

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

Efeitos da aplicação de matéria orgânica sobre
a biomassa-C microbiana do solo e o crescimento
e absorção de nitrogênio em milho (*Zea mays* L.)

RONALDO DEMÉTRIO

Sob a orientação do doutor

HELVÉCIO DE-POLLI

Tese submetida como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Agronomia.

Área de concentração em Ciência do Solo.

Itaguaí, Rio de Janeiro

Novembro, 1988

TÍTULO DA TESE

Efeitos da aplicação de matéria orgânica sobre a biomassa-C microbiana do solo e no crescimento e absorção de nitrogênio em milho (*Zea mays L.*)

AUTOR

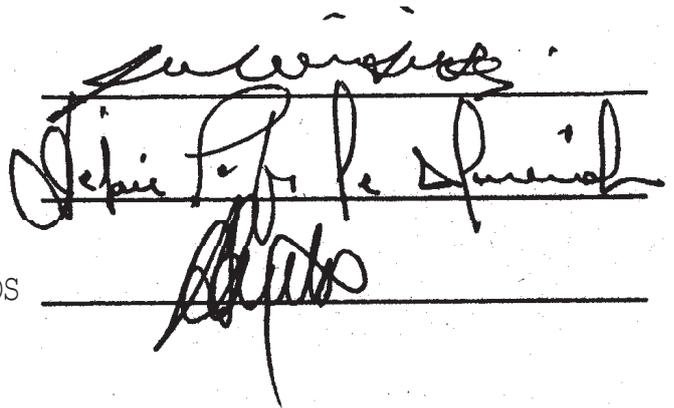
RONALDO DEMÉTRIO

APROVADO EM 11/novembro/1988

HELVÉCIO DE-POLLI

DEJAIR LOPES DE ALMEIDA

GABRIEL DE ARAÚJO SANTOS



Handwritten signatures of Helvécio de Polli, Dejaír Lopes de Almeida, and Gabriel de Araújo Santos over horizontal lines.

DEDICATÓRIA

"Estou convencido das minhas limitações e esta convicção é a minha força."

MAHATMA GANDHI

Dedico esta tese,

com muito amor,

às pessoas que
ajudaram direta
e indiretamente,

por todos os momentos
que vivemos e
viveremos juntos

ETERNAMENTE.

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Helvécio De-Polli, pela orientação e apoio permanentes.

Ao colega de Curso Eng^o Agr^o José Guilherme Marinho Guerra e sua esposa Vilma Buxbaum, inestimáveis amigos, pela compreensão, estímulo e sugestões.

Ao Dr. Dejair Lopes de Almeida e Professores Dr. Jair Rocha Leal e Dr. Gabriel de Araújo Santos, pelo apoio e sugestões.

À Eng^a Química Marise Mello, pelo apoio e incentivo constantes.

Ao Eng^o Agr^o Luiz Carlos Greiner, pelo auxílio nas análises estatísticas efetuadas.

Aos colegas e professores de curso, pelo convívio e ensinamentos.

Ao Sr. Jair de Jesus Melo, pela confecção das figuras.

Às Sras. Dorimar dos Santos Félix e Zilda Martim Lourenço, pela revisão bibliográfica.

À Sra. Jocemiriam Cardoso Fabre, pela datilografia.

Aos técnicos de laboratório Adilson Vieira, Valério Ricardo, Vanderlei, Selmo, Carlos Alberto, Luiz Carlos, Simone, Roberto, Daniel e Luizinho, pelo apoio laboratorial.

A todos os funcionários da EMBRAPA-UAPNPBS e Departamento de Solos - UFRRJ, pelo convívio e apoio.

À EMPASC, pela oportunidade de ampliar meus conhecimentos.

*Aos meus pais e
minhas irmãs,
por caminharmos
sempre juntos.*

BIOGRAFIA DO AUTOR

Ronaldo Demétrio nasceu a 27 de março de 1961, em Laguna, SC, onde realizou o curso primário no Colégio Stella Maris e os cursos ginásial e científico no Conjunto Educacional Almirante Lamego. Em 1979 iniciou o curso de Agronomia na Universidade Federal de Santa Catarina, em Florianópolis, SC. No período de março de 1985 a outubro de 1988 realizou o curso de Mestrado em Agronomia (Área de concentração em Ciência do Solo) na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, conduzindo o trabalho na EMBRAPA, Unidade de Apoio ao Programa Nacional de Pesquisa em Biologia do Solo, Itaguaí, Rio de Janeiro. Atualmente é pesquisador da Empresa Catarinense de Pesquisa Agropecuária S.A.

ÍNDICE

	Página
1. Introdução	01
2. Revisão da Literatura	03
2.1. Matéria orgânica do solo	03
2.1.1. Introdução	03
2.1.2. Efeitos da matéria orgânica no solo . . .	04
2.1.3. Formação do húmus e sua importância . . .	07
2.1.4. Transformação dos resíduos orgânicos no solo	12
2.1.5. Principais transformações do nitrogênio no solo	17
a. Mineralização e imobilização	18
b. Nitrificação e denitrificação	20
2.1.6. A biomassa microbiana do solo	22
3. Material e Métodos	29
3.1. Tratamentos utilizados	29
3.2. Caracterização do solo	30
3.3. Caracterização dos materiais orgânicos.....	32

	página
3.4. Condução do experimento em casa-de-vegetação com milho o	32
3.5. Condução do experimento de incubação	37
3.6. Delineamento experimental e análise estatística	38
4. Resultados e Discussão	39
4.1. Experimento de casa-de-vegetação	39
4.1.1. Efeito dos tratamentos sobre algumas propriedades químicas do solo	39
a. pH	39
b. Fracionamento da matéria orgânica . . .	45
c. Fósforo, potássio, cálcio e magnésio ..	54
4.1.2. Efeito dos tratamentos sobre algumas propriedades biológicas do solo	58
a. Evolução de C-CO₂ e quantificação da biomassa-C microbiana	58
4.1.3. Efeito dos tratamentos sobre a disponibilidade de nitrogênio no solo e desenvolvimento do milho	63
a. Nitrogênio no solo: N-total, N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻	63
b. Absorção de nitrogênio e rendimento de matéria seca do milho	69
4.2. Experimento de incubação	74
4.2.1. Evolução de C-CO₂ do solo	74
4.2.2. Quantificação da biomassa-C microbiana do solo	79
5. Conclusões	83
6. Bibliografia Consultada	86

RESUMO

Em dois experimentos realizados na EMBRAPA/UAPNPBS-Itaguaí, RJ, com solo Podzólico Vermelho Amarelo, em casa-de-vegetação e em sala de incubação estudou-se o efeito da adição de doses crescentes de esterco bovino, capim colonião (*Panicum maximum*) e feijão-bravo-do-Ceará (*Canavalia brasiliensis*) sobre a biomassa-C microbiana, algumas características químicas do solo e no crescimento e absorção de nitrogênio pelo milho (*Zea mays*).

A adição dos materiais orgânicos teve efeito corretivo na acidez do solo, elevando o pH de 5,4 para valores médios em torno de 6,0. Os teores de P, K e Ca no solo apresentaram aumentos com a incorporação dos materiais orgânicos, enquanto Mg apresentou pequena variação.

A incorporação de esterco bovino, capim colonião e feijão-bravo-do-Ceará proporcionou aumentos médios no carbono total do solo aos 102 dias, de 9,2, 14,7 e 38,5%, respectivamente. Aumentos médios no nitrogênio total do solo, aos 102 dias após a incorporação de esterco bovino, capim colonião e feijão

-bravo-do-Ceará e posterior cultivo do milho foram de 15,7, 25,3 e 74,7%, respectivamente.

Dos materiais orgânicos incorporados ao solo, feijão-bravo-do-Ceará manteve ainda aos 102 dias, o maior teor de matéria orgânica livre. No mesmo período apenas a dose de 60 t/ha de feijão-bravo-do-Ceará alterou positivamente o teor de humina do solo, enquanto que as outras frações de matéria orgânica humificada do solo não diferiram estatisticamente.

Confirmou-se que a quantificação da biomassa-C não é adequada para solos com adição recente de material orgânico prontamente decomponível.

O rendimento de matéria seca e absorção de nitrogênio pelo milho foram significativamente maiores com a incorporação de feijão-bravo-do-Ceará e nitrogênio mineral. A produção de matéria seca obtida com a aplicação de 20 t/ha de feijão-bravo-do-Ceará foi superior àquela obtida com a aplicação de 560 kg de N/ha na forma de **NH₄NO₃**.

No segundo experimento, em sala de incubação, em período de 90 dias, a evolução média do carbono orgânico adicionado com a incorporação ao solo de feijão-bravo-do-Ceará, capim colônia e esterco bovino foram de 35, 29 e 21%, respectivamente.

SUMMARY

It was carried out two experiments with a Red Yellow Podzolic soil, in greenhouse and incubation room conditions, at EMBRAPA/UAPNPBS-Itaguaí, RJ, to study the addition effects of increasing levels of cattle manure, Guinea grass: (*Panicum maximum*) and "feijão-bravo-do-Ceará" (*Canavalia brasiliensis*) over the microbial biomass, some soil chemistry characteristics, dry matter production, and absorption of nitrogen in corn (*Zea mays*).

The addition of the organic materials had a corrective effect in the soil acidity, increasing the pH from 5,4 to average values of about 6,0. The soil P, K and Ca levels increased with the incorporation of organic materials, while Mg presented a slight modification.

The incorporation of cattle manure, Guinea grass and "feijão-bravo-do-Ceará" provided average increases in the soil total carbon, at 102 days, of 9,2, 14,7 and 38,5%, respectively. Average increases in the soil total nitrogen at the 102 days after the incorporation of the cattle manure, Guinea grass and "feijão-bravo-do-Ceará", and later corn growing were of 1517, 25,3 and 74,7%, respectively.

