e 150 ppm de N em solo em casa-de-vegetação; no campo encontraram valores de 50% de N fixado sem adição de N mineral. As isolinhas nodulantes comparadas às não nodulantes podem, se

gundo esses autores, fixar entre 57 e 83% de N, mas com a adição de 200 kg de N/ha, a contribuição pode cair para 18 a 32% de N fixado (PAL, 1975). VEST (1971) e BEZDICEK *et alii* (1978), relataram que a soja pode fixar cerca de 80 a 90% de N.

2.3. AVALIAÇÃO DA FIXAÇÃO BIOLÓGICA DO N₂

Embora as leguminosas possam se beneficiar do nitrogênio atmosférico através da associação simbiótica com o *Rhizobium*, elas normalmente absorvem uma parte do N do solo. A proporção absorvida de cada parte depende da eficiência da relação simbiótica, do hábito de crescimento do legume e da quantidade de N mineral disponível no solo. Em solos normais e com o uso de bons inoculantes, os dois últimos fatores serão de grande importância em cada proporção (ALLOS e BARTHOLOMEW, 1955).

Muitos métodos têm sido empregados para se determinar a fração correspondente às diversas fontes de N do solo, da fixação e do fertilizante. Um método promissor tem sido o uso de uma linhagem não nodulante relatado por WILLIAMS e LYNCH (1954), que possui a habilidade de não nodular em presença de *Rhizobium*, sendo esse caráter condicionado por um par de genes simples e recessivos. Estimativas têm sido feitas comparando-se a produção de N total da planta nodulante e não nodulante. Mas em geral os estudos têm sido feitos utilizando -se o método da redução do acetileno (HARDY *et alii*, 1968;

KOCH e EVANS, 1966) e o uso de fertilizantes marcados com o ^{15}N , que foi usado pela primeira vez por NORMAN e WERKMAN em 1943, para estudar a absorção de nitrogênio em soja (HAUCK e BREMNER, 1976).

Na Tabela abaixo vemos as estimativas da fixação de N_2 em soja, e os métodos utilizados:

% de N_2 fixado	Fonte
. 25 (acetileno).....	HARDY e HAVELKA (1976)
. 63 (Kjeldahl).....	BHANGHOO e ALBRITTON (1972)
. 50-74 (Kjeldahl).....	WEBER <i>et alii</i> (1966)
. 50 (Kjeldahl).....	PARKER e HARRIS (1977)
. 80 (Kjeldahl).....	BEZDICEK <i>et alii</i> (1978)
. 77 (dil. isotópica).....	RUSCHEL <i>et alii</i> (1979)
. 58-89 (variação natural).....	KOHL <i>et alii</i> (1980)
. 30-60 (Kjeldahl).....	STREETTER (1973)
. 25-60 (Kjeldahl).....	HARPER (1974)
. 95 (Kjeldahl).....	VEST (1971)
. 57-83 (Kjeldahl).....	PAL (1975)

2.3.1. MÉTODO KJELDAHL

Existem muitos métodos para se calcular a fixação do N_2 , sendo o método mais comumente usado a análise do N total da planta pelo método Kjeldahl:

$$\%N \text{ fixado} = \frac{N \text{ total SF} - N \text{ total SNF}}{N \text{ total SF}} \times 100$$

onde: SF se refere ao sistema fixador (soja nodulante) e SNF ao sistema não fixador (soja não nodulante).

Dada à natureza do método, o teor de N a ser mensurado deverá ser bem alto, tendo em vista não só a amostragem, bem como os erros inerentes ao próprio método de análise Kjeldahl (BURRIS, 1974). De fato somente estimativas qualitativas podem ser feitas com este método, e uma vez que se atribui a ambos os sistemas uma absorção idêntica do N do solo e/ou fertilizante, qualquer diferença no N total entre os sistemas, será atribuído à fixação do nitrogênio atmosférico (RENNIE *et alii*, 1978). Entretanto, plantas nodulantes absorvem mais nitrogênio do solo que plantas não nodulantes, e portanto a fixação pode ser superestimada.

2.3.2. MÉTODO DA REDUÇÃO DO ACETILENO

A técnica da redução do acetileno, introduzida por HARDY *et alii* (1968), é uma medida cinética da enzima nitrogenase, responsável pela redução do N_2 e de outros substratos como o C_2H_2 . É portanto, um método indireto da fixação, e se utiliza da propriedade bioquímica do sistema fixador de reduzir substratos alternativos. Segundo SAITO *et alii* (1980), deve-se ter em mente que a conversão $C_2H_2:N_2$ igual a 3, é questionável. Além do mais, fazem com que o cálculo do N_2 fi-

xado total durante o ciclo da cultura seja duvidoso (RENNIE *et alii*, 1978; SAITO *et alii*, 1980). Além do mais, há uma superestimativa dessa medida em sistemas que apresentam evolução de H_2 (EVANS *et alii*, 1976).

2.3.3. MÉTODO ISOTÓPICO DO ^{15}N

Recentes estudos em técnicas com traçadores como $^{15}N_2$ têm sido usados como prova absoluta da fixação. A técnica de enriquecimento com $^{15}N_2$ envolve processos químicos, analíticos e instrumentais sofisticados, tendo desvantagem quando comparado ao método da redução do acetileno (SAITO, 1978).

Muitos autores têm marcado o N do solo ou do fertilizante, deixando o N da fixação não marcado, envolvendo o princípio da diluição isotópica (FRIED e MELLADO, 1978; RENNIE *et alii*, 1978). O N fixado é dado por:

$$\%N \text{ fixado} = 1 - \frac{\% \text{ átomos } ^{15}N \text{ em excesso (SF)}}{\% \text{ átomos } ^{15}N \text{ em excesso (SNF)}} \times 100$$

onde: SF corresponde ao sistema fixador e SNF ao sistema não fixador.

2.3.4. ABUNDÂNCIA NATURAL

No solo o teor de ^{15}N é sempre mais elevado que o do ar, devido à discriminação do ^{15}N , feita pelos microrga-

nismos nitrificadores e desnitrificadores (BLACKMER e BREMNER, 1977; KOHL *et alii*, 1980 a,b). Assim sendo, uma planta fixadora quando comparada com uma planta não fixadora apresentará um teor de ^{15}N menor, indicando o enriquecimento de ^{14}N , porém este método, embora não necessite de substrato marcado, necessita de refinadas técnicas químicas, analíticas e instrumentais (HAUCK e BREMNER, 1976).

2.4. NITROGENASE E REDUTASE DO NITRATO

Estudos em soja comparando a assimilação sazonal do nitrato (atividade da redutase do nitrato) com a fixação do N_2 (redução do C_2H_2), mostram que o metabolismo de absorção do NO_3^- ocorre principalmente durante o crescimento vegetativo e florescimento enquanto que a fixação do N_2 se torna mais importante durante o enchimento dos grãos, sendo que a atividade da NR-ase declina após o florescimento, possivelmente devido à menor capacidade de absorção do NO_3^- e envolvendo talvez um menor crescimento radicular (GIBSON, 1976).

Existe uma correlação inversa entre N_2 -ase e RN-ase durante o ciclo da soja, parecendo razoável sugerir que a energia requerida em ambos os processos é suficientemente grande para impedir que atividades altas ocorram simultaneamente (FRANCO *et alii*, 1978; RUSCHEL *et alii*, 1979).

Soja nodulante e não nodulante quando cresci -

das no campo, parecem não diferirem quanto à atividade da RN-ase, entretanto quando em soluções nutritivas, é maior na planta nodulada. Plantas com baixos teores de NO_3^- tiveram alta fixação de N_2 e maior produção, sendo que tanto o NO_3^- quanto o N_2 , foram essenciais para a máxima produção (HARPER, 1974).

2.5. INTERAÇÃO NUTRICIONAL E FIXAÇÃO BIOLÓGICA DO N_2

Parece razoável admitir que a fixação do N_2 e altas produções somente serão possíveis quando todos os nutrientes essenciais para o crescimento da planta estiverem prontamente disponíveis à planta. As plantas leguminosas mostram grande diversidade nas suas demandas nutricionais, entretanto, não diferem muito de outros grupos de plantas. Certos elementos têm papel particular na nodulação e fixação do N_2 . Existem poucos trabalhos comparando níveis nutricionais de plantas em relação ao N mineral e fixação de N_2 (GIBSON, 1976).

O fósforo, enxofre e alguns micronutrientes são elementos importantes na fixação do N_2 , embora a deficiência de qualquer elemento essencial que afete a planta, afetará a fixação do N_2 . GATES e MULLER (1979) verificaram que um balanço favorável entre P, S e N mantém os nódulos com estrutura firme e persistente até o final do ciclo. DeMOOY e PESEK (1973) encontraram que em plantas de soja que receberam P em quantidades tóxicas, tal efeito foi anulado pela adição de K e Ca, aumentando com isso o peso de nódulos.

GATES e MULLER (1979) enfatizam a importância de outros fatores nutricionais para o equilíbrio da fixação do N_2 e nodulação. Por exemplo, a inibição da nodulação pelo N pode ser anulada pela adição de S. Quando os níveis de P e S são adequados para uma efetiva simbiose, a produção e nodulação não são influenciados pelo suprimento de N. Em caso de ocorrer um desbalanço, a produção e nodulação diminuem em resposta à presença do N adicionado. Também GATES e WILSON (1974) verificaram que a nodulação com altos níveis de P é favorecida pelo N, mas é limitada com baixas doses de P.

3. MATERIAIS E METODOS

Foram realizados dois experimentos, um em laboratório (Experimento I) e outro em casa-de-vegetação (Experimento II), no Centro de Energia Nuclear na Agricultura, em Piracicaba (São Paulo), no período de março de 1980 a março de 1981. Os experimentos foram conduzidos nas seguintes épocas : Experimento I: março/julho 1980; Experimento II: outubro 1980/
/março 1981.

3.1. EXPERIMENTO EM LABORATÓRIO (I)

Nesse experimento, acompanhou-se em condições controladas de temperatura e umidade, os processos de imobilização e mineralização do N em diferentes solos sem a influência da planta.

3.1.1. SOLOS

Foram utilizados dois tipos de solos com características físicas semelhantes, diferindo porém nos teores de carbono e nitrogênio; para isso foi utilizado solo Terra Roxa estruturada (TRE), sob vegetações distintas, um natural e outro sob cultivo, coletados na Fazenda Areão da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". As características químicas são mostradas no Quadro 1 do Apêndice.

Empregou-se solo retirado de uma camada de 0-20 cm, que sofreu peneiramento para separação de detritos por peneira de malha de 2 mm e uniformizado a seguir. O solo sob vegetação natural, recebeu a incorporação do material orgânico que se encontrava sobre o solo (folhas e gravetos), que foi moído e passado por peneira de 60 mesh. Este material tinha 21,55% de carbono e 1,106% de nitrogênio e relação C/N 19,48.

3.1.2. MATERIAIS

Foram utilizados fertilizante - $\text{CO}(^{15}\text{NH}_2)_2$ e glucose - ^{14}C , sendo a uréia marcada com 9,2% de átomos de ^{15}N em excesso, fornecida pela Seção de Física do Solo do CENA e a solução de glicose - ^{14}C marcada com uma atividade de 0,05 mCi/ml, preparada a partir de estoque de glucose- ^{14}C , da Seção de Microbiologia do Solo (CENA). Adubações básicas de P e K foram aplicadas à base de 150 kg P_2O_5 /ha e 50 kg

K₂O/ha, usando para isso superfosfato simples e cloreto de potássio. A calagem foi feita para se elevar o pH para 6,0, utilizando-se carbonato de cálcio. Usou-se também uma solução de micronutrientes contendo MgSO₄ . 7 H₂O - 150 g; Na₂MoO₄ - 7g; CuSO₄ - 15,8g; ZnSO₄ - 8,92 g; H₃BO₃ - 1,0 g; FeSO₄ . 7 H₂O - 20 g; ácido cítrico - 20 g; CoCl₂ - 0,1 g; água destilada - 1.000 ml, da qual adicionou-se 1 ml/kg de solo.

Foram usados 160 frascos de vidro tipo "snap-cap" , com capacidade para 200 ml.

3.1.3. INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi conduzido em laboratório sob condições controladas de temperatura (25°C) e umidade.

Amostras de 100 g de cada solo foram colocadas nos frascos de vidro. A umidade do solo foi mantida a 80% da capacidade de retenção de água (1/3 de atmosfera), de acordo com a curva de retenção de água do solo obtida anteriormente na Figura 6 no Apêndice.

As quantidades de N, P, K e micronutrientes foram:

DOSE	PRODUTO	mg do produto/100 g de solo
150 kg/ha P_2O_5	superfosfato simples	31,25
50 kg/ha K_2O	cloreto de potássio	3,47
40 kg/ha N	uréia	3,66
1 ml/kg solo	sol. micronutriente	0,1 ml
2 t/ha calcário	$CaCO_3$	80 mg*

* Somente para o solo cultivado que apresentou pH < 6,0, antes da adição de calcário.

O delineamento experimental foi em fatorial 2x2, respectivamente para solo (2 solos sob diferentes vegetações) e doses de N (0 e 40 kg N/ha) com 10 épocas de amostragens e 4 repetições por época, com um total de 160 frascos. O espaço de tempo entre as épocas foi de 10 dias, perfazendo um período de 100 dias.

Os frascos foram mantidos fechados com "para - film" para evitar evaporação excessiva. Duas vezes por dias , de manhã e à tarde, abria-se por 1 hora os frascos para permitir suficiente aeração.

Tomou-se o peso inicial de 10 frascos ao acaso (5 frascos com solo sob vegetação natural e 5 frascos com solo sob cultivo e através de medidas diárias dos pesos, controlou-se a unidade, adicionando-se água destilada sempre que o peso variasse.

3.1.4. ANÁLISES DO N MINERAL (NO_3^- E NH_4^+) E N ORGÂNICO

A cada dez (10) dias foram feitas coletas dos solos e em seguida analisados.

Em cinco gramas de solo foram adicionados 50ml de KCl 2N e agitados por 30 minutos, e em seguida, filtrou-se a solução, obtendo-se o extrato. O extrato foi destilado em a parelho micro-Kjeldahl com óxido de magnésio para destilação da amônia e Liga de Devarda para destilação do nitrato, de acordo com BREMNER (1965). O destilado foi recebido em ácido bórico e após a titulação com H_2SO_4 0,1N, concentrou-se a amostra em estufa a 60°C , para posterior análise de ^{15}N . Para essa última análise, as duas frações de N foram juntadas para se determinar a fração mineral do N do solo proveniente do fertilizante.

Na determinação do N orgânico, o solo retido no filtro (resíduo) foi lavado por 3 vezes com KCl 2N para completa remoção do nitrogênio mineral, e seco em estufa a 60°C por 72 horas. A seguir, colocou-se 1 g do solo em tubo de vidro de 75 ml para digestão sulfúrica, contendo K_2SO_4 , CuSO_4 e selênio (100:10:1), sendo depois destilado em micro-Kjeldahl com NaOH (~20N) e recebido em ácido bórico e titulado com H_2SO_4 0,1N de acordo com BREMNER e EDWARDS (1965), e em seguida acidulado com 3 gotas de H_2SO_4 0,1N e concentrado em estufa a 60°C para posterior análise de ^{15}N .

3.1.5. DETERMINAÇÃO DO ^{15}N NAS DIFERENTES FRAÇÕES DO N DO SOLO

Os concentrados das duas frações, mineral ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) e N-orgânico foram analisados para determinação da composição isotópica do ^{15}N , através da conversão do amônio, dos concentrados, em N_2 pelo NaOBr e posterior análise em espectrômetro de massa ATLAS-VARIAN-MAT modelo CH-4 da Seção de Ciências Ambientais do CENA, de acordo com o procedimento de BREMNER e EDWARDS (1965).

3.1.5.1. Porcentagem de nitrogênio recuperado

A porcentagem de recuperação do nitrogênio adicionado em forma de uréia foi calculada de acordo com a equação:

$$\% \text{N recuperado} = \frac{100 \text{ NT}(\text{A} - \text{B}) + 100 \text{ NT}' (\text{A}' - \text{B}')}{\text{C} \times \text{D}} \quad (\text{TOMAR e SOPER, 1981})$$

onde NT é o nitrogênio total orgânico do resíduo e NT' o nitrogênio total mineral; A e B são as % de ^{15}N da fração orgânica do solo tratado e não tratado com ^{15}N respectivamente; A' e B' são as % de ^{15}N da fração mineral do solo tratado e não tratado com ^{15}N respectivamente; C a % de ^{15}N na uréia e D a quantidade de uréia aplicada. O solo que restou após extração com KCl, foi denominado "resíduo". A quantidade de N marcado recuperado no resíduo, considerou-se como sendo o N aplicado fixado ou imobilizado pelo solo (TOMAR e SOPER, 1981).

3.1.6. CARBONO ORGÂNICO - RELAÇÃO C/N

Um grama de solo de cada frasco foi colocado em balão de 100 ml para determinar-se a porcentagem de carbono orgânico por via úmida por oxidação do carbono orgânico pelo dicromato de potássio (2N) em presença de ácido sulfúrico, concentrado, e posterior titulação com sulfato ferroso 0,5N, através do método de WALKLEY-BLACK, modificado por ALLISON (1965).

A relação C/N foi conseguida dividindo-se a % de carbono pela % de N total do resíduo + N mineral.

3.1.7. TAXA DE LIBERAÇÃO DE $^{14}\text{CO}_2$ NOS DIFERENTES SOLOS - ESTIMATIVA DA ATIVIDADE MICROBIANA (FREITAS *et alii*, 1979)

Foram utilizados erlenmeyers de 75 ml com tampas de borracha, nas quais inseriu-se um fio de aço inoxidável com um pequeno frasco de vidro colado na sua extremidade. Nesse frasco suspenso foi colocado 0,25 ml de feniletilamina como absorvente de $^{14}\text{CO}_2$ liberado, e para aumentar a superfície de contato utilizou-se de pequenas tiras de papel de filtro de igual tamanho.

Colocou-se em cada erlenmeyer 2 g de solo e umedeceu-se com água e em seguida foi adicionado 0,5 ml de uma solução de glicose de concentração 5 $\mu\text{mol/ml}$, com atividade de 0,05 μCi de glicose - $^{14}\text{C/ml}$. Inseriu-se a tampa e incu -

bou-se por 60 minutos a 25°C. Após esse tempo, a reação foi paralisada pela adição de 2 ml de HCl 1N sobre o solo. A seguir, o papel absorvente, juntamente com a feniletilamina foram transferidos para frascos de cintilação contendo 10 ml de solução cintiladora (PATTERSON e GREENE, 1965). Também 0,5 ml de solução de glicose - ^{14}C foram transferidos para solução cintiladora, e todos os frascos foram levados ao cintilador líquido BECKMAN L5-230 para detecção do ^{14}C .