Among the organic materials incorporated in the soil, the treatment with "feijão-bravo-do-Ceará" kept at the 102 days the higher levels of free organic matter in the soil. In the same period, only the "feijão-bravo-do-Ceará" level of 60 t/ha, changed significantly the soil humin, while the others fractions of the soil humified organic matter did not show significant difference.

These results confirm that the microbial biomass-C quantification is not adequate for soils that had just received large additions of decomposable organic matter.

The dry matter production and the nitrogen absorption by the corn, were significantly higher with the incorporation of "feijão-bravo-do-Ceará" and mineral nitrogen. The dry matter production obtained with the application of 20 t/ha of "feijão-bravo-do-Ceará", was higher than the obtained with 560 kg of N/ha as NH_4NO_3 .

In the second experiment of 90 days at incubation room, the average evolution of the organic added with the soil incorporation of "feijão-bravo-do-Ceará", Guinea grass, and cattle manure, were of 35, 29 and 21%, respectively.

1. INTRODUÇÃO

A importância da matéria orgânica e o papel que ela desempenha na produtividade do solo tem sido reconhecido desde longa data (milênios a.c.) pelos povos mais antigos.

Segundo IGUE e PAVAN (1984) a recomendação de adubos orgânicos na agricultura brasileira é uma prática antiga, mas a intensidade de utilização tem sido relativamente pequena no período 1950-80, devido a intensificação da adubação mineral através do incentivo governamental. A crise do petróleo e a recessão econômica mundial despertou novamente o interesse pelo assunto, como uma forma alternativa de substituir insumos cada vez mais caros.

A aplicação de resíduos orgânicos ao solo continua sendo uma prática comum em pequenas propriedades rurais. Segundo ERNANI (1981), entretanto, há carência de informações relativas às quantidades a aplicar, isoladas ou associadas a nutrientes minerais, já que estas variam com as propriedades físico-químicas do solo; natureza do material orgânico; condições de mineralização e espécie vegetal cultivada.

A biomassa microbiana do solo é um componente da matéria orgânica do solo com importantes efeitos sobre a fertilidade do solo e na nutrição de plantas.

Os grupos de microorganismos, sua concentração e atividade representada pelo teor de CO_2 liberado e pela mineralização do nitrogênio orgânico, são grandemente influenciados pela ação seletiva da matéria orgânica estável do solo ou pela quantidade e qualidade dos resíduos orgânicos adicionados ao mesmo (NUERNBERG, 1983). De acordo com ALEXANDER (1977) a relação C/N, o estado de desagregação do resíduo orgânico e sua composição qualitativa (celulose, hemicelulose, lignina, açúcares aminados) são os fatores inerentes à matéria orgânica que mais interferem na população microbiana.

A biomassa-C microbiana do solo e a disponibilidade de nitrogênio, poderão ser afetadas de maneira diversa com a incorporação ao solo de materiais orgânicos de constituição diferente como esterco, gramíneas, leguminosas. Isto implica que a maximização de aproveitamento do nitrogênio presente nestes materiais orgânicos pela cultura, depende de suas respectivas velocidades de decomposição bem como da quantidade de nitrogênio liberado.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o efeito da adição de doses crescentes de esterco bovino, capim colônia e feijão bravo sobre a biomassa-C microbiana do solo, no crescimento e absorção de nitrogênio em milho (*Zea mays*) e sobre algumas propriedades químicas do solo.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Matéria Orgânica do Solo

2.1.1. Introdução

O conhecimento da influência da adição de diferentes materiais orgânicos nas propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos, é pouco nos solos de clima tropical.

Na presente revisão da literatura procurou-se dar maior ênfase aos efeitos sobre as propriedades químicas e biológicas do solo, após a adição de materiais orgânicos ao mesmo.

A fertilidade do solo pode ser definida como uma complexa integração de características físicas, químicas e biológicas, que determinam a habilidade do solo de produzir culturas. Os povos mais antigos tem reconhecido a importância da matéria orgânica (MO) do solo e o papel que ela desempenha na produtividade do mesmo.

A importância do humus na agricultura era reconhecida empiricamente pelos filósofos gregos e romanos e no século

passado iniciou-se os estudos para descoberta da natureza dos seus grupos orgânicos, sua formação, decomposição e seu papel na nutrição de plantas (WAKSMAN, 1938).

Os processos mais empregados para a determinação da MO do solo são os baseados no teor de carbono orgânico, ou seja, $MO (\%) = C\% \times 1,724$, caso considere-se que a MO do solo possua 58% de carbono. Quando interpreta-se o resultado desta análise há que ter bem presente que ela engloba o húmus e a MO não decomposta. Evidentemente que o teor de 58% atribuído ao carbono da MO é um valor médio, e que desta forma o fator 1,724 não conduzirá em todos os casos a uma avaliação correta da MO. Apesar disso, a determinação do carbono orgânico total é atualmente o método que permite a determinação mais confiável da MO do solo. Um resultado muito elevado pode ser devido a uma adição recente de material orgânico fresco ou, nos solos demasiadamente úmidos, ao acúmulo de MO que irá transformando-se lentamente em húmus.

2.1.2. Efeitos da Matéria Orgânica no Solo

Os solos variam amplamente em seus índices de MO. Nos solos são cultivados, a quantidade presente é governada pelos fatores de formação do solo (tempo, material de origem, topografia, vegetação e clima). Quando os solos são cultivados há uma perda de MO e um novo equilíbrio é alcançado o qual é característico das práticas culturais adotadas e do tipo de solo.

O sistema agropecuário tradicional, segundo DE-POLLI

et alii (1988) consiste de uma mistura de diferentes culturas e criações, com prática de rotação de cultura e onde a aplicação de esterco ao solo é uma prática normal e constante. Na fazenda monocultural moderna, com um sistema de cultivo onde utiliza-se mecanização intensiva e há pouca preocupação com a matéria orgânica e com o controle da erosão a situação da MO do solo pode se tornar crítica. Um decréscimo no teor da MO do solo tem várias efeitos desfavoráveis na produtividade do solo, se algumas providências não forem tomadas pelo homem.

De acordo com IGUE e PAVAN (1984) a recomendação de fertilizantes orgânicos na agricultura brasileira é uma prática antiga, mas a intensidade de utilização tem sido relativamente pequena. Em relação à produção agrícola a adição de diferentes formas de MO - estercos, compostos, resíduos orgânicos urbanos e industriais, adubos verdes - tem sido interpretada como uma forma de substituir parcialmente os fertilizantes minerais. O retorno à fertilização orgânica tem crescido nos últimos anos, como alternativa de substituição total ou parcial dos fertilizantes minerais cada vez mais dispendiosos que encarecem demasiadamente a produção.

O solo apresenta uma biomassa nativa (autóctona) e a adição de resíduos orgânicos promove uma biomassa transiente (ou zymogênea). Os primeiros formam uma biomassa relativamente constante que respondem pouco à entrada de substâncias frescas, pois necessitam somente de um pequeno suprimento energético, enquanto que os outros rapidamente aumentam sua biomassa mas mor-

rem rapidamente, a não ser que sua demanda de energia seja fornecida.

A MO contribui para o crescimento das plantas através de seu efeito sobre as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Possui uma função nutricional na qual ela serve como fonte principalmente de N, P e K para o crescimento da planta; uma função biológica na qual ela afeta profundamente as atividades da microflora e organismos da microfauna; e uma função física na qual ela promove boa estrutura do solo, deste modo melhorando a profundidade do solo arável, aeração e retenção de umidade.

De acordo com IGUE (1984) a distribuição da MO no perfil de diferentes solos; a caracterização de componentes e métodos de separação; a transformação da MO nas propriedades do solo, são alguns aspectos importantes que merecem atenção dos pesquisadores.

A MO do solo exerce importantes efeitos benéficos sobre as propriedades físicas e biológicas do solo, além de contribuir para o desenvolvimento das plantas como fornecedora de nutrientes (propriedades químicas) e para maior retenção dos mesmos pelo solo. A produtividade do solo é um atributo que repousa principalmente em quatro fatores: clima, propriedades físicas, propriedades químicas e propriedades biológicas. A capacidade de produção, de acordo com KIEHL (1984 - modificado) é, portanto, uma função que pode ser representada da seguinte maneira:

$$\text{PRODUTIVIDADE} = f (F + F_1 + F_2 + F_3)$$

onde, F representa as condições climáticas (fatores primários) por serem justamente os mais limitantes da produção agrícola; **F₁** as condições físicas do solo (fatores secundários) por serem menos difíceis de serem controlados e menos limitantes que os anteriores; **F₂** as condições biológicas do solo (fatores terciários) que são menos limitantes que os dois anteriores e **F₃** condições químicas (fatores quaternários) pelo fato de serem relativamente os mais fáceis de serem contornáveis.

2.1.3. Formação do Húmus e sua Importância

A MO nos solos consiste de uma mistura de resíduos de plantas e animais em vários estágios de decomposição, de substâncias sintetizadas química e biologicamente dos produtos da destruição, e de microorganismos e pequenos animais e seus restos decompostos. A evolução da MO nos solos compõe-se de duas fases principais: a decomposição ou biodegradação e uma fase de estabilização, a humificação.

De acordo com TROCME, e GRASS (1979) o húmus, matéria orgânica morta característica do solo, não se define, em geral, pelas substâncias orgânicas que o compõe, mas por uma série de propriedades:

- é a MO cuja decomposição é lenta, que diminui no solo depois da evolução rápida que sofrem os materiais vegetais; trata-se de uma substância relativamente estável;
- a relação carbono/nitrogênio (C/N) que é elevada na matéria vegetal fresca, vai diminuindo à medida que esta se decompõe

e estabiliza-se em torno do valor 10 para o húmus;

- do ponto-de-vista das ligações entre elementos minerais e orgânicos há que se distinguir;
- a) matéria orgânica livre, não humificada, integrada por restos vegetais, todavia, com individualidade própria (fragmentos de folhas); esta MO mantém-se separada da fração mineral do solo
- b) matéria orgânica ligada à fração mineral (complexo argilo-húmico) a qual é semelhante ao húmus; ela pode separar-se da MO livre por densimetria.

O húmus é relativamente estável frente a ação da microflora e microfauna autóctones, as quais conduzem a uma taxa de mineralização da ordem de 1 a 3% anual em solos minerais de clima temperado (ROSELL e MIGLIERINA, 1982). De acordo com DABIN (1980) em clima tropical a taxa de humificação média dos materiais vegetais é de 10 a 20%, ao passo que a taxa anual de mineralização varia de 1,7 a 4,0% em floresta e de 0,5 a 1,3% em savana. O húmus nativo tem uma mais baixa relação C/N do que os resíduos de plantas não decompostos, porque a decomposição dos resíduos orgânicos pelos organismos do solo leva a incorporação de parte do carbono para o tecido microbiano com o restante sendo liberado como CO_2 .

O fracionamento da **MO** do solo é feito geralmente em substâncias húmicas e não-húmicas. As substâncias não-húmicas incluem aquelas com características físicas e químicas ainda reconhecíveis tais como carboidratos, proteínas, peptídeos,

aminoácidos, óleos, ceras e ácidos orgânicos de baixo peso molecular, as quais são prontamente atacadas pelos microorganismos no solo. A principal fração da MO na maioria dos solos consiste, entretanto, de substâncias húmicas.

O critério clássico de fracionamento da MO dos solos distingue três componentes principais: a matéria orgânica livre, correspondente aos restos vegetais recém-incorporados ao solo em suas primeiras etapas de transformação; as substâncias húmicas solúveis em reativos alcalinos (ácidos húmicos e fúlvicos) e as huminas ou fração orgânica insolúvel dos solos, que mediante determinadas técnicas tem podido ser fracionada nos vários tipos de composição e propriedades independentes entre si.

Baseado nas suas solubilidades em alcali e ácido, as substâncias húmicas são separadas em três frações principais (ROSELL e MIGLIERINA, 1982 e SCHNITZER, 1982):

- (1) Ácidos Húmicos (AH), que é solúvel em álcali diluída, mas é precipitado por acidificação do extrato alcalino;
- (2) Ácidos Fúlvicos (AF), que é a fração húmica que permanece em solução quando o extrato alcalino é acidificado, ou seja, ele é solúvel em ambos - alcali e ácido diluído, e
- (3) Humina, a qual é a fração húmica que não pode ser extraída do solo por álcali e ácido diluído.

O húmus é constituído por diversos polímeros acídicos, de estrutura central cíclica com ramificações acíclicas, pesos e volumes moleculares que variam desde poucos centos de uni-

dade a mais de 100.000. A acidez é produzida por grupos ácidos carboxílicos e fenólicos em vários graus de dissociação (ROSELL e MIGLIERINA, 1982).

Os compostos orgânicos solúveis e menos ligados à fração mineral possuem um peso molecular mais baixo, enquanto que os compostos orgânicos de maior peso molecular estão mais ligados à fração mineral e apresentam menor solubilidade. A determinação do peso molecular é uma das primeiras etapas da caracterização dos compostos húmicos, a qual conduzirá a estudos mais aprofundados sobre as características físico-químicas dos mesmos.

O processo químico de formação de moléculas orgânicas processa-se por condensação de núcleos aromáticos ligados entre eles por pontes de oxigênio e pontes de nitrogênio constituindo-se na policondensação. Os mecanismos de policondensação dos compostos húmicos do solo levam à formação de estruturas muito complexas e sobretudo muito variadas, em oposição à polimerização dos compostos químicos clássicos, conforme trabalho traduzido do original francês por SANTOS (1986).

A polimerização causa perda de grupos carboxílicos COOH, o que pode explicar por que os AF que são polímeros menores (500 a 2000 PM) tem mais grupos COOH por unidade de peso (520 a 1120 me/100 g), que os AH (150 a 570 me/100 g) que são polímeros maiores (50.000 a 100.000 PM) (VARADACHARI e GHOSH, 1984 e IGUE, 1984). De acordo com os mesmos autores, os AF possuem acidez total mais elevada (640 a 1420 me/100 g) do que os AH

(560 a 770 me/100 g).

Segundo PANUSKA e ROSELL (1982) a capacidade dos AH e AF para formar complexos estáveis com os íons metálicos é devido ao seu conteúdo elevado em grupos funcionais que contém oxigênio tais como grupos fenólicos e carboxílicos, principalmente.

Os grupos funcionais, através do fornecimento de H^+ , também participam das reações do solo, entre elas a formação de complexos solúveis com os íons metálicos do solo. Isto se torna relevante no caso de manutenção da disponibilidade dos micronutrientes para as plantas e da diminuição da toxidez do **Al⁺³**, **Mn⁺²** e outros íons metálicos, que são complexados pelos AF que tem menor peso molecular, facilitando neste caso a nutrição do fósforo às plantas que de outra forma seria quelatado. Por outro lado os AH (que tem maior PM) funcionam como uma reserva de íons polivalentes, protegendo os materiais orgânicos da biooxidação.

Atualmente sabe-se que existem muitas formas de humina, cujo significado e composição bioquímica são muito diferentes (DUCHAUFOR, 1984), podendo distinguir-se as seguintes:

- Humina microbiana, formada por corpos microbianos e por diversos compostos alifáticos que derivam deles (sacarídeos, proteínas e aminoácidos);
- Humina herdada, próxima a MO fresca, formada pelos constituintes das membranas, parcialmente oxidados e ligados às argilas por ligações pouco estáveis;

- Humina de insolubilização (neoformada), resultante igual aos ácidos húmicos de processos de insolubilização pelos cátions, porém não extraível pelos reativos alcalinos e,
- Humina estabilizada (forma particular da anterior), resultante da evolução lenta dos ácidos húmicos que provoca a policondensação dos núcleos aromáticos é uma diminuição de sua solubilidade nos reativos de extração.

2.1.4. Transformação dos Resíduos Orgânicos no Solo

O solo é habitado por uma enorme variedade de microorganismos (microflora do solo) e microorganismos animais (microfauna do solo) e ainda por organismos animais que vão de dimensões submicroscópicas a dimensões médias ou mesmo relativamente grandes (macrofauna).

A ação microbiana do solo depende, entre outros fatores, da temperatura, arejamento e condições de umidade, reação e teor em elementos nutritivos, e da competição e antagonismos que se estabelecem entre os próprios grupos de microorganismos.

A microflora inclui organismos autotróficos que são capazes de obter do CO_2 a totalidade do carbono para as suas células e da oxidação de compostos inorgânicos, energia para o seu desenvolvimento e atividade, e organismos heterotróficos, que obtém a maior parte do carbono de compostos orgânicos, e energia da decomposição destes compostos orgânicos. Estes últimos microorganismos desempenham papel fundamental na decomposi-

ção dos resíduos orgânicos e formação de húmus.

A energia que circula no sistema solo-planta vem da energia solar. A energia luminosa é convertida para energia química por pigmentos fotossintéticos das folhas das plantas e de alguns microorganismos, os quais são capazes de fotoredução do CO_2 do ar. Fotossíntese é o processo pelo qual o carbono entra no sistema. De acordo com WAREMBOURG (1982) a energia é armazenada em ligações químicas em "unidades de carbono reduzido" e é desta forma que ele pode ser transferido através do sistema, incluindo o solo. Os processos de crescimento, reprodução e manutenção de estruturas vivas são consumidores de energia produzindo calor e a perda de um certo número de unidades de carbono pobre em energia: o CO_2 (este é o processo de respiração). No diagrama da Figura 1 proposto por WAREMBOURG (1982)/ há uma ilustração esquemática dos fluxos de carbono dentro da vegetação e a rizosfera de comunidades herbáceas. As setas representam os fluxos nos quais são indicados os processos consumindo energia.

A transformação dos resíduos é constituída de duas etapas uma física, causada pela mesofauna (desintegração) e outra química (decomposição), que é causada principalmente pelos microorganismos. A primeira diz respeito à quebra mecânica dos resíduos, e na última os resíduos são primeiramente decompostos em suas unidades estruturais básicas por enzimas extracelulares, sendo depois absorvidos e oxidados pelos microorganismos a fim de obterem energia e nutrientes inorgânicos para o

seu desenvolvimento, com uma conseqüente produção de biomassa microbiana. O primeiro processo bioquímico envolvendo a transformação dos resíduos de planta, de microorganismos e outros compostos (pesticidas por exemplo) é a reação de degradação, liberando várias unidades estruturais para a formação de polímeros, precursores do húmus.