A quantidade de glicose consumido (X) foi dada pela equação:

$$X = \frac{a}{a_0} \cdot \frac{C}{M}$$

onde a e a_0 representam a contagem (cpm) da amostra e da solução padrão, C a concentração da glicose na solução padrão) - ($\mu\text{mol/ml}$) e M a massa do solo (g).

3.1.8. PH DOS SOLOS

O pH dos solos foi determinado em água usando-se a relação solo:água de 1:2,5, agitados com bastão de vidro por 3 minutos e deixados em repouso por 30 minutos e em seguida fazendo-se a leitura do pH do sobrenadante.

3.1.9. MEDIDA DA DESNITRIFICAÇÃO

O método utilizado foi o de bloqueio com C_2H_2 , de acordo com PAUL e VICTORIA (1978).

Os frascos com solo foram tapados hermeticamente e 2 repetições de cada tratamento foram submetidas a um fluxo de 15 minutos com hélio para tornar o meio anaeróbico, a fim de que ocorresse a desnitrificação. Em seguida foram injetados em todas as repetições 10% de acetileno, incubando-se por 24 horas. Amostras de 1 cm³ foram retiradas com seringas descartáveis e o gás analisado em cromatógrafo VARIAN, modelo 2440, com coluna de "Poropak Q" e detector de captura eletrônica, da Divisão de Ciências Ambientais do CENA.

3.2. EXPERIMENTO EM CASA-DE-VEGETAÇÃO (II)

Nesse experimento foi visto o efeito do N do solo na fixação simbiótica do N_2 e a utilização de fertilizante nitrogenado em soja. O efeito da imobilização e mineralização na fixação foi estimulado incorporando-se bagaço de cana ao solo e dividindo-se o experimento em 2 etapas:

Etapas 1 - correspondendo ao primeiro ciclo de plantio da soja quando se esperou observar a imobilização do N ocorrendo com maior intensidade.

Etapa 2 - Vasos com os mesmos tratamentos ficaram sem plantas e após 40 dias foi semeada a soja, para observação do efeito da liberação do N inorgânico. O período de imobilização e mineralização de N foi determinado anteriormente em laboratório.

3.2.1. MATERIAIS

3.2.1.1. Solos

Os solos utilizados foram os mesmos do Experimento I, sendo que no solo sob vegetação natural não se incorporou a camada de matéria orgânica encontrada no campo. Metade dos vasos com solo sob vegetação natural e metade do solo cultivado receberam adições de bagaço de cana com 41,7°C e 0,315%N e relação C/N = 132,40, à base de 20 toneladas por hectare (30 g/vaso de 3 kg de solo).

3.2.1.2. Vasos

Utilizou-se vasos de barro com capacidade para 3 kg de solo, sendo impermeabilizados com Neutrol. Os vasos foram fechados para evitar lixiviação de nutrientes, principalmente ^{15}N .

3.2.1.3. Plantas

Foram utilizadas 2 isolinhas de soja [*Glycine max* (L.) Merrill] nodulante (D71-9330)ⁱ e não nodulante (D71 - 9331) fornecidas pelo Centro Nacional de Pesquisa de Soja - EMBRAPA, Londrina - Paraná.

3.2.1.4. Estirpes utilizadas - inoculação

A inoculação da soja nodulante foi feita com uma mistura de 2 estirpes eficientes SEMIA-587 (Ipagro - Porto Alegre/RS) e 29W (UFRRJ - km 47 - Rio de Janeiro).

As estirpes foram crescidas em meio líquido YWB, cuja composição está no Quadro 2 do Apêndice, em agitador rotatório por 7 dias a 30°C até a turbidez.

A seguir, as sementes foram submersas no meio por 30 minutos e após esse tempo receberam uma solução de goma arábica 40% (10 ml/170 g sementes), e imediatamente passadas em CaCO₃ (80 g/170 g sementes) formando-se um pelete em sua volta. As sementes não nodulantes receberam o mesmo pelete.

3.2.1.5. Uréia

A uréia marcada [CO(¹⁵NH₂)₂] a 9,2% de átomos de ¹⁵N em excesso foi fornecida pela Seção de Física do Solo do CENA.

3.2.1.6. Bagaço de cana

O bagacilho de cana foi fornecido pela Usina Modelo - Açúcar e Alcool S/A - Piracicaba. Secou-se por 3 dias em estufa a 60°C, e foi moído e passado por peneira 60 mesh. A porcentagem de carbono e nitrogênio foram de 41,7% e 0,315% , respectivamente com uma relação C/N = 132,4.

Foram adicionados ao solo à base de 20 toneladas/ha.

3.2.2. INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO

Os solos receberam adubações básicas de P, S, K e micronutrientes e o solo sob cultivo recebeu CaCO_3 para elevação do pH para 6,0:

DOSE	PRODUTO	QUANTIDADE DO PRODUTO POR VASO
150 kg P_2O_5 /ha	KH_2PO_4	210 mg
60 kg K_2O /ha		
25 ppm S	CaSO_4	75 mg
solução micronutrientes (item 3.1.2.)		3 ml
2 t calcário/ha	CaCO_3	2,4 g

3.2.2.1. Local

O experimento foi conduzido em casa-de-vegetação do CENA onde as temperaturas médias foram: 30°C - dia e 25°C - noite. Nas horas mais quentes do dia, 10-14 horas, mantinha-se o chão da estufa molhado para que a temperatura não se elevasse, acima de 30°C.

3.2.2.2. Tratamentos

Os tratamentos usados nas Etapas 1 e 2 são mostrados abaixo:

1. Solo sob cultivo
2. Solo sob vegetação natural
3. Com bagaço de cana - 20 t/ha - 30 g/vaso
4. Sem bagaço de cana
5. 0 kg N/ha
6. 40 kg ^{15}N /ha - uréia : 109,9 mg uréia/vaso
7. 80 kg ^{15}N /ha - uréia : 219,8 mg uréia/vaso
8. Soja nodulante
9. Soja não nodulante

3.2.2.3. Delineamento experimental

O delineamento experimental usado foi fatorial $2 \times 2 \times 3 \times 2$ para 2 solos, com e sem adição de bagaço de cana, 3 doses de N (0, 40 e 80 kg N/ha) e 2 isolinhas de soja respectivamente com 3 blocos ao acaso totalizando 24 tratamentos e 72 parcelas na Etapa 2.

3.2.3. CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO II

Os solos foram colocados nos vasos após receberem a adubação básica de K, P e CaCO_3 , e a adição de bagaço de cana. Nos vasos, receberam o S (50 ml de solução 25 ppm S) e 3 ml da solução de micronutrientes.

Adicionou-se água destilada nos vasos de modo a levar a umidade a 80% da capacidade de campo, de acordo com a curva de retenção apresentada pela Figura 1 do Apêndice. Em seguida alguns vasos foram escolhidos ao acaso, pesados, e seus pesos anotados. As sementes peletizadas foram colocadas a 2,5 cm de profundidade, cobertas com solo, com distribuição uniforme nos vasos. Após a germinação (1 semana após o plantio), as plantas foram desbastadas deixando-se 2 plantas por vaso.

O plantio da Etapa 1 foi feito em 10.11.80 e da 2ª etapa em 19.12.80.

A aplicação de ^{15}N - uréia foi feita em 18.11.80 em ambas as etapas. Diluiu-se a uréia - ^{15}N em água destilada e aplicou-se nos vasos em forma de solução.

Diariamente, os vasos, cujos pesos foram anotados por ocasião do plantio, eram pesados e restituído o peso da água evapotranspirada, tirando-se uma média que se aplicava a todos os vasos.

Nos vasos que ficaram sem plantas (Etapa 2) amostras de solo a intervalos regulares foram retiradas nas seguintes épocas:

	<u>Data</u>
. 1ª análise - 1º plantio -	10.11.80
. 2ª análise - 14 dias após 1º plantio	24.11.80
. 3ª análise - 34 dias após 1º plantio	10.12.80
. 4ª análise - 60 dias após 1º plantio	05.01.81
. 5ª análise - 75 dias após 1º plantio	20.01.81
. 6ª análise - 104 dias após 1º plantio	28.02.81

3.2.4. ANÁLISE QUÍMICA DOS SOLOS

Utilizando-se um cilindro de 2 cm de diâmetro e 10 cm de comprimento retirou-se aproximadamente 40 g de solo dos vasos. Foram analisados somente 2 repetições de cada tratamento. Em seguida o solo era seco ao ar, passado por peneira de 40 mesh.

3.2.4.1. Determinação de NO_3^- , NH_4^+ e N orgânico do solo

Foram pesados 40 g de cada solo e colocados em frascos de vidro adicionando 200 ml de KCl 2N e agitado por 2 horas em agitador rotatório; a seguir o solo ficou em repouso por 1 noite e o extrato foi retirado por sifão até completar um volume de 150 ml. A seguir foi determinado o NH_4^+ e NO_3^- conforme descrito na fase do laboratório.

O solo que ficou nos frascos (resíduo) foi lavado com KCl 2N por 3 vezes para eliminação do N mineral. Em seguida seco em estufa a 60°C. 1 g de solo foi colocado em tubo de digestão de 75 ml e determinado o N-orgânico conforme descrito anteriormente.

3.2.4.2. Determinação do carbono orgânico

O solo inicialmente coletado, foi pesado 1 g e colocado em balão volumétrico de 100 ml e determinou-se a % de carbono conforme descrito anteriormente.

3.2.5. AMOSTRAGEM DAS PLANTAS

As Etapas 1 e 2 foram coletadas após 71 dias do plantio, 20.01.81 e 28.02.81 respectivamente.

As plantas foram cortadas ao nível do solo, as folhas e vagens separadas do caule e embaladas em sacos de papel. As raízes foram retiradas do solo e as raízes das plantas nodulantes colocadas em frascos de vidro de 1.000 ml.

3.2.5.1. Determinação da atividade de nitrogenase (redução do C_2H_2 em raízes destacadas)

A coleta foi feita entre 9-10 horas da manhã ; as raízes nodulantes foram colocadas em frascos de vidro de 1.000 ml e em seguida fechados hermeticamente. Injetou-se 10% de C_2H_2 nos vidros, tomando-se cuidado para se retirar previamente 10% da atmosfera do vidro, a fim de que a pressão não fosse alterada. Após 1 hora retirou-se amostras com seringas plásticas descartáveis de 1 cm^3 , e injetando 0,5 cm^3 em cromatógrafo tipo Beckman modelo GC-65, usando-se detector de ionização de chama de H_2 e coluna contendo Poropak N de 80-100 mesh a 50°C. O procedimento foi de acordo com SAITO (1978).

Preparou-se padrão de 500 ppm de C_2H_4 para determinação do controle, vidros sem raízes e com injeção de C_2H_2 .

A determinação do C_2H_4 formado foi dado pela seguinte equação (SAITO, 1978):

$$C_2H_4 \text{ (}\mu\text{moles/h)} = KxK' \times \text{volume do frasco} \times \frac{1}{\text{volume injetado}} \times \frac{1}{\text{tempo de incubação}}$$

onde K' = altura do pico da amostra (mm) x atenuação x range

$$K = \frac{\mu\text{moles de C}_2\text{H}_4 \text{ em 0,5 ml do padrão (C.N.T.P.)}}{H \times A \times R}$$

H = altura do pico do padrão

A = atenuação da leitura

R = range

Os resultados foram apresentados em relação ao peso total de nódulos secos por planta, ($\mu\text{moles C}_2\text{H}_4/\text{planta h}$) e por grama de nódulos ($\mu\text{moles C}_2\text{H}_4/\text{g nódulos h}$).

3.2.5.2. Atividade da redutase do nitrato nas folhas (ARN-ase)

A análise da ARN-ase foi feita "in vivo" nas folhas, seguindo-se a metodologia descrita por HARPER (1974). Foram utilizadas as folhas de máxima expansão. As análises foram iniciadas às 10 horas da manhã. Rodelas de 1 cm de diâmetro (0,2 g de material fresco) foram retiradas entre as nervuras ao longo das folhas, procedendo-se imediatamente à incubação da amostra em presença de 10 ml de substrato tamponado (0,05M KNO_3), no escuro a 30°C. Em seguida, em 1 ml do tampão após incubação, foi adicionado 4 ml de água deionizada, 1 ml de sulfalinamida e 1 ml de α -naftiletilenoamina. As determinações foram feitas em espectrofotômetro Coleman Jr. II, a 550

nm, avaliada em relação a um controle (branco) e padrão NO_2^- de concentração conhecida.

Calculou-se a atividade em μmoles de NO_2^- de acordo com a equação:

$$\mu\text{moles NO}_2^-/\text{g.h} = \frac{\text{L.A.}}{\text{L.P.}} \times \text{fator}$$

onde: L.A. = leitura da amostra

L.P. = leitura do padrão

fator = concentração padrão $\times 10 \times 0,2$

3.2.5.3. Determinação do peso da planta e nódulos e teores de N, P e S na planta

Os nódulos destacados e as folhas foram determinados seus pesos frescos. Em seguida as folhas, caule, raízes, nódulos e vagens foram colocados em sacos de papel em estufa a 60°C até atingir peso constante, determinando-se então o peso da matéria seca. Foram moídas e guardadas para análise.

O nitrogênio foi avaliado pelo método semi-micro-Kjeldahl, conforme SARRUGE e HAAG (1974), determinando-se a % de N na matéria seca das folhas, caule e vagens.

Para determinação dos teores de P e S por colorimetria, das plantas, foram preparados extratos através da digestão nítrico-perclórica da parte aérea (folha + caule) e vagens (SARRUGE e HAAG, 1979).

3.2.6. DETERMINAÇÃO DE ^{15}N

A determinação do ^{15}N foi feita através do método de combustão por via seca de DUMAS (PROKSCH, 1972), utilizando-se espectrômetro de massa ATLAS-VARIAN-MAT, modelo CH-4. Na determinação de ^{15}N e ^{15}N nas amostras da parte aérea (caule + folhas) e vagens.

3.2.6.1. Determinação do N derivado do fertilizante (NDDF), do solo e da fixação

O nitrogênio proveniente do fertilizante foi calculado pelo enriquecimento de ^{15}N nas plantas de acordo com TRIVELIN *et alii* (1973):

$$\% \text{ NDDF} = \frac{\% \text{ átomos } ^{15}\text{N} \text{ no material vegetal}}{\% \text{ átomos } ^{15}\text{N} \text{ no fertilizante}} \times 100$$

O nitrogênio proveniente da fixação simbiótica foi determinado pelo método de FRIED e MELLADO (1978), tomado em relação ao enriquecimento de ^{15}N na planta nodulada e não nodulada pela seguinte equação:

$$\% \text{ N fixado} = \left[1 - \frac{\% \text{ átomos } ^{15}\text{N} \text{ em excesso na planta nodulante}}{\% \text{ átomos } ^{15}\text{N} \text{ em excesso na planta não nodulante}} \right] \times 100$$

O nitrogênio proveniente do solo foi obtido por diferença.

Nas plantas que não receberam ^{15}N - uréia, a fixação foi assim estimada:

$$\% \text{N}_2\text{-fixado} = \frac{\text{N-total (PN)} - \text{N-total (PNN)}}{\text{N-total (PN)}} \cdot 100$$

onde PN = planta nodulante

PNN = planta não nodulante.

3.2.6.2. Eficiência de utilização do fertilizante (EUF)

A eficiência de utilização do fertilizante foi obtida através da seguinte equação:

$$\% \text{EUF} = \frac{\% \text{NDDF} \times \text{N-total}}{\text{quantidade de N aplicado por vaso}}$$

de acordo com TRIVELIN *et alii* (1973).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. EXPERIMENTO I

4.1.1. RETENÇÃO DE ^{15}N PELO SOLO

As Tabelas 1 e 2 mostram as quantidades de nitrogênio (^{15}N) adicionado recuperadas nas frações mineral e orgânica. O nitrogênio recuperado da fração orgânica significa o retido pelo solo. Esta retenção atingiu no início da incubação cerca de 6 ppm de N ou 34% para o solo sob vegetação natural, atingindo um pico de 9 ppm de N ou 57% aos 40 dias e permanecendo constante até o final, com uma retenção de 7 ppm de N ou 43%. No solo cultivado, a quantidade retida foi inferior variando de 2 ppm de N ou 12% aos 10 dias de incubação e chegando a 3 ppm de N ou 17% no final da incubação.

Esta diferença na retenção de N adicionado en-

Tabela 1 - Porcentagem (% NDDF) e quantidade (ppm NDDF) de nitrogênio derivado do fertilizante e sua percentagem de recuperação na fração mineral (M) e orgânica (O) em diferentes períodos de incubação. Solo sob vegetação natural.

Dias	Fração de N	% NDDF	ppm NDDF	% Recuperação
			S_x^{**}	
7	M	3,370	4,16	24,96
	O	—*	—	—
	Total	—	—	—
17	M	3,370	3,32	19,92
	O	0,127	5,65	33,90
	Total	3,497	$8,97 \pm 0,93$	53,82
27	M	2,910	4,51	27,06
	O	0,168	7,35	44,10
	Total	3,078	$11,86 \pm 1,12$	71,16
37	M	2,140	5,54	33,24
	O	0,140	6,38	38,28
	Total	2,280	$11,92 \pm 0,74$	71,52
47	M	2,700	6,94	41,64
	O	0,209	9,53	57,18
	Total	2,909	$16,47 \pm 2,14$	98,82
57	M	3,100	8,11	48,66
	O	0,168	7,19	43,14
	Total	3,268	$15,30 \pm 0,74$	91,80
67	M	3,140	8,60	51,60
	O	0,158	6,85	41,10
	Total	3,298	$15,45 \pm 0,42$	92,70
77	M	2,650	6,67	40,02
	O	0,160	7,13	42,78
	Total	2,810	$13,80 \pm 1,26$	82,80
87	M	2,440	6,57	39,42
	O	0,173	7,21	43,26
	Total	2,613	$13,78 \pm 0,60$	82,68
97	M	2,750	8,35	50,10
	O	0,167	6,70	40,20
	Total	2,917	$15,05 \pm 0,0$	90,30
107	M	2,540	6,71	40,26
	O	0,170	6,98	41,88
	Total	2,710	$13,69 \pm 0,0$	82,14

* Não determinado; S_x^{**} = desvio padrão = $\sqrt{SQD/N - 1}$.

Tabela 2 - Porcentagem (% NDDF) e quantidade (ppm NDDF) de nitrogênio derivado do fertilizante e sua porcentagem de recuperação na fração mineral (M) e orgânica (O) em diferentes períodos de incubação. Solo cultivado.