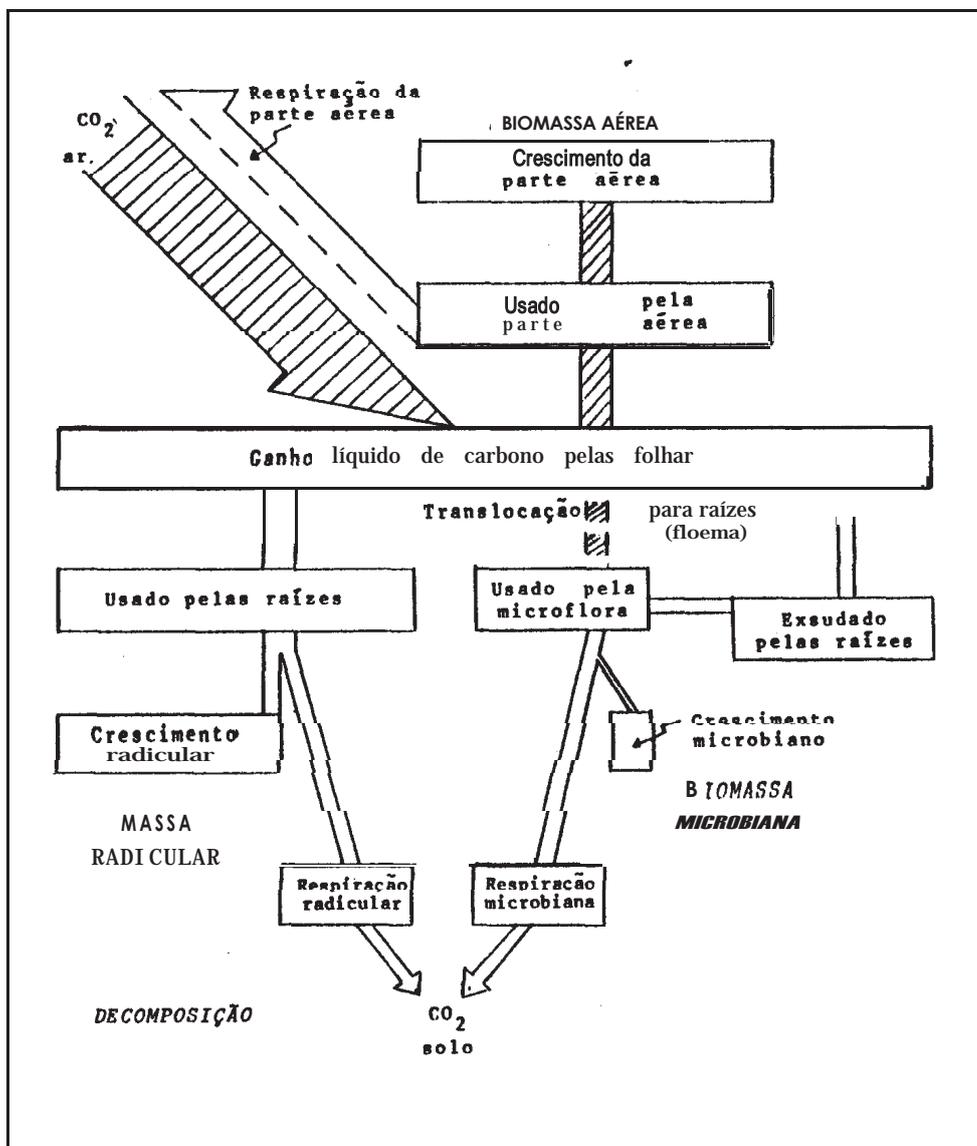


Figura 1 - Diagrama esquemático do fluxo de carbono no sistema planta-solo (WAREMBOURG, 1982).

Levando-se em conta que essas transformações fazem parte de um processo dinâmico no qual tomam parte as interações complexas de diversos organismos numa cadeia alimentar, a MO presente num solo estará em diferentes estágios de decomposição e síntese, ao mesmo tempo, catalizado pelos microorganismos. Os restos vegetais de qualquer natureza constituem a fonte principal da MO do solo, os quais sofrem uma transformação fundamentalmente de origem biológica, chamada humificação, dando origem ao húmus.

A decomposição da MO nas regiões tropicais, segundo IGUE (1984), é demasiado rápida, principalmente em condições de alta umidade e temperatura. Um fato evidente nessas regiões, inclusive no Brasil é o rápido esgotamento do solo poucos anos depois do desmatamento. Historicamente, não temos registrado de maneira metódica e científica o declínio da MO nesses solos, apenas um conhecimento da queda de produtividade.

Segundo STEVENSON (1982) extensivos estudos foram feitos por JENNY e seus colaboradores sobre o efeito do clima nos níveis da MO e nitrogênio do solo. Para solos dos Estados Unidos, o índice de N do solo diminuiu 2 a 3 vezes para aumentos de 10°C na temperatura média anual. JENKINSON e AYANABA (1977) comparando a decomposição de resíduos orgânicos adicionados ao solo da Nigéria e da Inglaterra, verificaram que o resíduo de azevém (*Lolium multiflorum*) decompõe-se 4 vezes mais rápido nas condições da Nigéria (Tx = 26,5°C) do que na Inglaterra (Tx = 8,9°C), sendo que a quantidade de carbono adicionado e re-

tido na Nigéria era de 20,6% após 1 ano e 14,5% após 2 anos. Quando utilizaram resíduos de folha de milho (*Zea mays*) a reação teve um comportamento semelhante, e para manter 1% de C nos 15 cm superficiais do solo na Nigéria, haveria necessidade de adicionar-se 20 t de C-orgânico/ha/ano.

O conhecimento da relação C/N de um material orgânico da idéia do grau de resistência a sua decomposição, ou seja, quanto maior a relação C/N maior será a sua resistência (FASSBENDER, 1975). De uma maneira geral materiais lenhosos possuem de 0,2 a 0,5% N enquanto plantas herbáceas, tais como gramíneas e leguminosas possuem 0,5 a 1,5 e 1,5 a 3,0% N, respectivamente.

A mineralização da MO humificada ou não (figura 2) se refere a formação de compostos minerais, em geral solúveis (fosfatos, sulfatos, nitratos, etc...) ou gasosos (CO_2 e NH_3), pela ação de microorganismos particularmente ativos: em realidade, a mineralização produz o desaparecimento total do MO do solo, sendo portanto, um processo oposto à humificação. Geralmente distingue-se a mineralização primária, que afeta a MO fresca (restos vegetais) que, todavia, não está totalmente incorporada em complexos húmico-argilosos, da mineralização secundária dos compostos húmicos, em geral mais lenta, já que as ligações que contraem com os compostos minerais retardam os processos de mineralização.

A reorganização dos compostos previamente mineralizados, tais como o fósforo e o nitrogênio, é o processo biológico-

co inverso do que rege a mineralização, e se produz junto com a biossíntese dos microorganismos vivos; por este procedimento uma parte dos compostos minerais liberados se reincorpora aos compostos húmicos (Figura 2).

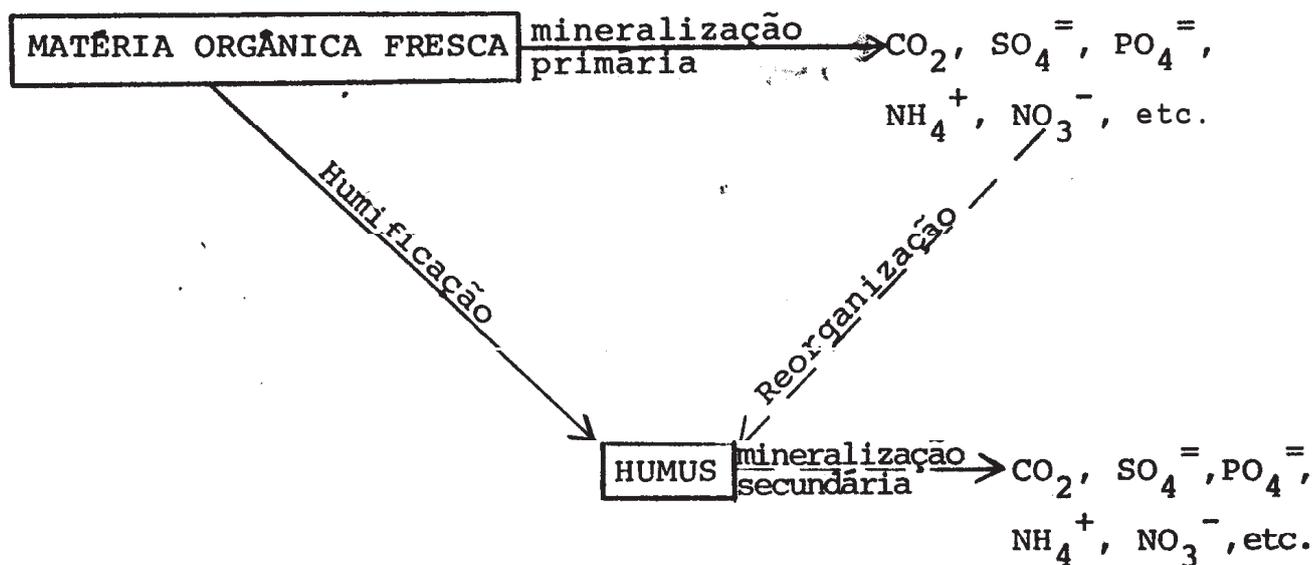


Figura 2- Esquema de formação dos compostos naturais proposto por DUCHAUFOR (1984).

O esquema da Figura 2 resume o conjunto destes processos; todos eles conduzem a um certo estado de equilíbrio, que se manifesta morfologicamente numa incorporação mais ou menos completa da MO ao solo mineral, e em uma estrutura que resulta das ligações mais ou menos estáveis que contrai a MO com os elementos minerais, principalmente com as argilas, formando assim agregados húmico-argilosos.

2.1.5. Principais Transformações do Nitrogênio no Solo

O solo é responsável somente por uma pequena fração do nitrogênio (N) litosférico, e deste N do solo somente uma

proporção muito pequena está diretamente disponível para as plantas (MENGEL e KIRKBY, 1982). Acima de 90% do N na camada superficial da maioria dos solos ocorre em formas orgânicas contendo de 0,06 a 0,3% N. Solos turfosos apresentam relativamente altos conteúdos de N, cerca de 3,5% (STEVENSON, 1982). Nitrogênio é um elemento muito móvel circulando entre a atmosfera, o solo e os organismos vivos. Muitos fatores e processos estão envolvidos neste "turnover" de N, alguns dos quais são físico-químicos e outros biológicos.

O nitrogênio possui grande importância no aumento do rendimento das plantas cultivadas, principalmente por ser um dos nutrientes absorvidos em maior quantidade pelas plantas.

A adição de resíduos orgânicos ao solo visa, principalmente, o suprimento de N para as culturas. A quase totalidade do N nos resíduos encontra-se na forma de compostos orgânicos. Para tornar-se disponível às plantas na forma de NO_3^- ou NH_4^+ , o N organicamente combinado deve ser primeiro mineralizado.

O nitrogênio é um dos elementos essenciais de difícil manejo no solo em função das inúmeras transformações a que está sujeito. As transformações de maior importância agrícola estão relacionadas à atividade biológica e envolvem mineralização do N orgânico, imobilização do N mineral, a nitrificação do N-NH_4^+ e a denitrificação dos estados mais oxidados (STEVENSON, 1982).

a. Mineralização e imobilização

A mineralização do N consiste na transformação do N

orgânico para formas inorgânicas. Já a imobilização é a assimilação biológica do N inorgânico para a formação de constituintes celulares.

A MO do solo contém N principalmente na forma amino (preteínas) e em menor grau na forma de compostos heterocíclicos nitrogenados (bases de ácidos nucleicos - N). A liberação de N-amino da MO é chamada proteólise e a redução do N-amino para NH_3 é chamada de amonificação. Estes processos, de acordo com MENGEL & KIRKBY(1982) podem ser representados esquematicamente como segue:

N orgânico do solo \longrightarrow R-NH_2 + CO_2 + produtos adicionais + Energia

R-NH_2 + H_2O \longrightarrow NH_3 + ROH + Energia

Em ambas as reações a energia é liberada, a qual é utilizada pelos microorganismos heterotróficos. Estes organismos necessitam de carbono orgânico como fonte de energia. O NH_4^+ resultante da amonificação pode facilmente ser oxidado a NO_2^- e NO_3^- se há disponibilidade de oxigênio e outros fatores ambientais estão contribuindo.

A decomposição de resíduos de plantas e animais, por microorganismos, resulta na formação de formas minerais de N (NH_4^+ e NO_3^-) e assimilação de parte do carbono (e N mineralizado) nos tecidos microbianos (Figura 3, reação A).

Parte do húmus nativo sofre o destino semelhante (reação B). Subseqüente "turnover" através de mineralização - imobilização leva à incorporação do N em formas estáveis de húmus

(reação C). A estabilização do N pode ocorrer através da reação dos produtos da decomposição parcial da lignina com constituintes nitrogenados (reação D).

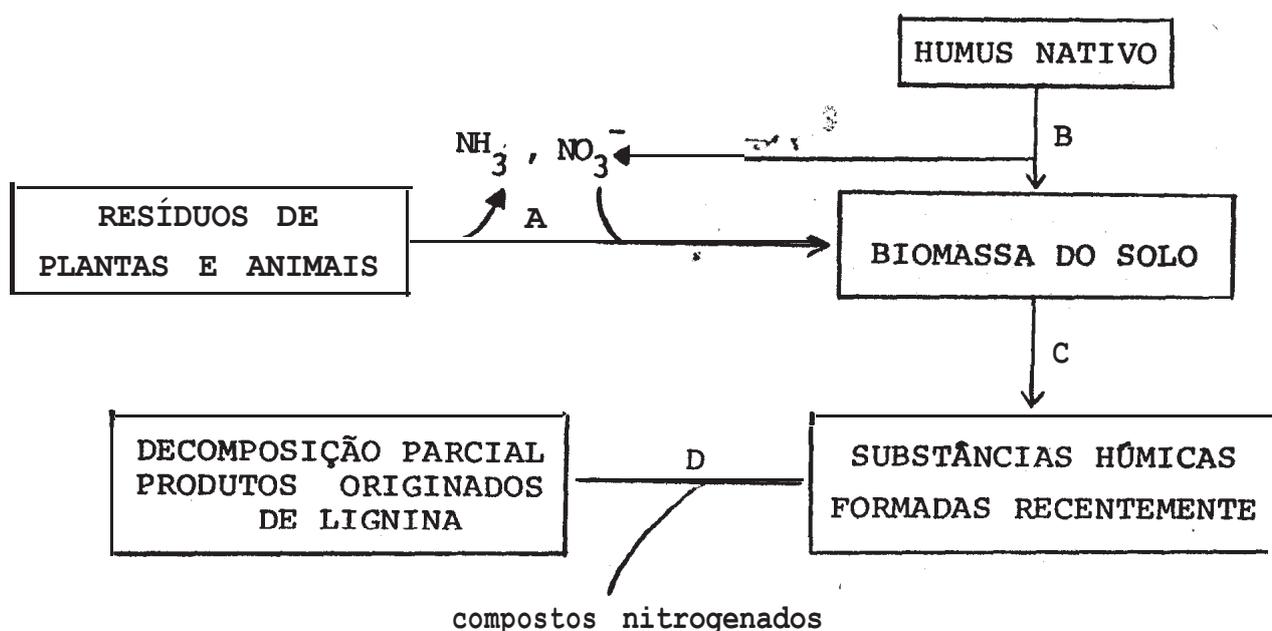


Figura 3 - Reações descrevendo a incorporação de formas orgânicas de N em formas estáveis de N (STEVENSON, 1982).

Exceto sob circunstâncias anormais, tanto mineralização como imobilização ocorrem no solo, mas em direções opostas. Deste modo a medição das trocas nos níveis de **N-mineral** (NH_4^+ e NO_3^-) fornecem uma magnitude dos dois processos opostos.

b. Nitrificação e Denitrificação

A oxidação biológica da amônia para nitrato é conhecida como nitrificação. Amônia é primeiro oxidada a NO_2^- , o qual por sua vez, é depois oxidado a NO_3^- . O processo é mediado por bactérias autotróficas, sendo que dois grupos muito especiali-

zados de bactérias estão envolvidos, um na oxidação de NH_4 para NO_2^- e outro na oxidação de NO_2^- a NO_3^- . De acordo com citações de MENGEL & KIHKBY (1982), várias gêneros e espécies autotróficas oxidam amônio a nitrito incluindo *Nitrosomonas*, *Nitrosolubus*, *Nitrosospira*, enquanto que na oxidação de nitrito a nitrato espécies de *Nitrobacter*. Ambos oxidadores de amônio e nitrito são obrigatoriamente aeróbicos.

Os microorganismos nitrificadores oxidam tanto o NH_4^+ liberado por amonificação como o NH_4^+ aplicado como fertilizante. Os fertilizantes amoniacais deste modo são também convertidos a nitrato, sendo que a taxa na qual a nitrificação ocorre depende das condições do solo.

Muitas espécies de bactérias encontradas no solo são capazes de reduzir nitratos e nitritos para gases nitrogenados (NO , N_2O , N_2) os quais são depois liberados para a atmosfera. Esta redução dissimilatória é conhecida como denitrificação (MENGEL & KIHKBY, 1982) e pode ser representada de acordo com a seguinte seqüência de redução:



As bactérias denitrificantes que realizam estas reações são essencialmente aeróbicas. Os óxidos de nitrogênio (NO_3^- e NO_2^-) agem como aceptores de elétrons na ausência de oxigênio (KNOWLES, 1982).

2.1.6. A Biomassa Microbiana do Solo

Os microorganismos ativos na decomposição de resíduos vegetais e animais utilizam estes materiais para formação e multiplicação das suas células, aumentando a população (biomassa microbiana), a qual é incorporada como parte dos compostos orgânicos do solo.

A biomassa microbiana do solo (BMS) de acordo com JENKINSON e LADD (1981) é definida como a parte viva da MO do solo, excluindo raízes de plantas e animais do solo maiores do que $5 \times 10^3 \mu\text{m}^3$. Em média a BMS contém 2 a 4% do carbono e 4 a 8% do nitrogênio total de um solo (NICOLARDOT et alii, 1982).

De uma maneira geral situações favorecendo o acúmulo de MO aumentam ambos a quantidade de biomassa e a proporção na MO do solo.

A BMS possui um duplo papel no solo: como o agente de transformação através do qual passam todos os materiais orgânicos naturais que entram no solo, e também como um pequeno mas lábil reservatório de N, P e K. Do ponto de vista químico do solo a BMS é uma pequena mas lábil fração da MO do solo que traz uma contribuição para a nutrição de plantas maior do que o seu tamanho possa sugerir. Do ponto de vista do microbiólogo, o aspecto da BMS que está agora surgindo é de uma importante fração da MO, a qual apresenta duas características, uma variada riqueza de espécies e uma habilidade para sobreviver a condições severas.

A decomposição de restos de cultura, com a conseqüente mineralização de N, S e P e outros elementos, é parte da ciclagem de nutrientes e em solos tropicais de baixa fertilidade, essa ciclagem é indispensável à manutenção da produtividade (SAMPAIO e SALCEDO, 1982a). ANDERSON e DOMSCH (1980) ao determinarem o teor mineral médio de células microbianas encontraram quantidades médias de N, P, K e Ca na microflora de 29 solos (nos 12,5 cm superficiais) de 108, 83, 70 e 11 kg/ha, respectivamente. FARIA e DE-POLLI (1987) utilizando-se dos fatores obtidos por ANDERSON e DOMSCH (1980) em solo Padzólico Vermelho Amarelo em morro sob mata obtiveram quantidades em kg/ha na BMS de: 101 de N, 78 de P, 68 de K e 9 de Ca. O teor de carbono da biomassa em relação ao carbono total foi de 2,418 e embora este percentual seja pequeno, segundo os autores a biomassa recicla uma quantidade apreciável de N, P e K.