Dias	Fração de N	% NDDF	ppm NDDF	% Recuperação
			S_x^{**}	
7	M	10,750	1,83	10,96
	O	-	-	-
	Total			
17	M	10,750	3,56	21,34
	O	0,239	2,22	13,32
	Total	10,989	5,78 ± 0,85	34,66
27	M	10,750	3,64	21,82
	O	0,224	2,10	12,55
	Total	10,974	5,74 ± 0,0	34,37
37	M	10,750	10,19	61,16
	O	0,155	1,76	10,55
	Total	10,805	11,95 ± 0,34	71,71
47	M	-*	-	-
	O	0,168	1,81 ± 0,26	10,85
	Total	-		
57	M	-	-	-
	O	0,198	2,12 ± 0,63	12,70
	Total	-		
67	M	-	-	-
	O	0,176	2,01 ± 0,11	12,05
	Total	-		
77	M	-	-	-
	O	0,230	2,89 ± 0,38	17,35
	Total	-		
87	M	-	-	-
	O	0,230	2,74 ± 0,27	16,45
	Total	-		

* Não determinado.

$$S_x^{**} = \text{desvio padrão: } \sqrt{\frac{SQD}{R-1}}$$

tre os dois solos está ligada provavelmente ao fato de que o solo cultivado apresentou menor intensidade microbrológica atingindo valores 10 vezes inferiores que o solo de floresta (Tabela 3), independente das doses de N utilizadas.

A retenção de N pelo solo está positivamente relacionada com o teor de carbono no solo (TOMAR e SOPER, 1981). Neste caso notou-se esta mesma tendência, uma vez que o solo sob vegetação natural, com alto teor de carbono, estimulou uma maior retenção de N, em relação ao cultivado, que possui um teor de carbono menor e apresentou menor retenção de nitrogênio (Tabela 4). A recuperação total do N adicionado foi estimada somando-se o N recuperado na fração orgânica e mineral. No solo sob vegetação natural, quase todo N adicionado foi recuperado, atingindo cerca de 98% aos 40 dias, com uma média de 81% durante a incubação. No solo cultivado a recuperação foi de 71% aos 30 dias. Resultados semelhantes foram observados por ALLISON (1966) e TOMAR e SOPER (1981).

4.1.2. MINERALIZAÇÃO E IMOBILIZAÇÃO

A imobilização líquida do N durante a incubação não foi observada em ambos os solos, uma vez que a relação C/N dos solos (Tabela 4) manteve-se inferior a 20, o que segundo KANAMORI e YASUDA (1979) é o limite acima do qual ocorrerá imobilização líquida, e valores inferiores, estimulará a mineralização líquida.

Tabela 3 - Atividade dos microrganismos heterotróficos dos solos medida por respirometria (glicose - ^{14}C). (Média de 2 repetições).

Tratamentos	Épocas (dias)		
	17	57	87
	µmoles glicose metabolizada/g solo.hora		
Natural S/N	0,11602	0,11518	0,10715
Natural C/N	0,12601	0,11742	0,10663
Cultivado S/N	0,04107	0,03552	0,03325
Cultivado C/N	0,04089	0,03217	0,02978
			0,02237

Tabela 4 - Teores de carbono (%), relação C/N e pH de 2 solos incubados por 107 dias com 2 doses de N em laboratório. Média de 3 repetições.

Dias	Tratamento	Solo Natural			Solo Cultivado		
		% C	Relação C/N	pH	% C	Relação C/N	pH
0	N ₀	6,54 ± 0,0*	14,94 ± 0,48*	6,7	1,54 ± 0,1*	13,98 ± 1,20*	5,7
	N ₁	6,54 ± 0,0	14,94 ± 0,48	6,7	1,54 ± 0,1	13,98 ± 1,10	5,7
7	N ₀	6,43 ± 0,10	13,79 ± 1,73	6,7	1,28 ± 0,1	12,06 ± 1,60	5,6
	N ₁	6,27 ± 0,30	13,86 ± 1,21	6,7	1,22 ± 0,12	12,14 ± 2,25	5,6
17	N ₀	5,62 ± 0,49	12,63 ± 0,97	6,7	1,31 ± 0,15	11,34 ± 0,86	5,7
	N ₁	5,61 ± 0,25	12,05 ± 1,08	6,7	1,18 ± 0,15	12,16 ± 1,39	5,7
27	N ₀	6,46 ± 0,15	14,24 ± 0,40	6,6	1,38 ± 0,12	14,04 ± 1,32	5,5
	N ₁	6,36 ± 0,26	14,13 ± 1,45	6,6	1,21 ± 0,08	12,49 ± 0,88	5,5
37	N ₀	5,77 ± 0,36	12,19 ± 1,52	6,5	1,24 ± 0,07	10,42 ± 0,52	5,6
	N ₁	5,74 ± 0,21	12,06 ± 0,91	6,5	1,13 ± 0,05	9,10 ± 1,02	5,6
47	N ₀	5,95 ± 0,27	13,29 ± 1,41	6,7	1,06 ± 0,03	9,95 ± 1,66	5,6
	N ₁	5,76 ± 0,11	12,39 ± 2,01	6,7	1,08 ± 0,04	9,78 ± 1,27	5,6
57	N ₀	5,86 ± 0,22	13,01 ± 1,02	6,6	1,14 ± 0,05	10,97 ± 1,80	5,6
	N ₁	5,73 ± 0,23	12,63 ± 0,67	6,6	1,21 ± 0,12	10,98 ± 1,49	5,6
67	N ₀	6,02 ± 0,23	13,72 ± 1,99	5,7	1,15 ± 0,05	8,85 ± 0,41	5,6
	N ₁	5,82 ± 0,16	12,78 ± 0,62	6,7	1,15 ± 0,05	9,64 ± 0,56	5,6
77	N ₀	5,52 ± 0,16	12,09 ± 1,15	6,7	1,17 ± 0,05	9,29 ± 0,49	5,6
	N ₁	5,28 ± 0,09	11,25 ± 0,66	6,7	1,08 ± 0,06	8,48 ± 0,66	5,6
87	N ₀	5,62 ± 0,13	12,09 ± 1,47	6,4	1,29 ± 0,10	11,23 ± 1,11	5,6
	N ₁	5,77 ± 0,13	13,05 ± 0,77	6,4	1,27 ± 0,16	10,13 ± 2,08	5,6
97	N ₀	5,47 ± 0,07	12,75 ± 1,24	6,4	1,20 ± 0,06	10,78 ± 2,12	5,5
	N ₁	5,38 ± 0,11	12,47 ± 0,42	6,4	1,34 ± 0,10	12,20 ± 2,95	5,5
107	N ₀	5,47 ± 0,07	12,02 ± 0,99	6,3	1,09 ± 0,04	11,16 ± 2,73	5,5
	N ₁	5,39 ± 0,11	12,34 ± 0,74	6,3	1,21 ± 0,05	9,96 ± 1,49	5,5

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N-1}}$$

N₁ = 40 Kg N/ha (16,5 µg N-uréia/100g)

desvio padrão (N=3)

Tabela 5 - Evolução de N_2O (desnitrificação) nos solos: ambiente normal - S/fluxo; ambiente anaeróbico - C/fluxo de Hélio. (Média de 2 repetições).

Tratamentos	Época (dias)					
	87		97		107	
	S/fluxo	C/fluxo	S/fluxo	C/fluxo	S/fluxo	C/fluxo
µg de N_2O evoluído/50g solo.dia						
Natural S/N	0	1366	0	53	0	1513
Natural C/N	0	926	0	93	0	1893
Cultivado S/N	0	580	0	1133	0	1000
Cultivado C/N	0	-	0	-	0	740

Nas Figuras 1 e 2 nota-se um aumento dos teores de N mineral durante a incubação no solo sob vegetação natural. Os teores de nitrato na Figura 1, mostraram uma resposta quadrática significativa para ambas doses de N ($r^2 = 0,80^*$ para N_0 , e $r^2 = 0,89^*$ para N_1). Houve uma diferença entre os teores de N utilizados; com a dose de 40 kg N/ha a mineralização foi maior mostrando a contribuição da uréia adicionada para o aumento do N mineralizado. Os teores de amônia (Figura 2) mostraram uma baixa correlação entre doses de N mineral e período de incubação ($r^2 = 0,52^*$ para N_0 e $r^2 = 0,56^*$ para N_1). O N adicionado não afetou a mineralização no caso do amônio. Tanto o teor de nitrato como o de amônio atingiram um pico entre 40 e 50 dias, diminuindo o teor de amônio e aumentando o de nitrato. Verifica-se uma rápida nitrificação do amônio para nitrato, uma vez que os teores de amônio ficou sempre bem abaixo dos teores de nitrato. A partir dos 50 dias, houve pequeno aumento nas doses de nitrato, sugerindo um equilíbrio na mineralização.

Os teores de N mineral no solo cultivado podem ser vistos nas Figuras 3 e 4. Os teores de nitrato (Figura 3) mostraram uma mineralização inferior. A correlação não foi significativa ao nível de 5% ($r^2 = 0,67$ e $r^2 = 0,48$ para N_0 e N_1 respectivamente) entre doses de N mineral e tempo de incubação.

Porém, pode-se notar que há um aumento no teor de nitrato e também verifica-se que na dose de N adicionado

Figura 1 - Teores de nitrato do solo sob vegetação natural incubado por 107 dias, com 0 e 40 kg N/ha. Os pontos representam médias de três repetições.

ppm de NH_4^+

Figura 2 – Teores de amônio do solo sob vegetação natural incubado por 107 dias, com 0 e 40 kg N/ha. Os pontos representam média de três repetições.

(40 kg N/ha) a mineralização foi maior. Os teores de amônio en tretanto, se correlacionaram significativamente com o tempo de incubação ($r^2 = 0,40^*$ e $r^2 = 0,43^*$ para N_0 e N_1 respectivamente), mostrando um aumento aos 37 dias, que coincidiu com o pi co de nitrato, diminuindo a seguir. Aqui também se nota uma rápida transformação do amônio para nitrato. Os dados concor dam com TOMAR e SÓPER (1981).

No solo sob vegetação natural, a mineralização atingiu teores de nitrato bem maiores que o solo cultivado, a tingindo em média 250 ppm e 50 ppm de NO_3 , respectivamente. A nalizando o teor de N orgânico na Figura 5, verificou-se que o solo sob vegetação natural possui "pool" de N orgânico qua se quatro vezes superior ao do solo cultivado, variando em torno de 1.000 ppm (0,1%) para o solo cultivado e 4.000 pmm (0,4%) para o solo natural. Isto parece sugerir que o N orgânico estaria como reservatório potencial para mineralização. Entretanto, verifica-se na prática que o N orgânico do solo não se correlaciona com o teor de N mineral, nem com uma pos sível fonte disponível à planta. Contudo, esta maior minerali^zação no solo sob vegetação natural poderia estar ligada à u ma maior dinâmica do N orgânico, pela intensa atividade micro biológica, conforme verificado na Tabela 3, onde a medida da res piração dos microrganismos do solo, foi quase dez vezes su perior ao do solo cultivado. De fato, BROADBENT (1947) demon strou que um aumento da atividade microbiológica e portanto, na de composição da matéria orgânica do solo, resulta numa maior

Figura 3 - Teores de nitrato do solo cultivado incubado por 107 dias, com 0 e 40 kg N/ha. Os pontos representam média de três repetições.

Figura 4 - Teores de amônio do solo cultivado incubado por 107 dias, com 0 e 40 kg N/ha. Os pontos representam média de três repetições.

mineralização do N. Como no solo cultivado nada foi adicionado, e no solo sob vegetação natural a camada orgânica da superfície do solo foi incorporada ($C/N = 19$), a atividade microbiológica no solo sob vegetação natural foi intensamente estimulada pela grande quantidade de material com energia e de fácil decomposição. Resultados semelhantes foram observados por KANAMORI e YASUDA (1979).

A Figura 5 mostra que os teores de N-orgânico não variaram durante a incubação, mostrando porém, um pequeno declínio do N-orgânico no solo sob vegetação natural, o mesmo acontecendo com o teor de carbono (Tabela 4). Isto pode estar ligado ao fato de que o N-orgânico do solo sob vegetação natural estava suscetível ao ataque microbiológico, o que pela oxidação do carbono e mineralização do N, causou a diminuição dos teores de N orgânico.

Na Figura 2, os teores de nitrato do solo sob vegetação natural, e a diferença entre N_0 e N_1 , não pode ser devida apenas à adição de N-uréia (40 kg N/ha ou 16,5 ppm) onde a diferença atingiu 50 ppm $N-NO_3$. Segundo BROADBENT (1965) e WESTERMAN e KURTZ (1973) isto se relaciona com um efeito "priming" do N-uréia sobre a matéria orgânica do solo, onde a adição de N, estimula uma maior decomposição da matéria orgânica e mineralização do N.

Na Tabela 5 vemos a liberação do N_2O (desnitrificação) nos solos estudados. Foi Feito na fase final e não se detectou perdas de N_2O nas condições normais do experimen-

Figura 5 - Efeito do solo no teor de N-orgânico, independentes da dose de N usadas. Média de 3 repetições. (As linhas verticais representam o desvio padrão $s = \sqrt{SQD/N-1}$).

to; entretanto, quando o solo recebeu um fluxo de $\text{h\acute{e}lio}$, tornando-se um ambiente anaer\u00f3bico, houve uma consider\u00e1vel evolu\u00e7\u00e3o de N_2O . N\u00e3o h\u00e1 dados no in\u00edcio do experimento, e portanto n\u00e3o se pode afirmar que n\u00e3o houve perdas de N_2O nas etapas iniciais, uma vez que BROADBENT e CLARK (1965) afirmam que mesmo em condi\u00e7\u00f5es \u00f3timas no solo, podem ocorrer zonas de anaerobiose, nas quais perdas por desnitrifica\u00e7\u00e3o acontecem. Outra via de perda pode ser a volatiliza\u00e7\u00e3o, que segundo AYANABA e KANG (1975) pode ocorrer simultaneamente durante a hidr\u00f3lise da ur\u00e9ia, sendo que sua recupera\u00e7\u00e3o \u00e9 o resultado l\u00edquido de todas as rea\u00e7\u00f5es.

Na Tabela 4, pode-se ver que o pH dos solos durante a incuba\u00e7\u00e3o foi pouco alterado, mostrando uma diminui\u00e7\u00e3o com o per\u00edodo de incuba\u00e7\u00e3o, podendo ser devido \u00e0 nitrifica\u00e7\u00e3o (BARTHOLOMEW, 1965).

Este estudo mostrou que certas caracter\u00edsticas do solo como: teor de mat\u00e9ria org\u00e2nica, tipo de material adicionado, adi\u00e7\u00e3o de N e atividade microbiana, podem apresentar um importante papel na reten\u00e7\u00e3o de N adicionado no solo (fra\u00e7\u00e3o org\u00e2nica), bem como na mineraliza\u00e7\u00e3o e/ou imobiliza\u00e7\u00e3o do N. Os solos utilizados mostraram uma reten\u00e7\u00e3o m\u00e9dia de N adicionado de 50% no solo sob vegeta\u00e7\u00e3o natural e 15% no cultivado, permanecendo o restante na fra\u00e7\u00e3o mineral. N\u00e3o ocorreu imobiliza\u00e7\u00e3o l\u00edquida nos solos estudados; o solo sob vegeta\u00e7\u00e3o natural apresentou uma mineraliza\u00e7\u00e3o elevada, comparada ao solo cultivado.

4.2. EXPERIMENTO II

4.2.1. CRESCIMENTO E PRODUÇÃO EM SOJA

A produção de matéria seca (folha, caule, vagem e raiz) entre as duas isolinhas nas duas etapas apresentou diferença estatística sendo a planta nodulante superior à planta não nodulante (Tabela 6). O sistema radicular da planta nodulante foi superior na Etapa 1, porém não na Etapa 2. O solo sob vegetação natural estimulou a produção das diferentes partes da planta.

A adição do bagaço de cana afetou negativamente o crescimento de ambas isolinhas, porém na Etapa 2 a produção de vagem foi significativamente maior com adição de bagaço o que não ocorreu na Etapa 1.

O nitrogênio aplicado mostrou maior efeito na Etapa 1, durante a fase de maior imobilização do N sendo que a planta nodulante mostrou uma menor resposta ao N aplicado. Segundo DEIBERT *et alii* (1979), esta pequena resposta pode ser devida à fixação biológica do N_2 , pois uma vez que a nodulação estava bem estabelecida, o N fornecido pela fixação deve ter sido suficiente para a produção de matéria seca e produção de vagem. Nos Quadros 3a e 3b do Apêndice, podem ser vistos as interações entre solo, nitrogênio e bagaço de cana, nas Etapas 1 e 2, respectivamente.

Materiais orgânicos com alta relação C/N apli-

Tabela 6 - Análise fatorial dos tratamentos na produção de massa em soja em ambas as Etapas do Experimento II.

	Etapa 1 (g/pl)				Etapa 2 (g/pl)			
	Folha	Caule	Vagem	Raiz	Folha	Caule	Vagem	Raiz
Média de Isolinhas								
Nodulante	5,10a	2,70a	-	2,75a	3,15a	1,71a	2,12a	0,86
Não nodulante	2,82b	1,37b	-	1,66b	2,23b	1,39b	0,47b	0,83
dms (1%)	0,48	0,26	-	0,29	0,34	0,14	0,15	-
Média de Solos								
Natural	4,68a	2,33a	1,89	2,67a	2,94a	1,84a	1,51a	1,07a
Cultivado	3,27b	1,73b	1,76	1,73b	2,44b	1,24b	1,08b	0,63b
dms (1%)	0,48	0,26	-	0,29	0,34	0,14	0,15	0,12
Média de Nitrogênio								
No	3,71b	1,88b	1,56b	2,01	2,90	1,56	1,21	0,84
N ₁	3,80ab	2,00ab	1,91a	2,30	2,59	1,58	1,32	0,86
N ₂	4,37a	2,21a	2,01a	2,30	2,60	1,50	1,35	0,84
dms (1%)	0,53(5%)	0,37	0,27	-	-	-	-	-
Média de Matéria Orgânica								
+ M.O.	3,05b	1,46b	1,22b	1,89b	2,21b	1,15b	1,37a	0,67b
- M.O.	4,87a	2,60a	2,44a	2,52a	3,17a	1,94a	1,22b	1,02a
dms (1%)	0,48	0,26	0,39	0,29	0,34	0,14	0,15(5%)	0,12
CV%	19,2	20,7	14,1	21,1	20,0	14,5	24,9	18,7

+ M.O. - 20 ton/ha de bagaço de cana.

N₁ e N₂ - 40 e 80 Kg ¹⁵N - uréia/ha.

cados ao solo, imobilizam o nitrogênio, bem como outros elementos do solo (QUILT e DALAL, 1979). No nosso caso os solos que receberam a adição de bagaço de cana, tiveram seus teores de nitrogênio mineral diminuído drasticamente aos 15 dias (Tabela 16) porém após os 55 dias foi observada a mineralização do nitrogênio mineral, tornando disponível o N do solo para a planta. As plantas crescidas em solo sem adição de bagaço, tiveram um fornecimento de N do solo e da fixação, no caso das plantas noduladas. As plantas não nodulantes, totalmente dependentes do N do solo, foram seriamente afetados pela imobilização quando o solo recebeu a incorporação do bagaço, mostrando neste caso, alguma resposta à aplicação de N, principalmente na Etapa 1. Os teores de N mineral do solo sob vegetação natural foram superiores ao solo cultivado, favorecendo assim um maior crescimento e produção de vagem, principalmente na Etapa 1, onde a imobilização do N foi drástica; porém, esse efeito foi amenizado na Etapa 2, uma vez que a mineralização já havia iniciado na ocasião do plantio na Etapa 2.