Os métodos mais freqüentemente usados para quantificar BMS são fumigação do solo (JENKINSON e POWLSON, 1976); taxa de respiração em resposta à adição de glicose (ANDERSON e DOMSCH, 1978b); índice de ATP (PAUL e JOHNSON, 1977 e JENKINSON e OADES, 1979) e método de observação direta. JENKINSON e LADD (1981) consideram que somente estes quatro métodos estão atualmente disponíveis para quantificação da BMS. No Brasil só recentemente é que algumas determinações de BMS foram realizadas usando-se um dos métodos apropriados, o de fumigação (SAMPAIO e SALCEDO, 1982a, 1982b; CERRI et alii, 1982, 1983, 1985; SAMPAIO et alii, 1986; FARIA e DE-POLLI, 1987; MINHONI e CEPRI, 1987 e LÚCIO et alii, 1988).

Quando um solo é exposto a um fumigante volátil, o fumigante removido e o solo incubado, a respiração é em geral inicialmente menor do que num controle não-fumigado. Após algumas horas, a taxa de respiração do solo fumigado torna-se muito maior do que a do controle, mas baixa novamente dentro de poucos dias. Deste modo, durante um curto período, o solo fumigado consome mais oxigênio e evolui mais CO_2 do que o solo não tratado (JENKINSON e LADD, 1981). A fumigação deste modo acelera ligeiramente a decomposição da MO do solo. Este "fluxo de decomposição" é definido como a quantidade de CO_2 evoluído (ou O_2 consumido ou N mineralizado) por um solo fumigado quando incubado por um dado tempo, menos o CO_2 evoluído (ou O_2 consumido ou N mineralizado) pela mesma quantidade de solo não tratado no mesmo tempo. JENKINSON e POWLSON (1976) assumiram que a decomposição microbiana da MO nativa do solo procede na mesma taxa em ambos os solos, fumigado e não fumigado, apesar das diferenças na população microbiana trazidas pela fumigação e que o tamanho deste fluxo poderia ser então relacionado ao tamanho da BMS pela expressão:

$$B = F/Kc$$

onde B é a biomassa C do solo (em $\mu\text{g C/g solo}$);

F é o C-CO_2 evoluído pelo solo fumigado durante a incubação, menos aquele evoluído pelo solo não fumigado incubado no mesmo tempo sob as mesmas condições, também em $\mu\text{g C/g solo}$; e Kc é a fração da biomassa-C mineralizada para CO_2 durante a incubação.

O cálculo da biomassa a partir do fluxo de decomposi-

ção necessita que a proporção de C mineralizado das células mortas com CHCl_3 seja conhecido. Para determinar esta proporção ANDEHSON e DOMSCH (1978a) adicionaram 15 espécies de fungos e 12 espécies de bactérias marcados com ^{14}C a 4 tipos de solos e estes foram fumigados por 24 horas com CHCl_3 , reinoculados com solo não fumigado, e incubados a 22°C por 10 dias, calculando-se uma mineralização média dos dois tipos de células em 41,1%, assumindo a proporção de 1:3 para a distribuição da biomassa bacteriana e fúngica na população do solo. De acordo com JENKINSON (1976) considerando todos os organismos adicionados juntos, houve uma mineralização de $50,0 \pm 8,2\%$ de C em 10 dias de incubação após a fumigação, dando um valor médio de 0,5 para o fator Kc. SAMPAIO et alii (1986) determinaram a proporção do C da biomassa mineralizado a CO_2 após a fumigação, adicionando massas conhecidas de três fungos em três solos e o valor médio obtido ($\text{Kc} = 0,41$) foi semelhante aos determinados por outros autores, em solos de clima temperado.

Segundo JENKINSON e POWLSON (1976) o método não fornece resultados muito confiáveis nos solos que receberam grandes adições recentes de matéria orgânica decomponível. A significância destas restrições foi demonstrada por SPAHLING et alii (1981) os quais encontraram que estimações da BMS foram confiáveis somente após 28 dias de incubação para solos corrigidos com ácidos fenólicos. De acordo com os mesmos autores as primeiras amostragens apresentaram estimativas da biomassa baixas ou negativa, as quais foram atribuídas a inabilidade da po-

pulação reinoculada nas amostras fumigadas em degradar o substrato remanescente tão rápido como ele foi metabolizado pelos microorganismos nas amostras controle. Para superar essa limitação VORONEY (1979), utilizando a mesma metodologia, sugeriu mudança nos cálculos para obtenção da quantidade de BMS. O cálculo, segundo JENKINSON e POWLSON (1976), parte da hipótese que a população microbiana que se vai formando após a fumigação, continua a consumir os substratos do solo, inclusive a palha, no mesmo ritmo que antes da fumigação, além de consumir a biomassa morta. O cálculo, segundo VORONEY (1979), assume que a população microbiana que vai se formando após a fumigação cessa completamente de consumir os substratos do solo, consumindo apenas a biomassa morta. De acordo com VORONEY e PAUL (1984) os dados de ^{14}C indicaram que a biomassa C pode ser calculada pela aplicação de um valor Kc de 0,41 para C-CO_2 evoluído da amostra fumigada sem subtração de um controle não fumigado. SAMPAIO et alii (1986) sugerem que em trabalhos futuros a biomassa seja calculada pelas duas fórmulas, estabelecendo-se assim, os limites mínimos e máximas do valor real para JENKINSON e POWLSON (1976) e VORONEY (1979), respectivamente.

CERRI e JENKINSON (1981) ao estudarem a formação de biomassa microbiana durante a decomposição de "ryegrass" marcado com ^{14}C em um solo com pH 6,8 da Inglaterra e outro com pH 3,6 do Brasil, concluíram que as medições de biomassa -C em solos fortemente ácidos não é adequadamente válida. Com solos calcários erros são introduzidos através da decompo-

sição do bicarbonato (HCO_3^-), particularmente se eles contém pouca biomassa (JENKINSON e POWLSON, 1976). De acordo com ADAMS e ADAMS (1983) a aplicação de calcário aumentou o C e N na biomassa em aproximadamente 30% do total. Os mesmos autores salientam que seja provável que o método de fumigação com clorofórmio não seja aplicável para solos de baixo pH ($\leq 4,5$).

SAMPAIO e SALCEDO (1982b) ao adicionarem ao solo palha marcada com ^{14}C em três níveis (0, 0,3 e 0,6% do peso do solo) e nitrogênio (0, 50 e 100 μg N/g solo) concluíram que a adição de N reduziu a liberação de CO_2 , tanto originado da palha quanto nativo do solo, e aumentou a incorporação de C da palha à biomassa microbiana. CERRI et alii (1982) ao incorporarem a um Latossolo Vermelho escuro de textura média folhas de cana-de-açúcar marcadas com ^{14}C (1 mg C/g solo), após 67 dias de incubação, constataram que o solo com material vegetal liberou mais carbono nativo que o solo sem adição (724 μg C/g solo contra 424 μg C/g) e que 25% do carbono incorporado foi mineralizado; a adição de material vegetal dobrou a quantidade de BMS.

CERRI et alii (1985) quantificaram o efeito do desmatamento sobre a biomassa microbiana de um Latossolo Amarelo distrófico da Amazônia. Sob condições de mata natural a biomassa estava restrita aos 15 cm superficiais do solo e equivalia a 26 mg C/m^2 (1,3% do carbono total), enquanto que o desmatamento e a queima da vegetação foram acompanhados de uma queda de 2/3 da biomassa microbiana inicial a qual desapareceu totalmen-

te nos primeiros 10 cm. No solo cultivado por dois anos e depois deixado em pousio a biomassa microbiana voltou a ser a mesma do solo sob mata natural, porém sua distribuição no perfil apresentou um máxima de concentração na superfície do solo.

BROOKES et alii (1985) propuseram um novo método de "extração direta" para medir biomassa microbiana nitrogênio do solo (biomassa N) o qual é baseado na fumigação do solo com clorofórmio (CHCl_3) por 24 horas seguido por imediata extração com K_2SO_4 0,5M e medição do N total liberado pela fumigação nos extratos do solo.

Métodos para medir biomassa P do solo (BROOKES et alii, 1982 e HEDLEY e STEWART, 1982) e biomassa S (SAGGAR et alii, 1981) tem sido desenvolvidos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Num período de 102 dias em casa-de-vegetação e 90 dias em sala de incubação, pertencentes à EMBRAPA (Unidade de Apoio ao Programa Nacional de Pesquisa em Biologia do Solo), no município de Itaguaí (RJ), foram conduzidos dois experimentos, respectivamente:

a. Solo submetido à adição de diferentes materiais orgânicos e posterior cultivo de milho (*Zea mays* L.) cultivar Swan; e

b. Incubação de solo com incorporação de diferentes materiais orgânicos, em jarros hermeticamente fechados.

3.1. Tratamentos Utilizados

Foram testadas doses crescentes dos seguintes materiais: parte aérea de feijão bravo do Ceará (*Canavalia brasiliensis*), esterco bovino e folhas de capim colômbio (*Panicum maximum*), nos dois experimentos conduzidos, de acordo com o Quadro 1. O feijão bravo é uma leguminosa perene, herbácea, de grande alongamento, que se adapta bem em solos ácidos e vegeta vigorosamente, principalmente em regiões quentes, sendo bastante

eficiente no aproveitamento dos nutrientes.

As dosagens dos materiais orgânicos referem-se à base seca. O nitrogênio no tratamento L (testemunha nitrogenada) foi aplicado ao solo com uma solução de NH_4NO_3 contendo 40 ppm de N (80 kg N/ha) no início do experimento e aos 20, 35, 43, 49, 56 e 65 dias após o plantio, totalizando a quantidade que equivale a 560 kg de N/ha.

Quadro 1 - Codificação e descrição dos tratamentos.