Mesmo as plantas nodulantes, que possuem um suprimento de N através da fixação biológica, sofreram um efeito negativo da adição de bagaço.

Segundo HATFIELD *et alii* (1974) e GIBSON (1976) as plantas de soja requerem uma fonte externa de N até o início da fixação de N_2 , a qual estimula o crescimento inicial da planta e formação de nódulos. Neste caso, a falta de nutrientes causada pela imobilização prejudicou o crescimento i

inicial da soja e afetou negativamente a nodulação da Etapa 1 (Tabela 7a), e portanto a soja nodulante apresentou crescimento e produção inferiores quando se adicionou bagaço.

As doses de N utilizadas (40 e 80 kg N/ha), não mostraram um efeito marcante sobre o crescimento e produção da soja (Quadros 3a e 3b). Segundo vários autores (WEBER, 1966; PAL e SAXENA, 1975; BHANGHOO e ALBRITTON, 1978; SORENSON e PENAS, 1978), somente doses elevadas de N promovem um acrêscimo no crescimento e produção da soja. Neste trabalho, verificou-se que nessas doses de N aplicadas, um pequeno efeito foi obtido, e somente quando se adicionou o bagaço, devido à intensa imobilização de nutrientes, principalmente do N.

4.2.2. NODULAÇÃO E ATIVIDADE DOS NÓDULOS

No Experimento II, foram obtidos pesos de nódulos com mais de 800 mg na planta (cerca de 3 gramas de peso fresco por planta), indicando uma boa produção de massa nodular superior à média obtida por outros autores (Tabelas 7a e 7b). Na Etapa 1, a nodulação (peso) foi negativamente influenciada pela adição de bagaço; esse efeito tem uma possível explicação pelo fato já mencionado, de que a intensa imobilização do N mineral bem como de outros nutrientes, fizeram com que o desenvolvimento inicial dos nódulos fosse prejudicado. As doses baixas de N (40 kg N/ha) parece não prejudicar a nodulação em vaso; para as doses altas (80 kg N/ha) prejudica-

Tabela 7a - Efeito da adição de bagaço de cana e fertilizante nitrogenado no peso seco de nódulos e atividade da nitrogenase em solo sob vegetação natural e cultivado. Média de três repetições. Etapa 1.

Solo	nódulos g/pl		μmoles C ₂ H ₄ /pl.		μmoles C ₂ H ₄ /g.h.		
	-MO	+MO	-MO	+MO	-MO	+MO	
Natural	N ₀	0,809	0,526	15,41	10,58	19,17	20,68
	N ₁	0,812	0,551	15,00	10,17	16,78	19,21
	N ₂	0,589	0,539	17,54	10,08	31,34	18,40
	Média	0,737a	0,538b	16,05	10,28	22,43	19,43
Cultivado	N ₀	0,726	0,497	5,97	6,45	8,64	13,17
	N ₁	0,783	0,515	15,96	9,62	20,18	18,79
	N ₂	0,593	0,654	10,19	14,14	22,49	21,73
	Média	0,700a	0,555b	10,71	10,07	17,10	17,89
CV %	23,5%		51,3(ns)		54,4(ns)		

+MO corresponde a 20 ton/ha de bagaço de cana
N₀, N₁ e N₂ correspondem a 0, 40 e 80 Kg N/ha, respectivamente.

Tabela 7b - Efeito da adição de bagaço de cana e fertilizante nitrogenado no peso seco de nódulos e atividade da nitrogenase em solo sob vegetação natural e cultivado. Média de três repetições. Etapa 2.

Solo	nódulos g/pl		$\mu\text{moles C}_2\text{H}_4/\text{pl.h}$		$\mu\text{moles C}_2\text{H}_4/\text{g.h}$	
	-MO	+MO	-MO	+MO	-MO	+MO
Natural	N ₀	0,439n.s.	0,323n.s.	8,33	5,30	18,96n.s.
	N ₁	0,390	0,397	7,29	7,38	18,07
	N ₂	0,387	0,384	4,76	5,10	17,87
	Média	0,405b	0,368b	7,58	5,92	18,30a
Cultivado	N ₀	0,436n.s.	0,460n.s.	3,95	4,23	6,44n.s.
	N ₁	0,425	0,439	5,49	4,26	13,51
	N ₂	0,420	0,528	3,53	8,43	8,27
	Média	0,427a	0,476a	4,32	5,71	9,41b
CV %		15,9%		46,2%(ns)		44,0%

+MO corresponde a 20 ton/ha de bagaço de cana

N₀, N₁ e N₂ correspondem a 0, 40 e 80 Kg N/ha, respectivamente.

ram a nodulação principalmente na Etapa 1 no solo sob vegetação natural. Entretanto, na Etapa 2, como a imobilização já não era tão drástica, a adição de bagaço não afetou a nodulação, porem ocorreu um efeito de solo com a adição de bagaço.

Foi observado no solo cultivado em ambas as Etapas, um efeito benéfico do N mineral na nodulação, principalmente em solo cultivado sob processo de imobilização de N.

As atividades da nitrogenase nas Tabelas 7a e 7b ($\mu\text{moles C}_2\text{H}_4/\text{g} \cdot \text{h}$ e $\mu\text{moles C}_2\text{H}_4/\text{planta} \cdot \text{h}$), mostraram que o N mineral não prejudicou o funcionamento dos nódulos, tendo sido encontradas na maioria dos tratamentos, respostas positivas da nodulação ao N adicionado, principalmente na Etapa 1.

Estes resultados reforçam a idéia de que o processo da imobilização de um solo com adição de material rico em carbono, não favorece o desenvolvimento da planta em si, principalmente em um solo com baixo teor em N (solo sob cultivo). Neste caso, qualquer adição de N proporciona respostas positivas na planta e nodulação. Com a liberação de nutrientes e entre eles, o nitrogênio, os teores de N mineral no solo se tornam não limitantes à planta, e portanto, em ambos os solos, os tratamentos sem a adição de N e bagaço promoveram uma boa formação de nódulos.

4.2.3. ABSORÇÃO DE NUTRIENTES

A concentração de N nas plantas é mostrada nas Tabelas 8 e 9 e os dados de interação nos Quadros 4a e 4b do Apêndice.

Podemos verificar que os teores de N na folha e caule em porcentagem foram superiores na soja nodulante, no solo sob vegetação natural e sem a adição de bagaço na Etapa 1. Na Etapa 2 não houve resposta quanto à adição de bagaço para produção de folhas e caule.

As respostas ao N aplicado não foram significativas em ambas as Etapas. A absorção total de N (Tabela 9) mostrou a mesma tendência. As plantas nodulantes foram sempre superiores quanto ao teor de N total em todas as partes analisadas. O solo sob vegetação natural promoveu um maior acúmulo de N total em todas as partes analisadas e a adição de bagaço de cana diminuiu o total acumulado. O N aplicado não afetou os teores de N total nas partes analisadas; entretanto, o teor de N total na vagem da Etapa 1, mostrou uma resposta ao N aplicado na dose de 80 kg N/ha.

A absorção de N total nas plantas nodulantes excederam à isolinha não nodulante em todos os parâmetros analisados. Segundo outros autores (WEBER, 1966; DEIBERT *et alii*, 1979; RUSCHEL e RUSCHEL, 1975) isto indica que o nitrogênio via fixação é mais desejável para a planta que o nitrogênio de outras fontes em baixas doses, apesar da energia requerida para a redução de N_2 para NH_3 , ser maior ou igual à necessária

Tabela 8 - Análise fatorial dos tratamentos em relação à concentração de N em soja, em ambas as Etapas do Experimento II.

	Etapa 1 (N%)			Etapa 2 (N%)		
	Folha	Caule	Vagem	Folha	Caule	Vagem
Média de Isolinhas						
Nodulante	2,09a	1,37a	-	3,18a	1,35a	3,16a
Não Nodulante	0,84b	0,23b	-	2,05b	0,39b	1,91b
dms (1%)	0,10	0,07	-	0,17	0,11	0,15
Média de Solos						
Natural	2,07a	0,84a	3,35	2,72a	0,83	2,65a
Cultivado	1,68b	0,75b	2,80	2,51b	0,91	2,40b
dms (1%)	0,10	0,07	-	0,17	-	0,15
Média de Nitrogênio						
N ₀	1,87	0,80	3,22	2,61	0,88	2,57
N ₁	1,89	0,81	3,01	2,56	0,83	2,54
N ₂	1,84	0,79	2,92	2,67	0,89	2,49
dms (1%)	-	-	-	-	-	-
Média de Matéria Orgânica						
+ M.O.	1,79b	0,72b	2,78b	2,66	0,92	2,67a
- M.O.	1,96a	0,87a	3,38a	2,57	0,81	2,40b
dms (1%)	0,10	0,07	0,56	-	-	0,15
CV %	8,6	13,9	8,6	10,0	19,9	9,1

+ M.O. - 20 ton/ha de bagaço de cana.

N₁ e N₂ - 40 e 80 Kg ¹⁵N-urêia/ha.

Tabela 9 - Análise fatorial dos tratamentos em relação ao acúmulo de N em soja em ambas as Etapas do Experimento II.

	Etapa 1 (mg N/pl.)			Etapa 2 (mg N/pl.)		
	Folha	Caulo	Vagem	Folha	Caulo	Vagem
Média de Isolinhas						
Nodulante	148,33a	37,44a	-	100,15a	22,99a	64,88a
Não Nodulante	29,08b	3,55b	-	45,26b	5,27b	10,27b
dms (1%)	11,89	3,78	-	8,40	2,80	6,48
Média de Solos						
Natural	101,83a	22,52a	62,67a	80,58a	15,34a	43,89a
Cultivado	75,59b	18,47b	55,71b	64,82b	12,92b	31,27b
dms (1%)	11,89	3,78	6,01	8,40	2,09(5%)	6,5
Média de Nitrogênio						
No	85,09	19,60	51,29b	76,04	14,64	33,46
N ₁	87,49	20,90	61,89b	69,86	13,75	39,57
N ₂	93,54	20,99	64,39a	72,20	13,99	39,92
dms (1%)	-	-	12,33	-	-	-
Média de Matéria Orgânica						
+ M.O.	70,72b	13,89b	40,49b	61,98b	12,47b	39,84
- M.O.	106,70a	27,11a	77,40a	83,43a	15,79a	35,32
dms (1%)	11,89	3,78	6,01	8,4	2,8	-
CV %	21,2	29,2	14,4	18,2	31,3	27,2

+ M.O. - 20 ton/ha de bagaço de cana.

N₁ e N₂ - 40 e 80 Kg ¹⁵N-uréia/ha.

para absorção do NO_3^- e subsequente redução a NO_2^- .

Quando o N mineral do solo foi drasticamente reduzido pela incorporação do bagaço, a isolinha não nodulante foi marcadamente afetada pela falta de N, e mesmo a adição de N não conseguiu anular esse efeito (Quadros 5a e 5b ao Apêndice).

A imobilização promoveu uma diminuição de N total mesmo nas plantas nodulantes, sugerindo uma possível restrição de outros elementos com o P e S, que possam porventura apresentar interações com N.

O teor de N nas vagens não foi afetado pelas doses de N utilizadas. Os mesmos resultados foram obtidos por WILLIAMSON e DIATLOFF (1979) e DEIBERT *et alii* (1979), sugerindo que a fixação biológica de N_2 supre com suficientes quantidades de N para a planta.

Isto não quer dizer que a planta não necessita de doses de arranque de N, suplementadas no período de início do crescimento da soja, quando o processo biológico ainda é incipiente. Efeitos sinérgicos de baixas doses de N mineral estimulando a fixação de N_2 em soja foram também observados por RUSCHEL e RUSCHEL (1975) e GIBSON (1976).

A atividade da redutase do nitrato (ARN-ase) responsável pela redução de NO_3^- a NO_2^- pode ser vista e analisada na Tabela 12; a atividade específica foi superior nas plantas não nodulantes devido à concentração nas folhas pelo menor crescimento, uma vez que a atividade total foi maior nas

plantas nodulantes. Segundo RUSCHEL *et alii* (1979), esse potencial da isolinha nodulante em absorver mais NO_3^- é maior que a não nodulante. Os dados estão de acordo com HARPER (1974).

Na Etapa 1 aplicações de 80 kg/ha estimularam as atividades específicas e total da enzima, sugerindo que a planta utilizou o N adicionado quando houve a imobilização do N mineral, e prejuízo da nodulação. Também RUSCHEL *et alii* (1979), encontraram resposta da atividade da enzima ao N aplicado.

No Quadro 8 do Apêndice podemos ver as interações entre os diferentes tratamentos.

A adição do bagaço de cana afetou negativamente as atividades totais da enzima (Tabela 12) que é devido à imobilização do N no solo, reduziu a quantidade de N mineral e portanto, diminuiu a absorção de N.

Também o solo pode influenciar na atividade da enzima; o solo sob vegetação natural, com um teor de nitrato mais elevado que o solo cultivado (Tabela 16), apresentou uma atividade total enzimática bem mais elevada (6,4 $\mu\text{moles NO}_2^-/\text{planta} \cdot \text{h}$ e 4,6 $\mu\text{moles NO}_2^-/\text{planta} \cdot \text{h}$, respectivamente).

Os teores de P e S (%) na parte aérea mostraram uma concentração nas plantas não nodulantes ou quando o solo recebeu a adição de matéria orgânica. Isto sugere que o menor desenvolvimento da planta fez com que os elementos se concentrassem na parte aérea.

A análise fatorial do P e S total mostrou um efeito da adição da matéria orgânica sobre o acúmulo de P e S em ambas as Etapas (Tabela 10).

Na Etapa 2, os teores de P e S totais foram iguais em ambos os solos. Contudo o crescimento vegetativo foi maior no solo sob vegetação natural. Isto poderia ter acarretado um desbalanço nutricional, prejudicando o desenvolvimento da planta.

Segundo GIBSON (1976) e GATES e MÜLLER (1979) o P e o S aumentam a nodulação e qualquer desbalanço pode afetar o metabolismo e conseqüentemente a nodulação. Os teores de P e S totais nas plantas não nodulantes do solo cultivado foi inferior a todos os tratamentos, porém, nas plantas nodulantes os teores de P e S totais chegaram a um nível razoável, mostrando uma ligeira resposta ao N.

Nos Quadros 6a e 6b do Apêndice podemos verificar as interações entre os tratamentos, quanto aos teores de P e S.

Nas vagens (Quadros 7a e 7b do Apêndice), os teores de P e S (%) foram constantes em todos os tratamentos da Etapa 1. Na Etapa 2, as plantas não nodulantes mostraram uma concentração maior desses elementos na vagem, sugerindo que nesta Etapa houve uma maior translocação para as vagens.

Na Etapa 2 houve um efeito da adição da matéria orgânica no solo (Tabela 11) e quando o bagaço foi incorporado às plantas apresentaram maior teor de P e S total, o que não aconteceu na Etapa 1. Uma possível explicação é o efeito diluição.

Tabela 10 - Análise fatorial dos tratamentos no acúmulo de P e S total na parte aérea (folha + caule) de soja, em ambas as Etapas do Experimento II. (Média de três repetições).

	Etapa 1		Etapa 2	
	P total(mg/pl.)	S total(mg/pl.)	P total(mg/pl.)	S total(mg/pl.)
Média de Isolinas				
Nodulante	7,59	20,27a	6,71b	14,30
Não Nodulante	7,43	16,52b	8,36a	15,20
dms (1%)	-	2,40	0,94	-
Média de Solos				
Natural	9,10a	21,04a	7,89a	15,05
Cultivado	5,91b	15,85b	7,16b	14,37
dms (1%)	0,96	2,40	0,71(5%)	-
Média de Nitrogênio				
N ₀	7,31ab	17,06b	7,60	17,24
N ₁	6,98b	17,88b	7,69	15,10
N ₂	8,24a	20,40a	7,32	14,28
dms (1%)	1,06 (5%)	2,65	-	-
Média de Matéria Orgânica				
+ M.O.	5,57b	13,96b	5,67b	11,96b
- M.O.	9,44a	22,93a	9,40a	17,45a
dms (1%)	0,96	2,40	0,94	1,65
CV %	20,1	20,6	19,7	17,7

+ M.O. - 20 ton/ha de bagaço de cana.

N₁ e N₂ - 40 e 80 Kg ¹⁵N-uréia/ha.

Tabela 11 - Análise fatorial dos tratamentos no acúmulo de P e S total na vagem de soja em ambas as Etapas do Experimento II.

	Etapa 1		Etapa 2	
	P total(mg/pl.)	S total(mg/pl.)	P total(mg/pl.)	S total(mg/pl.)
Média de Solo				
Natural	4,77a	4,52	5,09	4,58
Cultivado	3,84b	4,40	4,60	4,80
dms (1%)	1,14	n.s.	-	-
Média de Nitrogênio				
No	3,88	3,86b	4,79	4,48
N1	4,37	4,56ab	5,06	4,93
N2	4,67	4,96a	4,69	4,67
dms (1%)	n.s.	0,81	-	-
Média de Matéria Orgânica				
+ M.O.	4,08b	2,60b	5,56a	5,13a
- M.O.	5,52a	5,81a	3,14b	4,26b
dms (%)	1,14	1,15	1,21	1,33
CV %	18,3	17,7	17,2	16,2

+ M.O. 20 ton/ha de bagaço de cana.

N₁ e N₂ respectivamente 40 e 80 ¹⁵N-urêia/ha.

As plantas não nodulantes não produziram vagens na Etapa 1.

Tabela 12 - Análise fatorial dos tratamentos da atividade da redutase do nitrato em folhas de soja, em ambas as Etapas do Experimento II.

	Etapa 1		Etapa 2	
	$\mu\text{moles NO}_2^-/\text{g.h}$	$\mu\text{moles NO}_2^-/\text{pl.h.}$	$\mu\text{moles NO}_2^-/\text{g.h}$	$\mu\text{moles NO}_2^-/\text{pl.h.}$
Média de Isolinhas				
Nodulante	0,39b	7,56a	0,51	4,73a
Não Nodulante	0,41a	3,43b	0,58	3,39b
dms (1%)	0,02	0,72	-	0,66
Média de Solos				
Natural	0,39	6,44a	0,58	4,97a
Cultivado	0,41	4,57b	0,52	3,18b
dms (1%)	-	0,72	-	0,66
Média de Nitrogênio				
N ₀	0,41a	5,28ab	0,52	3,88
N ₁	0,38b	5,06b	0,53	3,95
N ₂	0,40a	6,17a	0,59	4,39
dms (1%)	0,02	1,01	-	-
Média de Matéria Orgânica				
+ M.O.	0,39b	4,25b	0,56	3,52b
- M.O.	0,41a	6,76a	0,54	4,63a
dms (1%)	0,02	0,72	-	0,66
CV %	6,6	20,8	20,8	25,7

+ M.O. - 20 ton/ha de bagaço de cana.

N₁ e N₂ respectivamente 40 e 80 Kg ¹⁵N-urêia/ha.

Neste experimento, as doses de N aplicadas não aumentaram os teores de P e S na vagem, fato também encontrado por WILLIAMSON e DIATLOFF (1975) e BARNI *et alii* (1977).

4.2.4. DISTRIBUIÇÃO DE N EM SOJA NODULANTE E NÃO NODULANTE

Na Tabela 13a a análise dos dados nos mostra o nitrogênio derivado do fertilizante (NDDF), solo e fixação.

A porcentagem de NDDF aumentou o aumento das doses de N; porém a porcentagem derivada da fixação manteve-se constante, e ocorreu uma conseqüente diminuição do nitrogênio proveniente do solo. De fato, na Tabela 16 verificou-se que a adição de nitrogênio no solo, aumentou os teores de N mineral. Embora a porcentagem de NDDF foi maior na soja não nodulante, o N total (mg N/planta) derivado do fertilizante foi similar entre as isolinhas, o mesmo acontecendo com o N derivado do solo. Também DEIBERT *et alii* (1979) encontraram os mesmos resultados.

Plantas crescidas em solo cultivado foram mais dependentes do N fixado, chegando a 89% sem adição do bagaço de cana e 99% com a adição do bagaço de cana na Etapa 1, entretanto, a quantidade de N (mg N/planta) proveniente da fixação foi similar em ambos os solos. A intensa imobilização do N do solo fez com que a fixação fosse a principal fonte de N para as plantas; porém, o desenvolvimento foi afetado, e a

quantidade de N na planta foi inferior com a adição de bagaço. Já na Etapa 2, o N do solo já mineralizado, substituiu principalmente parte do N fixado (Tabelas 13a, 13b e 13c).

A adição de matéria orgânica aumentou o N derivado da fixação, passando de 78% para 88% na Etapa 1, e 54% para 71% na Etapa 2 (Tabela 13c). Entretanto, as quantidades de N fixadas foram menores na Etapa 1 e maiores na Etapa 2, indicando que o processo de imobilização não favorece a fixação de N_2 .

Também WEBER (1966b) e KOHL *et alii* (1980) encontraram que a adição de material carbonáceo no solo, aumenta o nitrogênio fixado simbioticamente. Porém, esse aumento não corresponde necessariamente a um aumento do N total fixado.

As doses de N apenas afetaram as porcentagens de NDDF e N do solo, porém não afetaram o N proveniente da fixação em ambas Etapas, tanto no percentual quanto no total acumulado.

As plantas não nodulantes tiveram como principal fonte de N, o solo; a imobilização do N mineral causou drástica redução do N total proveniente do solo principalmente na Etapa 1, quando ocorreu máxima imobilização, enquanto na Etapa 2, o efeito da adição de bagaço de cana, apesar de presente, foi amenizado.

Na Etapa 1 o N fixado pela soja nodulante no solo cultivado chegou a uma média de 91% enquanto o solo sob vegetação natural atingiu 75%. Entretanto a quantidade de N

Tabela 13a - Análise fatorial dos tratamentos no nitrogênio da planta (caule + folhas) derivado do fertilizante, da fixação e do solo, em ambas as Etapas do Experimento II.

	Etapa 1						Etapa 2					
	%			mg/pl.			%			mg/pl.		
	NDDF	N Fixado	N Solo	NDDF	N Fixado	N Solo	NDDF	N Fixado	N Solo	NDDF	N Fixado	N Solo
Média de Isolinhas												
Nodulante	2,06b	-	15,53b	4,43	-	31,56	1,84b	-	36,47b	2,36	-	47,38
Não Nodulante	11,20a	-	92,53a	3,84	-	30,09	5,44a	-	96,37a	2,53	-	48,83
dms (1%)	1,26	-	2,09	-	-	-	0,92	-	4,86	-	-	-
Média de Solo												
Natural	5,47b	74,92b	58,98a	4,87a	147,48	47,39a	2,80b	53,29b	71,84a	2,43	64,93b	62,70a
Cultivado	7,79a	91,28a	49,08b	3,41b	155,09	14,25b	4,48a	72,07a	61,00b	2,47	85,87a	33,51b
dms (1%)	1,26	-	1,57(5%)	1,05	-	6,30	0,92	16,27	4,86	-	8,80	8,81
Média de Nitrogênio												
N ₀	-	85,71	57,12a	-	152,23	28,58	-	57,25	71,40a	-	72,01	55,20a
N ₁	4,03b	82,81	54,43b	2,51b	149,22	31,28	2,87b	64,10	62,25ab	1,89b	73,51	46,28ab
N ₂	9,23a	80,78	50,54c	5,70a	152,40	32,61	4,41a	66,68	62,61b	3,01a	80,68	42,83b
dms (1%)	1,26	-	2,92	1,05	n.s.	-	0,92	-	6,79	1,05	-	9,74(5%)
Média de Matéria Orgânica												
+ M.O.	4,45b	87,76a	53,07b	1,51b	126,47b	20,37b	2,59b	71,19a	62,70b	1,13b	80,84a	34,14b
- M.O.	8,81a	78,44b	54,99a	6,76a	176,09a	41,27a	4,69a	54,16b	70,15a	3,77a	69,96b	62,07a
dms (1%)	1,26	8,70	2,09	1,05	36,71	6,30	0,92	16,27	4,86	1,05	8,80	8,81
CV %	23,9	5,7	6,1	12,1	16,7	12,3	31,7	17,9	11,6	14,1	20,2	18,9

+ M.O. - 20 ton/ha de bagaço de cana.

N₁ e N₂ - 40 e 80 Kg ¹⁵N-urêia/ha respectivamente.

Tabela 13b - Nitrogênio derivado do fertilizante (NDDF), da fixação (N fixado) e do solo (N solo) em soja nodulante e não nodulante (parte aérea). Média de três repetições (Etapa 1).

Isolinha	Solo	Sem Matéria Orgânica			Com Matéria Orgânica			Sem Matéria Orgânica			Com Matéria Orgânica		
		%			%			mg/pl			mg/pl		
		NDDF	N Fixado	N Solo	NDDF	N Fixado	N Solo	NDDF	N Fixado	N Solo	NDDF	N Fixado	N Solo
Nodulante	N ₀	-	76,56	23,43	-	77,71	22,24	-	182,37	52,70	-	132,88	38,08
	N ₁	2,27	70,29	27,43	0,78	78,58	20,63	5,22	151,95	62,99	1,30	131,82	34,24
	N ₂	4,45	67,99	28,77	0,19	78,33	19,70	10,31	156,17	63,93	3,22	129,65	32,48
	N ₀	-	89,07	10,92	-	99,48	0,51	-	187,86	23,01	-	105,80	0,54
	N ₁	1,71	85,94	12,34	0,13	96,42	3,43	3,89	194,10	27,99	0,17	119,00	4,29
	N ₂	4,56	80,75	14,68	0,61	96,02	3,35	10,39	184,09	33,44	0,91	139,67	4,96
Não Nodulante	N ₀	-	-	100,00	-	-	100,00	-	-	52,70	-	-	38,08
	N ₁	7,65	-	92,34	3,66	-	96,33	4,29	-	52,27	1,60	-	42,30
	N ₂	13,90	-	86,09	9,03	-	90,96	8,29	-	51,77	4,67	-	47,13
	N ₀	-	-	100,00	-	-	100,00	-	-	23,01	-	-	0,54
	N ₁	12,21	-	87,78	3,82	-	96,17	3,55	-	25,46	0,25	-	0,62
	N ₂	23,72	-	76,27	15,55	-	84,44	8,10	-	25,99	0,18	-	1,12

Tabela 13c - Nitrogênio derivado do fertilizante (NDDF), da fixação (N fixado) e do solo (N solo) em soja nodulante e não nodulante (parte aérea). Média de três repetições. (Etapa 2).

Isotinha	Solo	Sem Matéria Orgânica				Com Matéria Orgânica				Sem Matéria Orgânica				Com Matéria Orgânica			
		%		%		%		%		%		%		%		%	
		NDDF	N Fixado	N Solo	NDDF	N Fixado	N Solo	NDDF	N Fixado	N Solo	NDDF	N Fixado	N Solo	NDDF	N Fixado	N Solo	NDDF
Nodulante	Natural	N ₀	-	42,33	57,66	-	53,44	46,52	-	67,26	88,67	-	54,77	47,08	-	54,77	47,08
		N ₁	1,39	58,11	41,88	0,94	40,97	58,08	1,93	69,19	56,01	1,16	49,70	82,34	1,16	49,70	82,34
		N ₂	2,82	64,62	35,37	1,21	60,21	38,56	3,66	74,08	42,11	1,45	74,55	45,94	1,45	74,55	45,94
	Cultivado	N ₀	-	42,24	57,75	-	90,97	9,29	-	57,68	78,87	-	108,40	10,44	-	108,40	10,44
		N ₁	2,75	66,76	30,47	0,39	90,53	9,06	3,52	84,58	38,93	0,41	90,54	9,41	0,41	90,54	9,41
		N ₂	4,42	50,90	44,67	0,77	90,96	8,26	5,85	67,05	59,09	0,90	107,04	9,64	0,90	107,04	9,64
Não Nodulante	Natural	N ₀	-	-	100,00	-	-	100,00	-	-	88,67	-	-	47,08	-	-	47,08
		N ₁	3,32	-	96,67	1,59	-	98,40	2,35	-	69,26	0,91	-	55,64	0,91	-	55,64
		N ₂	8,00	-	91,80	3,09	-	96,90	5,97	-	67,80	1,98	-	61,75	1,98	-	61,75
	Cultivado	N ₀	-	-	100,00	-	-	100,00	-	-	70,34	-	-	10,44	-	-	10,44
		N ₁	8,38	-	91,61	4,18	-	95,81	4,22	-	30,83	0,55	-	12,36	0,55	-	12,36
		N ₂	6,36	-	93,63	8,56	-	91,44	2,63	-	38,79	1,62	-	17,53	1,62	-	17,53

total da soja nodulante no solo sob vegetação natural foi bem maior que a soja não nodulante. Segundo DEIBERT *et alii* (1974); RUSCHEL *et alii* (1979) isto indica que as plantas nodulantes que possuem uma fonte externa de N, mostram um efeito sinérgico entre o N fixado, N do solo e N do fertilizante. De fato na Tabela 16 vemos que o solo sob vegetação natural possuía maior quantidade de N mineral que aliado à fixação simbiótica fez com que o N total da soja nodulante fosse bem maior que o da não nodulante.

Já na Etapa 2, o N fixado no solo cultivado foi em média 72 e no solo natural 53% mostrando o mesmo efeito sinérgico.

A diferença entre o N fixado nas Etapas 1 e 2 pode ser explicada pelo fato de que o N mineral na Etapa 2 era maior (Tabela 16 aos 40 dias) e uma maior porcentagem de N do solo ficou disponível à planta, aumentando assim a contribuição do N do solo e diminuindo a contribuição do N da fixação.

As baixas respostas do N aplicado podem ser atribuídas ao fato de que as quantidades de N adicionadas, de até 80 kg N/ha (dose média), apesar de terem alterado os teores de N mineral nos solos, foram suficientes para permitir um arranque, sem prejudicar a fixação de N₂ ou alterar as quantidades de N fixadas. Porém as doses de N aplicadas alteraram o NDDF e o N do solo.

Nesse caso, o solo forneceu quantidades sufi-

cientes de N mineral, que junto com o N da fixação foram suficientes para um bom desenvolvimento da planta, independentes das doses de N adicionadas.

A eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado (EUFN) na parte aérea, mostrou uma resposta ao solo utilizado e ao bagaço (Tabelas 15a e 15b).

Embora as diferenças não tenham sido significativas entre as isolinhas de soja, as plantas nodulantes mostraram melhor utilização do N fertilizante, atingindo 20% no solo sob vegetação natural e 17% no solo cultivado na Etapa 1.

A adição de bagaço de cana reduziu drasticamente a eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado (Tabela 15a), mesmo após o período de imobilização.

Na Etapa 2, a EUFN (Eficiência de Utilização do Fertilizante Nitrogenado) foi menor, possivelmente devido a incorporação do N adicionado em compostos orgânicos ou a perdas não mensuradas, conforme mostrado no Experimento I, sendo que a planta passou a utilizar outra fonte de N do solo.

Na Tabela 14a podemos ver que o solo e a matéria orgânica, influíram no acúmulo de N na vagem na Etapa 1 principalmente o N proveniente do solo. Em condições de imobilização, a contribuição do N do solo se torna vital para a planta, e daí se evidencia a importância do "status" do N do solo para o crescimento da planta. Nessas condições, O N mineral adicionado não chegou a influir nos resultados de fixação. Já após 40 dias, o efeito da adição de matéria orgânica

Tabela 14a Análise fatorial na vagem dos tratamentos com relação ao nitrogênio derivado do fertilizante, solo e fixação, em ambas as Etapas do Experimento II.

	Etapa 1						Etapa 2					
	%			mg/pl.			%			mg/pl.		
	NDDF	N Fixado	N Solo	NDDF	N Fixado	N Solo	NDDF	N Fixado	N Solo	NDDF	N Fixado	N Solo
Média de Isolinhas												
Nodulante	-	-	-	-	-	-	0,89b	-	17,00b	0,63a	-	12,17a
Não Nodulante	-	-	-	-	-	-	6,11a	-	95,93a	0,43b	-	10,09b
dms (1%)	-	-	-	-	-	-	0,39	-	2,76	0,16(5%)	-	1,80(5%)
Média de Solos												
Natural	1,05a	69,03b	29,92a	0,79a	45,46b	22,28a	2,09b	73,77b	61,72a	0,64	50,44b	18,25a
Cultivado	0,77b	92,45a	6,78b	0,53b	52,56a	4,60b	4,90a	91,04a	51,21b	0,43	59,87a	4,01b
dms (1%)	0,20	9,46	8,32	0,20	6,90	3,68	0,39	6,34	2,76	-	4,20	2,40
Média de Nitrogênio												
N ₀	-	-	-	-	-	-*	-	86,19a	56,90	-	56,90	8,29b
N ₁	0,56b	80,77	18,67	0,44b	46,91	14,54	2,45b	79,27b	57,91	0,38	54,60	12,82a
N ₂	1,26a	80,17	18,03	0,88a	51,18	12,34	4,55a	81,76ab	54,57	0,68a	53,96	12,30a
dms (1%)	0,53	-	-	0,34	-	-	0,39	6,34(5%)	-	0,22	-	3,35
Média de Matéria Orgânica												
+ M.O.	0,41b	86,24a	13,36b	0,22b	38,85b	6,92b	2,76b	81,37	51,48	0,45b	56,77	13,36a
- M.O.	1,41a	75,24b	25,35a	1,11a	59,24a	19,96a	4,24a	83,44	55,45	0,61a	53,54	8,90b
dms (1%)	0,20	9,46	8,32	0,20	6,90	3,68	0,39	-	-	0,16	-	2,40
CV %	13,9	3,11	13,21	10,80	15,30	18,9	14,0	7,6	7,7	13,20	19,8	14,10

+ M.O. - 20 ton/ha de bagaço de cana.

N₁ e N₂ - 40 e 80 Kg ¹⁵N-uréia/ha respectivamente.

* a planta controle (não nodulante) não produziu vagem.

Tabela 14b Nitrogênio derivado do fertilizante (NDDF), de fixação (N fixado) e do solo (N solo) em soja nodulante (vagem). Média de três repetições. (E-tapa 1).

Solo	Sem Matéria Orgânica				Com Matéria Orgânica				Sem Matéria Orgânica				Com Matéria Orgânica			
	%		%		%		%		mg N/pl		mg N/pl		mg N/pl		mg N/pl	
	NDDF	N Fixado	N Solo	NDDF	N Fixado	N Solo	NDDF	N Fixado	NDDF	N Fixado	NDDF	N Fixado	NDDF	N Fixado	NDDF	N Fixado
Natural	N ₀	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	N ₁	1,04	57,07	41,87	0,34	78,68	20,96	1,03	56,62	41,53	0,14	29,90	8,43			
	N ₂	1,48	68,26	29,75	0,82	72,07	27,10	1,50	51,42	22,41	0,50	43,88	16,72			
Nodulante	N ₀	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	N ₁	0,75	89,05	10,19	0,09	98,25	1,65	0,56	66,80	7,61	0,03	34,29	0,59			
	N ₂	1,85	85,58	11,56	0,35	95,92	3,71	1,32	62,11	8,29	0,18	47,29	1,91			

Tabela 14c - Nitrogênio derivado do fertilizante (NDDF), da fixação (N fixado) e do solo (N solo) em soja nodulante e não nodulante (vagem). Média de três repetições (Etapa 2).

Isolinha	Solo	Sem Matéria Orgânica				Com Matéria Orgânica				Sem Matéria Orgânica				Com Matéria Orgânica			
		%		%		%		%		mg N/vaso		mg N/vaso		mg N/vaso		mg N/vaso	
		NDDF	N Fixado	N Solo	NDDF	N Fixado	N Solo	NDDF	N Fixado	N Solo	NDDF	N Fixado	N Solo	NDDF	N Fixado	N Solo	NDDF
Nodulante	N ₀	-	80,44	19,55	-	77,77	22,22	-	50,12	10,72	-	60,13	17,20	-	60,13	17,20	-
	N ₁	0,54	77,52	21,93	0,62	61,18	38,18	0,30	39,04	12,44	0,52	51,90	31,93	0,52	51,90	31,93	0,52
	N ₂	1,21	80,55	18,22	1,09	65,15	33,74	0,82	49,33	12,27	0,83	52,06	25,82	0,83	52,06	25,82	0,83
	N ₀	-	87,42	12,57	-	99,13	0,86	-	55,04	7,73	-	62,23	0,54	-	62,23	0,54	-
	N ₁	0,92	86,63	12,44	0,44	91,73	7,72	0,71	65,86	9,58	0,28	61,55	5,06	0,28	61,55	5,06	0,28
	N ₂	1,64	88,08	10,26	0,59	93,23	6,16	1,20	61,75	9,28	0,33	52,70	3,48	0,33	52,70	3,48	0,33
Não Nodulante	N ₀	-	-	100,00	-	-	100,00	-	-	10,72	-	-	17,20	-	-	17,20	-
	N ₁	2,42	-	97,57	1,62	-	98,37	0,28	-	11,70	0,41	-	24,61	0,41	-	24,61	0,41
	N ₂	6,25	-	93,73	2,94	-	97,05	1,02	-	14,66	0,89	-	29,69	0,89	-	29,69	0,89
	N ₀	-	-	100,00	-	-	100,00	-	-	1,61	-	-	0,54	-	-	0,54	-
	N ₁	7,11	-	93,89	5,90	-	94,10	0,39	-	5,18	0,12	-	1,99	0,12	-	1,99	0,12
	N ₂	13,79	-	86,20	8,81	-	91,19	0,14	-	0,89	0,21	-	2,26	0,21	-	2,26	0,21

Tabela 15a - Efeito da incorporação de bagaço de cana e três doses de N na eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado (% EUFN) em soja nodulante e não nodulante. Média de três repetições.