CODIFICAÇÃO	TRATAMENTOS
A	Testemunha
B	20 t/ha de feijão bravo
C	40 t/ha de feijão bravo
D	60 t/ha de feijão bravo
E	10 t/ha de esterco bovino
F	20 t/ha de esterco bovino
G	30 t/ha de esterco bovino
H	20 t/ha de capim colonião
I	40 t/ha de capim colonião
J (1)	60 t/ha de capim colonião
L	Testemunha nitrogenada

(1) Quantidade equivalente a 80 kg/ha no início do experimento e 480 kg/ha durante o cultivo do milho.

3.2. Caracterização do Solo

Utilizou-se amostras coletadas até a profundidade de 20 cm de um solo Podzólico Vermelho Amarelo série Itaguaí (MENDES et alii, 1954) do município de Itaguaí (RJ), em área com vegetação de capim colonião. As análises químicas e físicas das amostras de solo foram realizadas de acordo com a metodologia descrita no Manual de Métodos de Análise de Solo da EMBRAPA

(1979), com os resultados descritos no Quadro 2.

Antes de ser utilizado no experimento de casa-de-vegetação o solo coletado foi seco ao ar, tamizado em peneira de 5 mm de malha, homogeneizado e armazenado em sacos de polietileno. No caso do experimento de incubação o solo coletado foi tamizado em peneira de 2 mm de malha, homogeneizado e utilizado 24 horas após.

Quadro 2 - Análise química e granulométrica dos solos utilizados nos experimentos de casa-de-vegetação e sala de incubação (média de 2 repetições)

ANÁLISES	EXPERIMENTOS	
	Casa-de-vegetação	Sala de incubação
<u>QUÍMICA</u>		
pH (H ₂ O, 1:2,5)	5,4	5,1
N total (ppm)/(%)	840,0/0,084	...
N-NH ₄ ⁺ (ppm)	12,6	...
N-NO ₃ (ppm)	7,3	...
C orgânico (%)	1,07	...
Relação C/N	12,74	...
P µg/cm ³)	1,6	2,0
K µg/cm ³)	112,0	107,0
Ca (meq/100 cm ³)	2,0	2,4
Mg (meq/100 cm ³)	0,7	1,5
Al (meq/100 cm ³)	0,2	0,4
<u>GRANULOMÉTRICA (%)</u>		
Argila	30	25
Silte	7	13
Areia fina	1	1
Areia grossa	62	61

3.3. Caracterização dos Materiais Orgânicos

Nas análises químicas dos materiais orgânicos contidos no Quadro 3, o carbono orgânico total foi obtido através do método da EMBRAPA (1979) e nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio totais segundo TEDESCO (1982).

Quadro 3 - Análise química⁽¹⁾ de materiais orgânicos utilizados nos experimentos de casa-de-vegetação e sala de incubação (médias de 3 repetições)⁽²⁾

Materiais orgânicos	ANÁLISE QUÍMICA						Matéria seca	Relação C/N
	C	N	P	K	Ca	Mg		
	%							
	Experimento de casa-de-vegetação							
Feijão bravo	42,00	2,70	0,49	7,12	0,84	0,44	100	16
Est. bovino	32,91	1,35	1,81	6,50	0,99	0,61	23	24
Cap.colonião	39,72	0,84	0,42	6,50	0,29	0,31	100	47
	Experimento de sala de incubação							
Feijão bravo	37,11	2,44	0,45	4,63	0,91	0,51	100	15
Est.bovino	31,00	1,40	1,81	5,25	1,10	0,63	100	22
Cap.colonião	41,08	0,82	0,47	6,50	0,37	0,33	100	50

(1) Os dados referem-se à base seca

(2) Análises realizadas nos laboratórios da EMBRAPA - UAPNPBS.

3.4. Condução do Experimento em Casa-de-vegetação com Milho

As parcelas constituíram-se de vasos com capacidade para 8 kg de solo.

Na implantação do experimento a quantidade de solo cor-

respondente a cada vaso foi colocada em sacos de polietileno onde foram homogeneizados e incorporados os materiais orgânicos. O esterco bovino foi incorporado "*in natura*", sendo proveniente de vacas leiteiras submetidas à alimentação em regime extensivo e ração como complemento. Parte aérea de feijão bravo e folhas de capim coloniã foram secos em estufa com circulação de ar a 65°C até peso constante, passados em moinho Wiley com peneira de 1 mm de malha e incorporados ao solo.

O solo foi mantido à capacidade de campo durante todo o experimento através de reposição diária de água.

Para eliminar possíveis limitações de fósforo e potássio para o milho, foi feita uma adubação básica para todos os tratamentos aos 20 dias. Utilizou-se o equivalente a 80 kg/ha de P_2O_5 e 53 kg/ha de K_2O , de acordo com a recomendação para a cultura, contida no Manual de Adubação para o Estado do Rio de Janeiro (UFRRJ, 1988). Como fonte de fósforo e potássio utilizou-se uma solução de $KH_2 PO_4$.

Por um período de 32 dias deixou-se o solo em incubação tendo por finalidade diminuir-se o possível efeito da imobilização de nitrogênio para o milho, principalmente nos tratamentos com coloniã. Após este período procedeu-se a semeadura do milho utilizando-se 3 sementes/vaso, as quais foram pré-germinadas em sala de incubação a $30,3 \pm 1,4^\circ C$ durante 48 horas.

O experimento constou de 5 conjuntos de 33 vasos (11 tratamentos x 3 repetições) nos quais foram feitas 5 amostragens aos 21, 35, 45, 60 e 70 dias após o plantio (DAP). Estas

amostragens descartaram progressivamente os conjuntos de vasos. As análises realizadas foram:

3.4.1. Solo

a) N - total

Por destilação em semi-micro Kjeldahl, após a digestão em bloco digestor de 1 g de solo seco ao ar, na presença de 4 ml de H_2SO_4 concentrado e 1,1 g de mistura de digestão ($\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} + \text{Se}$) conforme BREMNER e MULVANEY, (1982).

b) N-NH_4^+ e N-NO_3^- :

Determinados em solo úmido imediatamente após cada coleta, em destilador de arraste de vapores semi-micro Kjeldahl após a extração com KCl 2N (KEENEY e NELSON, 1982).

c) pH

Em potenciômetro na relação solo-água de 1:2,5 (EMBRAPA, 1979).

d) Carbono orgânico

Pelo método volumétrico com dicromato de potássio e titulação pelo sulfato ferroso amoniacal (EMBRAPA, 1979);

e) P, K, Ca e Mg:

Através da metodologia utilizada pela EMBRAPA (1979).

f) Fracionamento da matéria orgânica

Utilizando-se como extrator ácido, H_3PO_4 2M (DABIN, 1976) e extrator básico uma mistura de $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ 0,1M + NaOH 0,1N (KONONOVA e BELCHIKOVA, 1961 (citados por SANTOS, 1986) sendo a dosagem do carbono dos

extratos feita através do método volumétrico com dicromato de potássio e titulação pelo sulfato ferroso anoniacal (EMBRAPA,1999).

Amostragens realizadas nos itens e) e f) foram efetuadas aos 7 e 102 dias.

g) Quantificação da biomassa microbiana

Através do método de fumigação com clorofórmio descrito por JENKINSON e POWLSON (1976). Aos 6, 18, 33, 76 e 102 dias, três subamostras de 50 g de solo por parcela foram fumigadas por 24 horas em vapor de clorofórmio (**CHCl₃**) purificado. Após a fumigação o **CHCl₃** foi removido por sucessivas aspirações e o solo de cada frasco foi reinoculado com solo natural, incubado por 10 dias no escuro à temperatura de 30°C. A incubação foi feita em jarros de 3 litros contendo um frasco com 10 ml de NaOH 1N, além do frasco com solo. Os três jarros não fumigados foram incubados da mesma maneira. Jarros contendo apenas frascos com 10 ml de NaOH 1N também foram incubados para funcionar como prova em branco. Após esse período de incubação titulava-se a soda com HCl 0,5N, utilizando-se 2 ml de solução aquosa saturada de **BaCl₂** para precipitação do **Na₂CO₃** e duas de solução alcoólica a 1% de fenolftaleína, como indicador. Determinava-se o carbono evoluído do solo, usando-se a equação:

$$\mu\text{g C/g solo} = \frac{v_b \text{ (ml)} \cdot V_a \text{ (ml)} \cdot N_{ac} \cdot 0,006 \cdot 10^6}{PS}$$

onde V_b (ml) = volume de HCl (ml) gasto na titulação do branco, ou seja, 10 ml de NaOH que foi incubado sózinho;

V_a (ml) = volume de HCl (ml) gasto na titulação da NaOH que recebeu o **CO₂** evoluído do solo;

Nac = normalidade exata do HCl

PS = peso do solo seco (g).

A seguir, aplicava-se os dados de carbono na equação para o cálculo do carbono da biomassa microbiana, segundo a hipótese de JENKINSON e POWLSON (1976) e a de VORONEY (1979).

$$B = F/Kc \text{ (Jenkinson e Powlson).}$$

onde B = biomassa, em micrograma de C por grama de solo;

F = fluxo de decomposição, diferença entre a quantidade de CO₂ liberado pela amostra fumigada em 10 dias e CO, liberado pelo controle, no mesmo período;

Kc = 0,41, que representa a fração do carbono de biomassa mineralizada para CO₂ durante o período de incubação de acordo com os dados obtidos por ANDERSON e DOMSCH (1978a) e SAMPAIO e SALCEDO (1986).

$$B = F/Kc \text{ (Voroney)}$$

onde B = biomassa, em micrograma de C por grama de solo;

F = fluxo de decomposição, CO₂ liberado pela amostra fumigada em 10 dias;

Kc = 0,41, que representa a fração do carbono de biomassa mineralizada para CO₂ durante o período de incubação de acordo com os dados obtidos por ANDERSON e DOMSCH (1978a) e SAMPAIO e SALCEDO (1986).