Isolinha	Solo	Etapa 1				Etapa 2			
		Parte Aérea		Vagem		Parte Aérea		Vagem	
		- MO	+ MO	- MO	+ MO	- MO	+ MO	- MO	+ MO
Nodulante	Natural	N ₀	-	-	-	-	-	-	-
		N ₁	21,11	5,26	4,18	0,50	7,80	4,72	1,24
		N ₂	20,95	6,52	3,02	1,02	7,40	3,77	1,65
	Cultivado	N ₀	-	-	-	-	-	-	-
		N ₁	15,85	0,68	2,28	0,13	14,27	1,66	1,78
		N ₂	21,02	1,84	2,68	0,37	11,84	1,82	2,44
Não Nodulante	Natural	N ₀	-	-	-	-	-	-	-
		N ₁	17,48	6,49	-	-	9,53	3,69	1,13
		N ₂	16,87	9,44	-	-	12,07	4,00	2,06
	Cultivado	N ₀	-	-	-	-	-	-	-
		N ₁	15,22	0,10	-	-	17,32	2,25	1,59
		N ₂	16,48	0,36	-	-	5,33	3,28	0,29

Tabela 15b - Análise fatorial dos tratamentos na eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado (% EUN) em soja (parte aérea e vagem) em ambas as Etapas do Experimento 2.

	Etapa 1		Etapa 2	
	P. aérea	Vagem	P. aérea	Vagem
Média de Isolinhas				
Nodulante	11,64	-	6,66	1,61a
Não Nodulante	10,27	-	7,19	1,19b
dms (1%)	-	-	-	0,54
Média de Solos				
Natural	12,98a	2,19a	6,63	1,67a
Cultivado	8,82b	1,37b	7,23	1,12b
dms (1%)	2,87	0,91	-	0,54
Média de Nitrogênio				
N ₀	-	-	-	-
N ₁	10,25	1,78	7,63	1,41
N ₂	11,65	1,79	6,19	1,38
dms (1%)	-	-	-	-
Média de Matéria Orgânica				
+ M.O.	3,84b	0,51b	3,15b	1,26
- M.O.	18,06a	3,01a	10,70a	1,54
dms (1%)	2,87	0,91	2,60	-
CV %	13,1	14,8	17,5	18,6

+ M.O. - 20 ton/ha de bagaço de cana.

N₁ e N₂ - 40 e 80 Kg ¹⁵N-urêia/ha respectivamente.

foi observado na vagem através de aumento do N proveniente do solo. O teor de N contido no solo sob vegetação natural substituiu em parte o N fixado na vagem. No solo cultivado, foram observadas as maiores contribuições da fixação de N para a planta e vagem. A mesma Tabela 14a não mostra efeito do N mineral na fixação. Seu efeito, porém, pode ser indireto no solo, através de estímulo na microflora do solo, efeito "priming", observado após o período de incubação de 40 dias (Etapa 2), sendo que a dose de 40 kg N/ha foi suficiente para ativar essa microflora. Por esses dados, observamos que a fixação de N_2 pelo *Rhizobium* é a grande fonte de N para a soja, porém não pode ser considerada como a única fonte.

A baixa eficiência geral de utilização do N fertilizante (Tabela 11), sugere que a soja é uma planta selecionada para utilização do N da fixação. Em geral, sabe-se que a fixação de N_2 pode suprir com até aproximadamente 80% do N da planta, representando quantidades de até 200 kg N/ha para uma produção média de 2.500 kg/ha de grãos.

Pela Tabela 16, verificou-se que os tratamentos correspondentes aos solos com um teor entre 25 e 80 ppm de N mineral foram suficiente para promoverem uma boa nodulação e crescimento da planta.

Tabela 16 - Efeito de doses de N e adição de bagaço de cana nos teores de NO_3^- , NH_4^+ , N - orgânico e carbono (C) em diferentes períodos de amostragem nos vasos com soja. Média de três repetições. (70 dias - coleta 1ª etapa e 110 dias - coleta 2ª etapa).

Solo	Dias														
	0 (sem N)					15					30				
	ppm		%			ppm		%			ppm		%		
	NH_4^+	NO_3^-	Norg	C		NH_4^+	NO_3^-	Norg	C		NH_4^+	NO_3^-	Norg	C	
Natural	N ₀	11,18	21,56	2310	4,27	8,37	86,04	2233	4,33	8,27	85,89	2338	4,07	17,80	67,18
	-M0	-	-	-	-	11,83	87,44	2324	4,48	8,77	124,13	2758	4,39	18,32	70,40
	N ₁	-	-	-	-	16,19	98,67	2212	4,47	8,75	86,39	2261	4,07	15,32	58,93
	N ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	N ₀	10,50	23,66	2261	4,47	8,07	6,36	2569	4,37	8,04	22,12	2702	4,67	24,37	36,00
	+M0	-	-	-	-	11,96	17,47	2604	4,47	9,73	26,07	2569	4,57	19,25	48,15
Cultivado	N ₁	-	-	-	-	10,04	35,00	2506	4,69	11,67	37,11	2646	4,45	19,81	45,27
	N ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	N ₀	13,70	4,65	1071	1,54	1,61	22,51	987	1,41	4,67	51,28	843	1,80	11,08	54,93
	-M0	-	-	-	-	2,68	58,92	903	1,43	5,16	72,63	973	1,90	9,55	71,16
	N ₁	-	-	-	-	2,32	73,03	973	1,48	4,16	62,81	956	1,88	8,07	51,37
	N ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cultivado	N ₀	13,70	1,95	1071	1,82	2,27	1,86	917	1,97	5,81	25,53	861	2,33	7,55	27,40
	+M0	-	-	-	-	2,80	14,53	966	1,86	6,15	24,37	980	2,39	9,33	39,08
	N ₁	-	-	-	-	3,77	23,32	980	1,88	6,47	36,00	826	2,37	9,71	37,32
	N ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	N ₀	17,76	47,00	2170	3,9	18,08	37,22	2279	3,73	18,08	37,22	2279	3,73	17,76	47,00
	+M0	-	-	-	-	16,80	38,92	2800	3,77	16,80	38,92	2800	3,77	16,20	56,14
Cultivado	N ₁	-	-	-	-	17,02	41,36	2915	3,77	17,02	41,36	2915	3,77	18,38	55,24
	N ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	N ₀	16,14	52,34	2730	4,7	20,30	42,80	2741	4,25	20,30	42,80	2741	4,25	16,14	52,34
	+M0	-	-	-	-	21,66	39,02	3010	4,25	21,66	39,02	3010	4,25	15,16	53,06
	N ₁	-	-	-	-	25,24	46,72	2765	4,35	25,24	46,72	2765	4,35	15,60	58,62
	N ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

N₀, N₁ e N₂ correspondem a 0, 40 e 80 Kg de N/ha
+M0 corresponde a 20 ton/ha de bagaço de cana.

5. CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos pode-se concluir que o processo da imobilização de N do solo afeta a nodulação, o crescimento da planta e produção de vagens.

Nestes solos, a dose de 80 kg N/ha mostrou uma tendência negativa na nodulação, porém com a imobilização causada pela adição de bagaço, o N aplicado apresentou um efeito positivo e sinérgico neste parâmetro.

Nesse experimento, os teores de N do solo entre 25 ppm e 80 ppm de N mineral promoveram as melhores nodulações e produções de vagens, reforçando a idéia da necessidade de doses de arranque de N para maximizar a nodulação e fixação de N_2 .

Foi observada uma baixa utilização do N fertilizante pela soja em ambos os solos, o que reforça a idéia de que a soja tem uma preferência ao N fixado que o N mineral.

Doses baixas do fertilizante foram suficientes para promover o efeito "priming" principalmente em solo com a adição de bagaço.

O N fixado juntamente com o N do solo foram suficientes para permitir uma boa produção. Neste experimento foi obtida uma fixação média pela planta de 53-75% no solo sob vegetação natural e 72-91% no solo cultivado; e portanto o N fixado com a maior parte do N total da soja, o qual juntamente com um nível adequado de N mineral no solo, supriu adequada - mente a planta para boas produções.

6. LITERATURA CITADA

ALEXANDER, M., 1977. **Introduction to soil microbiology.** N. York, John Wiley & Sons, ed. 467p.

ALLISON, F.E., 1966. The fate of nitrogen applied to soils. **Adv. in Agron.**, 18: 219-258.

ALLISON, F.E., 1973. **Soil organic matter and its role in crop production.** Amsterdam, Elsevin. 637p.

ALLISON, F.E. e C.J. KLEIN, 1962. Rates of immobilization and release of nitrogen following addition of carbonaceous materials and nitrogen to soils. **Soil Sci.**, 93: 383-386.

ALLOS, H.F. e W.V. BARTHOLOMEW, 1955. Effect of available nitrogen on symbiotic fixation. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.**, 19: 182-184.

ALLOS, H.F. e W.V. BARTHOLOMEW, 1959. Replacement of symbiotic fixation by available nitrogen. **Soil Sci.**, 87(2): 61-66.

ANÔNIMO, 1981. Programa nacional de pesquisa da soja. EMBRAPA, Ministério da Agricultura. 47p.

AYAMABA, A. e B.T. KANG, 1976. Urea transformation in some tropical soils. *Soil Biol. Biochem.*, **8**: 313-316.

BARNI, N.A.; H.C. MINOR e J. KOLLING, 1975. Efeito de níveis de nitrogênio sobre o crescimento, rendimento e características agronômicas da soja. In: III Reunião Conjunta de Pesquisa de Soja, Porto Alegre, RS/SC, 12p.

BARNI, N.A.; J. KOLLING e H.C. MINOR, 1977. Efeitos de níveis de nitrogênio sobre o rendimento de grãos, nodulação e características agronômicas da soja. *Agron. Sulriograndense*. Porto Alegre, **13**(1): 93-104.

BARTHOLOMEW, W.V., 1965. Mineralization and immobilization of nitrogen in the decomposition of plant and animal residues. In: BARTHOLOMEW, W.V. e F.E. CLARK (eds.). *Soil nitrogen*, Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, p.285-306.

BEARD, B.H. e R.M. HOOVER, 1971. Effect of nitrogen on nodulation and yield of irrigated soybeans. *Agron. J.*, **63**(5): 815-816.

BELL, F. e P.S. NUTMAN, 1971. Experiments on nitrogen fixation by nodulated lucerne. *Plant and Soil*, **S.V.**: 231-264.

BERGENSEN, F.J., 1965. Ammonia-an early stable product of nitrogen fixation by soybean root nodules. *Aust. J. Biol. Sci.*, **18**: 1-9.

- BEZDICEK, D.F.; A.F. MULFORD e B.H. MAGEE, 1978. Influence of organic nitrogen on soil nitrogen, nodulation, nitrogen fixation and yield of soybeans. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.**, 38: 268-273.
- BHANGOO, M.S. e D.J. ALBRITTON, 1972. Effect of fertilizer nitrogen, phosphorus and potassium on yield and nutrient content of Lee soybeans. **Agron. J.**, 64: 743-746.
- BHANGOO, M.S. e D.J. ALBRITTON, 1975. Response of nodulating and non-nodulating soybean isolines to applied nitrogen. **Ark. Farm. Res.**, 24: 6-7.
- BHANGOO, M.S. e D.J. ALBRITTON, 1976. Nodulating and non-nodulating Lee soybean isolines response to applied. **N. Agron. J.**, 68: 642-645.
- BLACK, C.A.; L.B. NELSON e N.L. PRITCHETT, 1947. Nitrogen utilization by wheat as affected by rate of fertilization. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.**, 11: 393-396.
- BLACKMER, A.M. e J.M. BREMNER, 1977. Nitrogen isotope discrimination in denitrification of nitrate in soils. **Soil Biol. Biochem.**, 9: 73-77.
- BORNER, H., 1960. Liberation of organic substances from higher plants and their role in soil sickness problems. **Bot. Rev.**, 26: 393-425.
- BREMNER, J.M., 1965. Total nitrogen. **In**: BLACK, C.A.; D.D. EVANS; J.L. WHITE; L.E. ENSMINGER e F.G. CLARK (eds.). **Methods of Soil Analysis Chemical and Microbiological Properties**. Agronomy nº 9, Part 2, American Society of Agronomy, Wisconsin, p.1149-1178.

- BREMNER, J.M. e A.P. EDWARDS, 1965. Determination and isotope - ratio analysis of different forms of nitrogen in soils: I - Apparatus and procedure for distillation and determination of ammonium. **Soil Sci. Soc. Proc.**, 29: 504-407.
- BROADBENT, F.E., 1948. Nitrogen release and carbon loss from soil organic matter during decomposition of added plant residues. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.**, 12: 246-249.
- BROADBENT, F.E. e K.B. TYLER, 1962. Laboratory and greenhouse investigations of nitrogen immobilization. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.**, 26: 459-462.
- BROADBENT, F.E. e F.F. CLARK, 1965. Denitrification. **In**: BARTHOLOMEW, W.V. e F.F. CLARK (eds.). **Soil Nitrogen**, Madison, Wisconsin. American Society Agronomy. p.344-359.
- BURRIS, R.H., 1974. Methodology. **In**: QUISPTEL, A. (ed.). **The biology of nitrogen fixation**. North-Holland Publishing, Co., Amsterdam, p.37-85.
- CAMPBELL, C.A., 1978. Soil organic carbon, nitrogen and fertility. **In**: SCHNITZER, M. e S.V. KHAN (eds.). **Soil Organic Matter**. Amsterdam, Development in soil science 8, p.173-271.
- CASSMAN, K.G. e D.N. MUNNS, 1980. Nitrogen mineralization as affected by soil moisture, temperature, and depth. **Soil Sci. Soc. Amer. J.**, 44(6): 1233-1237.
- CHESNEY, H.A.D., 1973. Performance of soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] in wet tropics as affected by N, P and K. **Agron. J.**, 65: 887-889.

COCHRAN, V.L.; L.F. ELLIOT e R.I. PAPENDICK, 1977. The production of phytotoxins from surface crop residues. **Soil Sci. Soc. Amer. J.**, 41: 903-908.

COCHRAN, V.L.; L.F. ELLIOT e R.I. PAPENDICK, 1980. Carbon and nitrogen movement from surface - applied wheat straw. **Soil Sci. Soc. Amer. J.**, 44(5): 978-982.

CORNFIELD, A.H., 1952. Mineralization of the nitrogen of soil during incubation: influence of pH, total nitrogen, and carbon contents. **J. Sci. Food. Agr.**, 3: 343-349.

CORNFIELD, A.H., 1959. Mineralization during incubation, of the organic nitrogen compounds in soils as related to soil pH. **J. Sci. Food. Agr.**, 10: 27-28.

CRASWELL, E.T., 1978. Some factors influencing denitrification and nitrogen immobilization in a clay soil. **Soil Biol. Biochem.**, 10: 241-245.

CRASWELL, E.T. e A.E. MARTIN, 1974. Effect of moisture content on denitrification in a clay soil. **Soil Biol. Biochem.**, 6: 127-129.

DABIN, B., 1975. Ação da matéria orgânica sobre a produção vegetal. **In**: I Colóquio sobre a matéria orgânica no solo, Brasil, CENA/Piracicaba, Publicação Provisória. 15p.

DANCER, W.S.; L.A. PETERSON e G. CHESTERS, 1973. Ammonification and nitrification of N as influenced by soil pH and previous N treatments. **Soil Sci. Amer. Proc.**, 37: 67-69.

DEIBERT, E.J.; M. BIJERIEGO e R.A. OLSOM, 1979. Utilization of ^{15}N fertilizer by nodulating and non-nodulating soybean isolines. *Agronomy J.*, 71: 717-723.

DeMOOY, C.V.; J. PESEK e E. SPALDON, 1973. Mineral nutrition. In: CALDWELL, B.E. (ed.). *Soybeans: improvement, production and uses*. Madison, Wisc., American Society Agronomy, p.267-352.

DOBEREINER, J.; N.B. ARRUDA e A.F. PENTEADO, 1966. Avaliação da fixação do nitrogênio em leguminosas pela regressão do nitrogênio total das plantas sobre o peso dos nódulos. *Pesq. Agropec. Bras.*, Sér. Agron., 1: 233-237.

DOBEREINER, J. e N.B. ARRUDA, 1967. Inter-relações entre variedades e nutrição na nodulação e simbiose da soja. In: Boletim técnico nº 49, Rio de Janeiro, IPEACS.

DUTRA, L.G.; J. PEREIRA; J.M. BRAGA e A.S. REGO, 1975. Efeito da adubação nitrogenada, fosfatada e potássica na produção de soja [*Glycine max* (L.) Merrill] e do feijão (*Phaseolus vulgaris*) em latossolo vermelho escuro textura média, nos municípios de Goiânia e Anápolis, GO. *R. Ceres*, 22(123):

EVANS, H.J.; T. RUIZ-ARGUESO; N. JENNINGS e J. HANUS, 1977. Energy coupling efficiency of symbiotic nitrogen fixation. In: HOLLAENDER, A. (ed.). *Genetic Engineering for Nitrogen Fixation*, Plenum Press, New York, Basic Life Sciences, 9: 333-354.

- FRANCO, A.A.; O.O.M. DA FONSECA e I.E. MARRIEL, 1978. Efeito no nitrogênio mineral na atividade da nitrogenase e nitrato redutase, durante o ciclo da soja no camp. **R. bras. Ci. Solo**, 2: 110-114.
- FREIRE, J.R.J. e C. VIDOR, 1971. Influência do índice de mineralização do nitrogênio orgânico do solo sobre a nodulação e rendimento de matéria seca de soja. In: Reunião da Comissão Técnica da Soja, 15, Porto Alegre, Secretaria da Agricultura, p.53-55.
- FREIRE, J.R.J., 1977. Inoculation of soybeans. In: VINCENT, J.M. (ed.). **Exploiting the legume *Rhizobium* in symbiosis in tropical agriculture**. Univ. do Havai, p.335-379.
- FREITAS, J.R.; V.F. NASCIMENTO FILHO; P.B. VOSE e A.P. RUSCHEL, 1979. Estimativa da atividade da microflora heterotrófica do solo TRE usando respirometria com glicose ^{14}C . **Energia Nuclear na Agricultura**, Piracicaba, 1(2): 123-130.
- FRIED, M. e L. MELLADO, 1978. A method for determining the amount of nitrogen fixed in the field using ^{15}N . In: Abstracts and Poster Session, Int. Symp. Limitations and Potential of Biological Nitrogen Fixation in the tropics, Brasília.
- GATES, C.T. e J.R. WILSON, 1974. The interaction of nitrogen and phosphorus on the growth nutrient status and nodulation of *Stylosanthes humilis* H.B.K. (Towsville stylo). **Plant and soil**, 41: 325-330.

- GATES, C.T. e W.J. MULLER, 1979. Nodule and plant development in the soybean, *Glycine max* (L.) Merrill: growth response to nitrogen, phosphorus and sulfur. *Aust. J. Bot.*, 27: 203-15.
- GIBSON, A.H., 1974. Consideration of the growing legume as a symbiotical association. *Proceed. Ind. Nat. Sci. Acad.*, 40(16): 741-767.
- GIBSON, A.H., 1976. Limitation to dinitrogen fixation by legumes. In: *Proceedings of the 1st. International Symposium of Nitrogen Fixation*. Pullman, Washington, p.400-428.
- GIBSON, A.H. e J.D. PAGAM, 1977. Nitrate effects on the nodulation of legumes inoculated with nitrate reductase deficient mutants of *Rhizobium*. *Planta*, 134: 17-22.
- GIBSON, A.H., 1981. Energy production and utilization in nitrogen fixation - plenary discussion. In: GIBSON, A.H. e W.E. NEWTON (eds.). *Current perspectives in nitrogen fixation. Proceed. of the fourth Int. Symp. on nitrogen fixation*. Canberra, Australian Academy of Science, p.127-128.
- GUENZI, W.D. e T.M. McCALLA, 1962. Inhibition of germination and seedling development by crop residues. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 26: 456-458.
- GUENZI, W.D.; T.M. McCALLA e F.A. NORSTADT, 1967. Presence and persistence of phytotoxic substances in wheat, oat, corn, and sorghum residues. *Agron. J.*, 59: 163-165.

- GUIMARÃES, J.A.P. e C.S. SEDIYAMA, 1974. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio em soja [*Glycine max* (L.) Merrill] em um Latossolo Vermelho Escuro sob vegetação de cerrado. **In:** Simpósio sobre o cerrado, Viçosa, 12p.
- HAM, G.E.; I.E. LIEMER; S.D. EVANS; R.D. FRANZIER e W.W. NELSON, 1975. Yield and composition of soybean seed as affected by N and S fertilization. **Agron. J.**, 67(3): 293-297.
- HAM, G.E.; R.J. LAWMEYER e W.A. BRUN, 1976. Influence of inoculation, N fertilizers and photosynthetic source - sink manipulations of field grown soybean. **In:** NUTMAN, P.S. (ed.). **Symbiotic nitrogen fixation in plants**, Cambridge Univ. Press, Cambridge, p.239-253.
- HARDY, R.W.F.; R.D. HOLSTEN; E.K. JACKSON e R.C. BURNS, 1968. The acetylene - ethylene assay for N_2 fixation: laboratory and field evaluation. **Plant Physiol.**, 43: 1185-1207.
- HARDY, R.W.F.; R.C. BURNS; R.R. HEBERT; R.D. HOLSTEN e E.K. JACKSON, 1971. Biological nitrogen fixation, a key to world protein. **Plant and soil**, **S.V.**: 561-590.
- HARDY, R.W.F. e V.D. HAVELKA, 1976. Photosynthate as a major factor limiting N fixation by field grown legumes with emphasis on soybeans. **In:** NUTMAN, P.S. (ed.). **Symbiotic nitrogen in plants**. Cambridge Univ. Press, p.421-439.
- HARMSSEN, G.W. e D.A. VAN SCHREVEN, 1955. Mineralization of organic nitrogen in soil. **Adv. in Agron.**, 7: 299-398.
- HARPER, J.E., 1974. Soil and symbiotic nitrogen requirements for optimum soybean production. **Crop. Sci.**, 14: 255-260.

- HARPER, J.E., 1975. Contribution of dinitrogen and soil/
/fertilizer nitrogen to soybean. **In**: Proceedings of the
world soybean. Research Conference, Insterstate Printers
and Publishers, Inc., Danville, p.123-124.
- HATFIELD, J.L.; D.B. EGLI; J.E. LEGGETT e D.E. PEASLEE, 1974.
Effect of applied nitrogen on the nodulation and early
growth of soybeans [*Glycine max* (L.) Merril]. **Agron.**
J., 66(1): 112-114.
- HATHCOCK, B.R., 1975. Effect of applied nitrogen on juvenile
growth and nodulation of soybeans. **Tennessee Farm and Home**
Science, Report, 96: 32-33.
- HAUCK, R.D. e J.M. BREMNER, 1976. Use of tracers for soil and
fertilizer nitrogen research. **Adv. in Agron.**, 28:
219-266.
- HERLIHY, M., 1979. Nitrogen mineralization in soils of varying
textures, moisture and organic matter. I. Potential and
experimental values in fallow soils. **Plant and Soil**, 53:
255-267.
- HERRARA, A. e L. LONGERI, 1974. Comportamento de la simbiosis
Rhizobium-soya [*Glycine max* (L.) Merr.] en suelos de Nuble,
Chile. **In**: Anais da VII Reunião Latinoamericana sobre
Rhizobium (RELAR), Argentina. Univ. Nac. del Nordeste.
- HIROSE, S., 1973. Immobilization of inorganic nitrogen during
the decomposition of rice straw compost under upland
conditions. **Soil Sci. Plant Nutr.**, 20: 331-340.

- JENKINSON, D.S., 1977. Studies on the decomposition of plant material in soil. V. The effects of plant cover and soil type on the loss of carbon from ^{14}C labelled ryegrass decomposing under field conditions. **J. Soil Sci.**, 28: 424-434.
- JENKINSON, D.S. e A. AYANABA, 1977. Decomposition of carbon-14 labelled plant material under tropical conditions. **Soil Sci. Soc. Amer. J.**, 41: 912-915.
- KANAMORI, T. e T. YASUDA, 1979. Immobilization, mineralization and the availability of the fertilizer nitrogen during the decomposition of the organic matters applied to the soil. **Plant and Soil**, 52: 219-227.
- KANAZAWA, S. e T. YONEYAMA, 1980. Microbial degradation of ^{15}N -labelled rice residues in soil during two years' incubation under flooded and upland condition. I. Decay of residue and soil microflora. **Plant Nutr.**, 26(2): 229-239.
- KIMBER, R.W.L., 1967. Phytotoxicity from plant residues. I. The influence of rotted. Wheat straw on seedling growth. **Aust. J. Agric. Res.**, 18: 361-374.
- KIMBER, R.W.L., 1973. Phytotoxicity from plant residues. II. The effect of time of rotting legumes on the growth of wheat seedlings. **Plant and Soil**, 38: 347-361.
- KIMBER, R.W.L., 1973. Phytotoxicity from plant residues. III. The relative effect of toxins and nitrogen immobilization on the germination and growth of wheat. **Plant and Soil**, 38: 543-555.

- KINJO, T.; Z.Z. MARCOS e O.M. JACOB, 1978. Produção de nitrato por incubação de amostras do horizonte Ap de solos da região canavieira de Piracicaba. **Rev. bras. Ci. Solo**, 2: 98-103.
- KOCH, B. e H.J. EVANS, 1966. Reduction of acetylene to ethylene by soybean root nodules. **Plant Physiol.**, 41: 1748-1749.
- KOHL, D.H.; G. SHEARER e J.E. HARPER, 1980. Estimates of N₂ fixation based on differences in the natural abundances of ¹⁵N in nodulating and non-nodulating isolines of soybeans. **Plant Physiol.**, 66: 61-65.
- KOLLING, J. e J.R.J. FREIRE, 1978. Fatores importantes para a eficiente fixação simbiótica de nitrogênio na cultura da soja. **Ipagro Informa**, 21: 24-27.
- LATIMORE, M.J.; J. GIDDENS e D.Z. ASHLY, 1977. Effect of ammonium and nitrate nitrogen upon photosynthetic supply and nitrogen fixation by soybeans. **Crop Sci.**, 17: 399-404.
- LAWRIE, A.C. e C.T. WHEELER, 1974. The effects of flowering and fruits formation on the supply of photosynthetic assimilates to the nodules of *Pisum sativum* L. in relation to the fixation of nitrogen. **New Phytol.**, 73: 1119-1127.
- LAWRIE, A.C. e C.T. WHEELER, 1975. Nitrogen fixation in the root nodules *Vicia faba* L. in relation to the assimilation of carbon. I. Plant growth and metabolism of photosynthetic assimilates. **New Phytol.**, 74: 429-436.

- LEGG, J.O. e G. STANFORD, 1967. Utilization of soil and fertilizer N by oats in relation to the available N status of soils. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.**, 31: 215-219.
- MALAVOLTA, E., 1980. **Nutrição mineral e adubação da soja**. 2ª edição, Piracicaba, ESALQ. 40p.
- MARUMOTO, T.; H. SHINDO e T. HIGASHI, 1980. Effects of carbonaceous materials on the accumulation of readily mineralizable organic nitrogen in soil. **Soil Sci. Plant Nutr.**, 26(2): 185-190.
- MCCALLA, T.M. e F.A. HASKINS, 1964. Phytotoxic substances from microorganisms and crop residues. **Bact. Rev.**, 28: 181-207.
- MCCALLA, T.M. e F.A. NORSTADT, 1974. Toxicity problems in mulch tillage. **Agric. and Environ.**, 1: 153-174.
- MEIKLEJOHN, J., 1954. Some aspects of the physiology of the nitrifying bacteria. In: **Autotrophic microorganisms**. Cambridge University Press, p.63-68.
- MILLER, R.D. e D.D. JOHNSON, 1964. The effect of soil moisture tension on carbon dioxide evolution nitrification, and nitrogen mineralization. **Proc. Soil Sci. Am.**, 28: 644-647.
- MIYASAKA, S., 1977. Generalidades. In: **A soja no Brasil Central**. Fundação Cargil, p.3-20.
- NELSON, A.N. e R.W. WEAVER, 1980. Seasonal nitrogen accumulation and fixation by soybean grown at different densities. **Agron. J.**, 72: 613-616.

- NORMAN, A.G. e L.O. KRAMPITZ, 1945. The nitrogen nutrition of soybean: II. Effect of available soil nitrogen on growth and nitrogen fixation. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.**, 10: 191-196.
- NYBORG, M. e P.B. HOYT, 1978. Effects of soil acidity and liming on mineralization of soil nitrogen. **Can. J. Soil Sci.**, 58(3): 331-338.
- OGHOGHORIE, C.G.O. e J.S. PATE, 1971. The nitrate stress syndrome of the nodulated evaluation in physiological terms. **Plant Soil**, 185-202.
- OPUWARIBO, E. e C.T.I. ODU, 1978. Ammonium fixation in nigerian soils: 5. Types of clay minerals and relationship with ammonium fixation. **Soil Sci.**, 125(5): 283-293.
- PAL, D.; F.E. BROADBENT e D.S. MIKKLESEN, 1975. Influence of temperature on the kinetics of rice straw decomposition in soils. **Soil Sci.**, 120(6): 442-449.
- PAL, U.R., 1975. Contribution of symbiotic to the hydrogen needs of soybean [*Glycine max* (L.) Merrill]. **Acta Agron. Acad. Sci. Hung.**, 24: 430-436.
- PAL, U.R. e M.C. SAXENA, 1975. Response of soybean to symbiosis and nitrogen fertilization under humid subtropical condition. **Expl. Agric.**, 11: 221-226.
- PAR, J.F. e R.I. PAPENDICK, 1978. Factors affecting the decomposition of crop residues by microorganisms. In: OSCHWALD, W.R. (ed.). **Crop residue management systems**. American Society of Agronomy, Madison, Wisc., p.101-129.

- PARKER, M.B. e H.B. HARRIS, 1977. Yield and leaf N of nodulating and non-nodulating soybeans as affected by N and Mo. **Agron. J.**, 69: 551-554.
- PATTERSON, M.S. e R.S. GREENE, 1965. Measurement of low energy beta-emitters in aqueous solution by liquid scintillation counting of emulsion. **Anal. Chem.**, 37: 857-860.
- PAUL, E.A. e R.L. VICTORIA, 1978. Nitrogen transfers between the soil and atmosphere. In: KRUMBEIN, W.E. (ed.). **Environmental Biogeochemistry and Geomicrobiology**. Vol. 2: The Terrestrial Environment. 41: 525-541.
- PINCK, L.A.; F.E. ALLISON e V.L. GADDY, 1946. The nitrogen requirement in the utilization of residues in soil. **J. Am. Soc. Agron.**, 38: 410-420.
- PRIMAVESI, A.M., 1974. Nitrogen increase in soil by semi-aerobic straw decomposition in presence of phosphorus and calcium. **Agrochimica**, 18(5): 395-403.
- RABIE, R.K.; Y. AKIMA e Y. KUMAZAWA, 1980. Effect of combined nitrogen on the distribution pattern of photosynthetic assimilates in nodulated soybeans plants as revealed by ^{14}C . **Soil Sci. Plant. Nutr.**, 26: 79-86.
- RAGGIO, M.; N. RAGGIO e J.C. TORREY, 1965. The interaction of nitrate and carbohydrates in rhizobial root-nodule formation. **Plant Physiol.**, 40: 601-606.
- RENNIE, R.J.; D.A. RENNIE e M. FRIED, 1978. Concepts of ^{15}N usage in dinitrogen fixation studies. In: **Isotopes in Biological Dinitrogen fixation**, (I.A.E.A.), Viena, p.107-133.

- RIOS, G.P. e H.L. SANTOS, 1973. Adubação nitrogenada na soja [*Glycine max* (L.) Merrill] em solo sob vegetação de cerrado. **Pesq. Agrop. Bras., Sér. Agron.**, Rio de Janeiro, **8**(6): 63-67.
- RUSCHEL, A.P.; R. RUSCHEL; D.L. ALMEIDA e A.R. SUHET, 1974. Influência do nitrogênio mineral e orgânico na fixação simbiótica de nitrogênio em soja. **Pesq. Agropec. Bras., Sér. Agron.**, **9**(1): 25-19.
- RUSCHEL, A.P. e R. RUSCHEL, 1975. Sinergia da absorção de nitrogênio do solo e da fixação simbiótica de nitrogênio atmosférico dirigida para o aumento do nitrogênio total da soja (*Glycine max*). **Pesq. Agrop. Bras., Sér. Agron.**, **10**(11): 37-40.
- RUSCHEL, A.P.; S.M.T. SAITO e P.B. VOSE, 1979. Atividade da redutase do nitrato e nitrogenase com relação ao N absorvido do solo, ^{15}N -fertilizante e fixação simbiótica em soja (*Glycine max*). **Energia Nuclear na Agricultura**. Piracicaba, **2**(1): 8-17.
- SAERS, O.H. e D.L. LYNCH, 1951. Importance of inoculation. **Soybean Digest**, **11**: 15-17.
- SAITO, S.M.T.; E. MATSUI e E. SALATI, 1980. $^{15}\text{N}_2$ fixation, H_2 evolution and C_2H_2 reduction relationships in *Phaseolus vulgaris*. **Physiologia Plantarum**, **49**: 37-42.
- SAITO, S.M.T., 1980. Relações entre fixação de $^{15}\text{N}_2$, evolução de H_2 e redução de C_2H_2 em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*). Piracicaba, ESALQ/USP. 96p. [Tese de Doutorado]

- SARRUGE, J.R. e H.P. HAAG, 1974. Análises químicas em plantas. Piracicaba, ESALQ/USP, 27p. (mimeo.)
- SAUERBECK, O.R., 1975. Field decomposition of ^{14}C labelled plant residues in different soils of Germany and Costa Rica. In: Colóquio Internacional de Brunswik, Alemanha (I.A.E.A.). p.211-218.
- SHIELDS, J.A. e E.A. PAUL, 1973. Decomposition of ^{14}C -labelled plant material under field conditions. Can. J. Soil Sci., 53: 297-306.
- SHRIVASHANKAR, K. e K. VLASSAK, 1978. Influence of straw and CO_2 on N_2 -fixation and yield of field grown soybeans. Plant and Soil, 49: 259-266.
- SILVA, J.A., 1947. Determinação do pH ótimo ao desenvolvimento de germes nitrificantes do solo em meio de laboratório. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 1, Rio de Janeiro, p.173-183.
- SCOTT, W.O. e S.R. ALDRICH, 1975. Producción moderna de la soya. Editora Hemisferio Sur, Argentina, 187p.
- SMALL, J.G.C. e O.A. LEONARD, 1969. Translocation of ^{14}C - labelled photosynthates in nodulated legumes as influenced by nitrate nitrogen. Amer. J. Bot., 56: 187-194.
- SORENSEN, R.C. e E.J. PENAS, 1978. Analyses of the C and N limitations to soybean yield. Agron. J., 70: 213-216.

- STANFORD, G.; M.H. FRERE e A.V.P. ROGER, 1975. Effect of fluctuating temperatures on soil nitrogen mineralization. **Soil Sci.**, 119(3): 222-226.
- STREETER, J.C., 1973. Nitrogen nutrition of soybeans, a persistent paradox. **Ohio Report**, 58(2): 37-40.
- TANNER, J.W. e J.G. ANDERSON, 1963. An external effect of inorganic nitrogen in root nodulation. **Nature**, 198(4877): 303-304.
- THIAGALINGAM, K. e Y. KAMEHIRO, 1973. Effect of temperature on nitrogen transformation in Hawaiian soils. **Plant and Soil**, 38: 177-189.
- TOMAR, J.S. e R.J. SOPER, 1981. An incubation study of nitrogen added as urea to several Manitoba soils with particular references to retention of nitrogen. **Can. J. Soil Sci.**, 61(1): 1-10.
- TOUSSOUN, T.A.; A.R. WEINHOLD, R.G. LINDERMAN e Z.A. PATRICK, 1968. Nature of phytotoxic substances produced during plant residue decomposition in soil. **Phytopathology**, 58: 41-54.
- TRIVELIN, P.C.O.; E. SALATI e E. MATSUI, 1973. Preparo de amostras para análise de ^{15}N por espectrometria de massa. Boletim Técnico nº 2, CENA, ESALQ/USP, CNEM, 41p.
- WESTERMAN, R.L. e L.T. KURTZ, 1973. Priming effect of ^{15}N - labelled fertilizers on soil nitrogen in field experiments. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.**, 37(5): 725-727.

- VEST, G., 1971. Nitrogen increases in a non-nodulating soybean genotype grown with nodulating genotypes. **Agron. J.**, 63: 356-359.
- VIGUE, J.T.; J.E. HARPER, R.H. HAGEMAN e D.B. PETERS, 1977. Nodulation of soybeans grown hydroponically on urea. **Crop Sci.**, 17(1): 169-172.
- WALUNJKAR, W.G.; W.V. BARTHOLOMEW e W.G. WOLTZ, 1959. Nitrogen interchange in soil as affected by soil type, source and rate of nitrogen addition, moisture, and time of incubation. **J. Ind. Soc. Soil Sci.**, 7: 65-72.
- WASKSMAN, S.A. e M.R. MADHOCK, 1937. Influence of light and heat upon the formation of nitrates in soil. **Soil Sci.**, 44: 361-375.
- WEAVER, R.W. e L.R. FREDERICK, 1972. Effect of inoculum size on nodulation of [*Glycine max* (L.) Merrill]. II. Field studies. **Agron. J.**, 64: 597-599.
- WEBER, C.R., 1966a. Nodulating and non-nodulating soybean isolines: I. Agronomic and chemical attributes. **Agron. J.**, 58: 43-46.
- WEBER, C.R., 1966b. Nodulating and non-nodulating soybean isolines: II. Responses to applied nitrogen and modified soil conditions. **Agron. J.**, 58: 46-49.
- WELCH, L.F.; L.V. BOON; C.G. CHAMBLISS; A.T. CHRISTIANSEN; D.L. MULVANEY; M.G. OLDHAM e H.W. PENDLETON, 1973. Soybean yield with direct and residual N fertilization. **Agron. J.**, 65: 547-550.

WILLIAMS, L.F. e D.L. LYNCH, 1954. Inheritance of a non-nodulating character in the soybean. **Agron. J.**, 46: 28-29.

WILLIAMSON, A. e J.P. DIATLOFF, 1975. Effects of supplementary nitrogen fertilizer on nodulation, yield and seed characteristics of soybean (*Glycine max*) on the Darling Downs. **Aust. J. Expt. Agric. Animal Husb.**, 15: 694-699.

WILSON, P.W., 1940. The carbohydrate-nitrogen relation in symbiotic nitrogen fixation. **Wis. Agr. Expt. Sta., Res. Bull.**, Nº 129.

7. APÊNDICE

Figura 6 - Curva de retenção de umidade do solo TRE.

Quadro 1. Análise química dos solos

Solo	Carbono %	pH	Al ⁺⁺⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K	p
			e.mg/100 ml de T.F.S.A.			µg/ml de T.F.S.A.	
Cultivado	1,54	5,7	0,0	4,4	1,6	104	6
Natural	6,54	6,7	0,0	7,3	2,0	192	3

Quadro 2. Composição do meio líquido YWB para crescimento de *Rhizobium japonicum*

Manitol	5,0 g
Glutamato de sódio	0,5 g
K ₂ HPO ₄ (80 g/l)	8,2 ml
MgSO ₄ ·7H ₂ O (10 g/l)	10,0 ml
CaCl ₂ (40 g/l)	1,0 ml
FeCl ₃ (4 g/l)	1,0 ml
Extrato de levedura	0,5 g
H ₂ O	1000 ml

Quadro 3a. Efeito da adição de bagaço de cana e fertilizante nitrogenado no peso seco de folhas, caule, raiz e vagem de isolinhas de sojas nodulante e não nodulante. Média de três repetições. (Etapa 1)

Isolinha	Solo	Planta (g/pl)							
		Folha		Caule		Vagem		Raiz	
		-MO	+MO	-MO	+MO	-MO	+MO	-MO	+MO
Nodulante	Natural	N ₀	6,56a	4,43b	3,93a	1,98cd	2,22a	0,81c	2,72b
		N ₁	5,77a	4,68b	3,15b	2,24c	2,95a	1,13c	3,01ab
		N ₂	6,28a	4,75b	3,39b	2,05c	2,50a	1,77b	2,55b
	Cultivado	N ₀	6,12a	3,10d	3,18b	1,59d	2,40a	0,83c	2,87b
		N ₁	5,57a	3,79cd	3,07b	2,11cd	2,42a	1,16c	2,41b
		N ₂	6,18a	4,25b	3,01b	2,40c	2,14a	1,61b	2,95b
Não Nodulante	Natural	N ₀	4,26b	2,77c	2,10cd	1,18e	-	1,99c	1,79c
		N ₁	4,23b	3,25c	2,21c	1,29e	-	2,59bc	2,21bc
		N ₂	4,85bc	4,62b	2,46c	1,96d	-	2,51bc	2,38bc
	Cultivado	N ₀	2,26d	0,17e	1,13e	0,12f	-	1,61c	0,08d
		N ₁	2,87cd	0,36e	1,63de	0,28f	-	2,04bc	0,24d
		N ₂	3,58c	0,57e	1,91d	0,31f	-	1,99c	0,48d

Quadro 3b. Efeito da adição de bagaço de cana e fertilizante nitrogenado no peso seco de folhas, caule, raiz e vagem de soja nodulante e não nodulante. Média de três repetições (Etapas 2)

Isolinha	Solo	Planta (g/pl)							
		Folha		Caule		Vagem		Raiz	
		-MO	+MO	-MO	+MO	-MO	+MO	-MO	+MO
Nodulante	Natural	N ₀	3,95a	2,65d	1,64b	1,43b	2,07b	1,14b	0,71b
		N ₁	3,35a	3,02cd	1,87b	1,68bc	1,81b	1,03b	1,02b
		N ₂	3,28ab	3,02cd	1,88b	1,54c	2,04b	1,05b	0,92b
	Cultivado	N ₀	3,47ab	2,94cd	1,69bc	1,41cd	1,95b	0,86b	0,63c
		N ₁	3,21bc	2,63de	1,80b	1,36cd	2,11b	0,78bc	0,67c
		N ₂	3,42ab	2,89d	1,69bc	1,54cd	2,17b	0,89b	0,69c
Não Nodulante	Natural	N ₀	3,61ab	2,02f	2,40a	1,23de	0,57d	1,56a	0,91b
		N ₁	3,01b	2,23ef	2,41a	1,39de	0,60d	1,44a	0,93b
		N ₂	3,15b	1,97f	2,25a	1,35de	0,81d	1,30a	0,80b
	Cultivado	N ₀	2,34ef	0,56g	1,49cd	0,23f	0,10e	0,74c	0,20d
		N ₁	2,47ef	0,75g	1,80bc	0,31f	0,29e	0,69c	0,29d
		N ₂	2,19f	0,84g	1,43cd	0,36f	0,08e	0,77c	0,31d

Quadro 4a. Efeito da adição de bagaço de cana e fertilizante nitrogenado no teor de N de diferentes partes da planta de soja nodulante e não nodulante. Média de três repetições. Estapa 1.

Isolinha	Solo	Folha		% N Caule		Vagem		
		-MO	+MO	-MO	+MO	-MO	+MO	
Nodulante	Natural	No	2,75c	3,30a	1,38bc	1,27c	3,26	3,60
		N1	2,98bc	3,05b	1,62a	1,17c	3,37	3,40
		N2	2,88bc	3,02b	1,48b	1,23c	3,03	3,46
	Cultivado	No	2,70c	2,78cd	1,42b	1,27c	2,41	3,61
		N1	3,09b	2,59d	1,66a	1,20c	2,43	3,18
		N2	2,97bc	2,74cd	1,48b	1,21c	2,15	3,04
Não Nodulante	Natural	No	1,07gf	1,26ef	0,35de	0,32e	-	-
		N1	1,13f	1,28e	0,39d	0,26ef	-	-
		N2	1,06gf	1,00f	0,37de	0,26ef	-	-
	Cutlivado	No	0,97h	0,17i	0,13g	0,17fg	-	-
		N1	0,96h	0,10i	0,09g	0,10g	-	-
		N2	0,94h	0,16i	0,31e	0,16fg	-	-

Quadro 4b. Efeito da adição de bagaço de cana e fertilizante nitrogenado no teor de N de diferentes partes da planta de soja nodulante e não nodulante. Média de três repetições. Esta-
pa 2

Isolinha	Solo	% N						
		Folha		Caulo		Vagem		
		-MO	+MO	-MO	+MO	-MO	+MO	
Nodulante	Natural	N ₀	3,18a	3,23a	1,15c	1,15c	2,91cd	3,43a
		N ₁	3,13ab	3,24a	1,15c	1,45b	2,88d	3,41a
		N ₂	3,01ab	3,25a	1,08c	1,45b	3,02cd	3,17b
	Cultivado	N ₀	3,11ab	3,24a	1,44b	1,62a	3,21b	3,17bc
		N ₁	3,22a	3,10ab	1,35b	1,37b	3,23b	3,10bc
		N ₂	3,11ab	3,29a	1,51ab	1,47ab	3,32b	3,06c
Não Nodulante	Natural	N ₀	2,08c	2,13c	0,57d	0,35è	1,85f	2,37e
		N ₁	2,06c	2,26c	0,37de	0,49de	1,98f	2,57e
		N ₂	2,09c	2,92b	0,34de	0,44de	1,91f	2,50e
	Cultivado	N ₀	2,31c	1,61e	0,27f	0,52d	1,61g	2,02f
		N ₁	1,86ed	1,60e	0,22f	0,27f	1,55g	1,63g
		N ₂	1,68e	2,03d	0,32ef	0,51d	1,31h	1,63g

Quadro 5a. Efeito da adição de bagaço de cana e fertilizante nitrogenado no acúmulo de nitrogênio em diferentes partes da planta de soja nodulante e não nodulante. Média de três repetições. Etapa 1.

Isolinha	Solo	(mg N/pl.)						
		Folha		Caulo		Vagem		
		-MO	+MO	-MO	+MO	-MO	+MO	
Nodulante	Natural	N ₀	181,45a	145,79b	53,63a	25,14bc	72,60b	29,30d
		N ₁	169,66a	140,71b	50,51a	26,66b	99,19a	38,47d
		N ₂	180,17a	137,73b	50,15a	27,63b	75,34b	61,12c
	Cultivado	N ₀	165,41a	86,15d	45,46a	20,20c	73,51b	31,82d
		N ₁	175,19a	97,96d	50,81a	25,50bc	74,98a	34,92d
		N ₂	183,21a	116,57c	44,72a	28,98b	71,76b	49,39c
Não Nodulante	Natural	N ₀	45,29e	34,83ef	7,42d	3,25e	-	-
		N ₁	47,94e	40,55e	8,63d	3,36e	-	-
		N ₂	50,99e	46,80e	9,07d	5,01de	-	-
	Cultivado	N ₀	21,51f	0,33g	1,51f	0,22g	-	-
		N ₁	27,55f	0,36g	1,47f	0,29g	-	-
		N ₂	32,03ef	0,86g	2,07f	0,45g	-	-

Quadro 5b. Efeito da adição de bagaço de cana e fertilizante nitrogenado no acúmulo de nitrogênio em diferentes partes da planta de soja nodulante e não nodulante. Média de três repetições. Etapa 2.

Isolinha	Solo	(mg N/pl.)						
		Folha		Caulo		Vagem		
		-MO	+MO	-MO	+MO	-MO	+MO	
Nodulante	Natural	N ₀	125,71a	85,50c	30,22a	16,36cf	60,85c	77,33a
		N ₁	105,27b	98,06bc	21,86bc	24,73c	51,80c	84,36a
		N ₂	99,28b	98,26bc	20,57bc	23,68cd	62,42bc	78,72a
	Cultivado	N ₀	108,02b	95,93b	24,23bc	22,91cd	62,82b	62,77bc
		N ₁	102,70b	81,43c	24,34bc	18,93de	68,02b	66,93b
		N ₂	106,51b	95,05b	25,48ab	22,53cd	72,24b	56,51c
Não Nodulante	Natural	N ₀	74,88de	42,86f	13,79f	4,23h	10,72f	17,20ef
		N ₁	62,58ef	50,23f	9,04fg	6,31gh	11,98f	25,02de
		N ₂	66,44ef	57,84f	7,32gh	5,89gh	15,68f	30,58d
	Cultivado	N ₀	56,15fg	9,12i	3,91hi	1,32i	1,61g	0,54g
		N ₁	46,51gh	12,09i	3,96hi	0,82i	4,66g	2,11g
		N ₂	36,87h	17,27i	4,56hi	1,88i	1,03g	2,13g

Quadro 6a. Efeito da incorporação do bagaço de cana, 3 doses de N nos teores de P e S na parte aérea de soja nodulante e não nodulante em 2 tipos de solo. Média de três repetições. Etapa 1.

Isolinha	Solo	P%		P total(mg/pl)		S%		S total(mg/pl)	
		-MO	+MO	-MO	+MO	-MO	+MO	-MO	+MO
Nodulante	Natural	N ₀	0,08	0,13	9,41	8,28	0,24	24,79	17,67
		N ₁	0,10	0,11	8,58	7,40	0,26	23,42	18,44
		N ₂	0,08	0,11	8,51	7,26	0,24	22,83	16,90
	Cultivado	N ₀	0,09	0,09	8,68	4,54	0,28	26,36	12,20
		N ₁	0,09	0,09	7,86	5,09	0,29	25,03	14,54
		N ₂	0,11	0,08	10,06	5,32	0,26	24,14	16,90
Não Nodulante	Natural	N ₀	0,18	0,20	11,04	7,71	0,33	20,39	16,63
		N ₁	0,14	0,20	9,75	8,88	0,27	17,64	21,27
		N ₂	0,16	0,17	11,49	11,35	0,34	25,01	27,42
	Cultivado	N ₀	0,25	0,06	8,57	0,18	0,52	17,82	0,55
		N ₁	0,18	0,07	8,31	0,45	0,47	21,09	1,56
		N ₂	0,21	0,06	11,50	0,37	0,48	26,52	3,41

Quadro 6b. Efeito da incorporação do bagaço de cana, 3 doses de N nos teores de P e S na parte aérea de soja nodulante e não nodulante em 2 tipos de solo. Média de três repetições. Etapa 2.

Isolinha	Solo	P%		P total(mg/pl)		S%		S total(mg/pl)		
		-MO	+MO	-MO	+MO	-MO	+MO	-MO	+MO	
Nodulante	Natural	N0	0,13	0,14	8,83	5,59	0,26	0,27	14,68	10,94
		N1	0,15	0,14	7,84	6,60	0,28	0,31	14,68	14,45
		N2	0,14	0,13	6,72	5,68	0,26	0,29	13,42	12,94
	Cultivado	N0	0,15	0,13	7,56	5,60	0,29	0,31	15,01	13,39
		N1	0,14	0,14	7,02	5,76	0,30	0,37	15,26	14,68
		N2	0,15	0,13	7,50	5,75	0,32	0,31	15,89	13,84
Não Nodulante	Natural	N0	0,19	0,19	11,66	6,21	0,39	0,39	22,60	12,66
		N1	0,22	0,17	11,72	6,81	0,35	0,40	18,57	14,69
		N2	0,20	0,18	11,02	5,98	0,35	0,30	18,93	9,91
	Cultivado	N0	0,26	0,45	11,60	3,71	0,44	0,87	19,59	7,00
		N1	0,25	0,44	11,03	4,66	0,45	0,78	20,06	8,31
		N2	0,28	0,46	10,25	5,61	0,51	0,87	18,64	10,63

Quadro 7a. Efeito da incorporação do bagaço de cana, 3 doses de N nos teores de P e S na vagem de soja nodulante em 2 tipos de solo. Média de três repetições, Etapa 1,

Solo	Tratamento	P%		P total (mg)		S%		S total (mg)	
		-MO	+MO	-MO	+MO	-MO	+MO	-MO	+MO
Natural	N ₀	0,25	0,30	5,47	2,34	0,22	0,28	4,96	2,23
	N ₁	0,23	0,26	6,72	2,94	0,22	0,26	6,56	2,99
	N ₂	0,23	0,30	5,86	5,25	0,23	0,26	5,68	4,66
Cultivado	N ₀	0,23	0,25	5,64	2,04	0,25	0,25	6,11	2,11
	N ₁	0,22	0,22	5,32	2,46	0,25	0,23	5,99	2,67
	N ₂	0,19	0,21	4,10	3,45	0,26	0,24	5,56	3,49

Quadro 7b. Efeito da incorporação do bagaço de cana, 3 doses de N nos teores de P e S na vagem de soja nodulante e não nodulante em 2 tipos de solo. Média de três repetições. Etapa 2.

Isolinha	Solo	P%		P total (mg)		S%		S total (mg)		
		-MO	+MO	-MO	+MO	-MO	+MO	-MO	+MO	
Nodulante	Natural	N0	0,16	0,31	3,19	6,94	0,19	0,22	3,82	4,86
		N1	0,16	0,30	2,86	7,50	0,20	0,23	3,52	5,77
		N2	0,15	0,27	3,14	6,91	0,19	0,22	3,92	5,57
	Cultivado	N0	0,16	0,30	3,12	5,88	0,24	0,23	4,64	4,59
		N1	0,15	0,31	3,22	6,66	0,23	0,26	4,82	5,58
		N2	0,15	0,29	3,26	5,42	0,22	0,24	4,79	4,37
Não Nodulante	Natural	N0	0,37	0,39	2,13	2,87	0,22	0,31	1,24	2,32
		N1	0,25	0,42	1,29	4,06	0,21	0,28	1,27	2,80
		N2	0,27	0,43	2,23	5,22	0,23	0,27	1,80	3,23
	Cultivado	N0	0,18	-	0,18	-	0,25	-	0,25	-
		N1	0,18	-	0,69	-	0,26	-	1,00	-
		N2	-	0,39	-	0,39	-	0,56	-	0,56

Quadro 8. Atividade da redutase do nitrato (específica e total) determinada *in vivo* em folhas de soja aos 63 dias após germinação em ambas Etapas do Experimento II. Média de três repetições

Isolinha	Solo	Etapa 1				Etapa 2				
		$\mu\text{moles NO}_2^-/\text{g.h}$		$\mu\text{moles NO}_2^-/\text{pl.h}$		$\mu\text{moles NO}_2^-/\text{g.h}$		$\mu\text{moles NO}_2^-/\text{pl.h}$		
		-MO	+MO	-MO	+MO	-MO	+MO	-MO	+MO	
Nodulante	Natural	No	0,38ef	0,37ef	9,26ab	6,98de	0,40	0,58	4,91b	4,64bc
		N1	0,36f	0,36f	7,82cd	6,81de	0,49	0,58-	5,01b	5,64b
		N2	0,42cd	0,36f	9,98a	6,45ef	0,63	0,47	6,09b	4,33c
	Cultivado	No	0,41d	0,35f	9,32ab	4,35g	0,44	0,48	4,13cd	4,31c
		N1	0,39de	0,38e	8,56bc	5,46fg	0,47	0,54	4,14cd	4,19cd
		N2	0,43b	0,38e	9,80a	6,09ef	0,59	0,50	5,56b	4,15cd
Não Nodulante	Natural	No	0,42cd	0,41d	5,27g	3,65h	0,47	0,72	4,99bc	4,15cd
		N1	0,41d	0,41d	5,21g	4,37gh	0,59	0,53	5,28b	3,32de
		N2	0,41d	0,41d	5,77fg	5,69f	0,70	0,79	6,68a	4,55c
	Cultivado	No	0,52a	0,43bc	3,21h	0,19i	0,59	0,50	3,26de	0,72f
		N1	0,40d	0,39de	2,03h	0,22i	0,54	0,47	3,05e	0,93f
		N2	0,37c	0,42bc	4,89fg	0,71i	0,54	0,54	2,50e	1,27f

+ MO - 20 ton/ha de bagaço de cana.
 N₁ e N₂ respectivamente 40 e 80 Kg ¹⁵N-uréia/ha.