3.4.2. Planta

a) Matéria seca da parte aérea e raiz:

Por secagem do tecido vegetal a 65°C até peso constante.

b) N total:

Em destilador de arraste de vapores semi-micro Kjeldahl após a digestão, em bloco digestor, de 0,2g de amostra moída, com a adição prévia de H_2O_2 , H_2SO_4 e mistura de digestão ($\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} + \text{Se}$), segundo o método descrito por TEDESCO (1982).

As análises foram realizadas aos 21, 35, 45, 60 e 70 DAP.

3.5. Condução do Experimento de Incubação

Os mesmos tratamentos descritos no Quadro 1, alterando-se apenas as doses de esterco bovino que foram 20, 40 e 60 t/ha, foram incorporados ao equivalente a 44 g de solo seco a 105°C. Os tratamentos foram incubados a 30,3 ± 1,4°C em frascos de vidro com 13,2 cm^2 de área e 10 cm de altura mantidos à capacidade de campo. Os tratamentos foram colocados em jarros de vidro de 3 litros de capacidade, hermeticamente fechados, e adicionou-se também 1 frasco contendo 10 ml de água destilada para manutenção de vapor d'água na atmosfera do jarro.

O experimento constou de 3 conjuntos de 44 jarros (11 tratamentos x 4 repetições), nos quais foram feitas 3 amostragens aos 6, 46 e 90 dias. Estas amostragens descartaram progressivamente os conjuntos de jarros.

No conjunto de jarros onde foi feita a amostragem aos 90 dias colocou-se um frasco com 20 ml de NaOH 1N, que foi utilizado para coletar o CO_2 evoluído. Quatro jarros contendo apenas o frasco com NaOH 1N serviram de branco. As análises realizadas foram:

a) Quantificação da biomassa microbiana do solo: através do método de fumigação com clorofórmio, já descrito anteriormente. As amostragens foram feitas aos 6, 46 e 90 dias onde 2 frascos de cada repetição foram fumigados e outros 2 não foram fumigados.

b) **C-CO₂** evoluído do solo:

Utilizou-se quatro repetições por tratamento, sendo as amostragens feitas aos 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56, 63, 70, 77, 84 e 90 dias de incubação. O procedimento foi o mesmo adotado nas parcelas não fumigadas da quantificação da biomassa microbiana. Após a incubação o **CO₂** retido pela soda na forma de **Na₂CO₃** foi titulado com HCl 1N utilizando-se 2 ml de solução aquosa saturada de **BaCl₂** para precipitação do **Na₂CO₃** formado e três gotas de solução alcoólica a 1% de fenolftaleína, como indicador.

3.6. Delineamento Experimental e Análise Estatística

O experimento conduzido em casa-de-vegetação foi um fatorial 11 x 5 (11 tratamentos e 5 épocas de colheita), em blocos casualizados, com 3 repetições.

O experimento conduzido em sala de incubação apresentou um delineamento inteiramente casualizado com 11 tratamentos e 4 repetições.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Experimento de casa-de-vegetação

4.1.1. Efeito dos Tratamentos sobre Algumas Propriedades Químicas do Solo

4.1.1.a - pH

Os resultados são apresentados no Quadro 1 e Figuras 1, 2 e 3 com as curvas das médias obtidas de cada tratamento/período de tempo. A análise estatística dos resultados revelou diferenças altamente significativas entre tratamentos, períodos de amostragem e uma interação entre ambos (Quadro 1).

Comparando os valores de pH nas diferentes épocas de amostragem (Figuras 1, 2 e 3) verifica-se de uma maneira geral picos temporários no pH do solo nos períodos iniciais que sucederam às aplicações dos materiais orgânicos, em conseqüência, possivelmente, do despreendimento de amônia durante a decomposição (HOYT e TURNER, 1975 e EPSTEIN et alii, 1976).

Os materiais orgânicos diferiram significativamente da testemunha e testemunha nitrogenada, evidenciando-se desta for-

Quadro 1 - Efeito da incorporação dos materiais orgânicos e posterior cultivo do milho no pH do solo (médias de 3 repetições) ⁽¹⁾

TRATAMENTOS	PH					
	Amostragens (dias)					
	7	21	35	77	102	Média
Testemunha	5,4e	5,3fg	5,2c	5,5c	5,5c	5,4g
20 t/ha Feijão bravo	6,1bc	6,3bc	5,9b	6,0b	5,9ab	6,0de
40 t/ha Feijão bravo	6,3ab	6,7a	6,3a	6,3ab	6,0ab	6,3ab
60 t/ha Feijão bravo	6,6a	6,7a	6,4a	6,5a	6,3a	6,5a
10 t/ha Esterco bovino	5,5e	5,6ef	5,8b	5,9b	5,8bc	5,7f
20 t/ha Esterco bovino	5,6de	6,2bcd	5,8b	6,0b	6,0ab	5,9e
30 t/ha Esterco bovino	6,2bc	5,9cde	6,2ab	6,1ab	6,2ab	6,1cd
020 t/ha Colonião	5,9cd	5,8de	5,8b	6,1b	5,9ab	5,9e
40 t/ha Colonião	6,1bc	6,1bcd	5,9b	6,2ab	6,2ab	6,1cd
60 t/ha Colonião	6,1bc	6,4ab	6,1ab	6,3ab	6,3a	6,2bc
Test.nitrogenada	5,3e	5,2g	5,2c	5,1d	4,6d	5,1b
Médias	5,9AB	6,0A	5,9AB	6,0A	5,9AB	
Análise de variância, valores de F						
Blocos	0,08ns					
Tratamentos (T)	90,84**					
Períodos de amostragem (P)	5,24**					
Inter.TxP	2,92**					
cv (%)	2,85					

* ou ** significativo ao nível de 5% ou 1% de probabilidade, respectivamente: ns, não significativo.

(1) Valores seguidos da mesma letra, minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 1%.

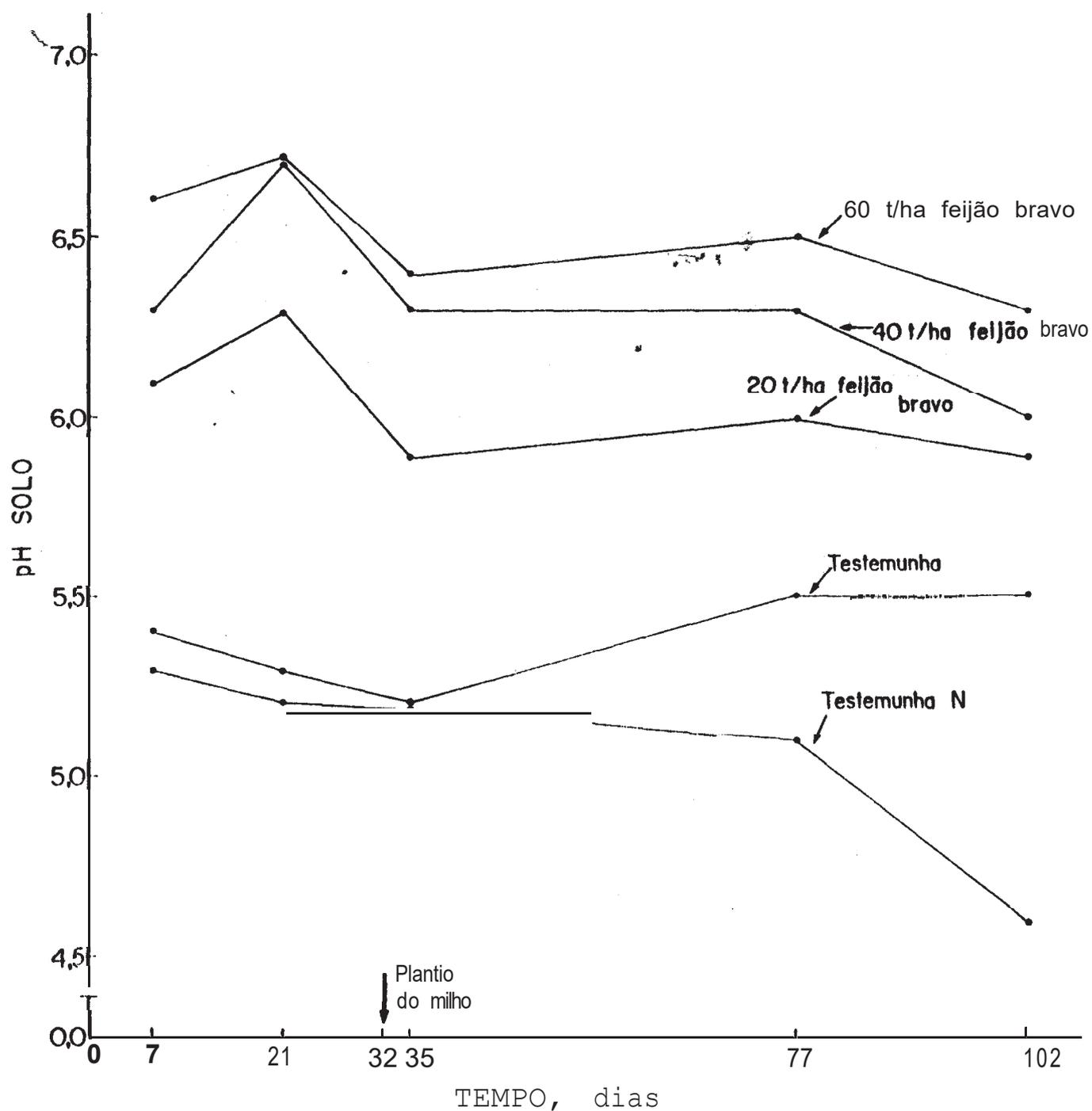


FIGURA 1 - Efeito da incorporação de feijão bravo e posterior cultivo do milho no pH do solo (médias de 3 repetições). Análise estatística no Quadro 1.

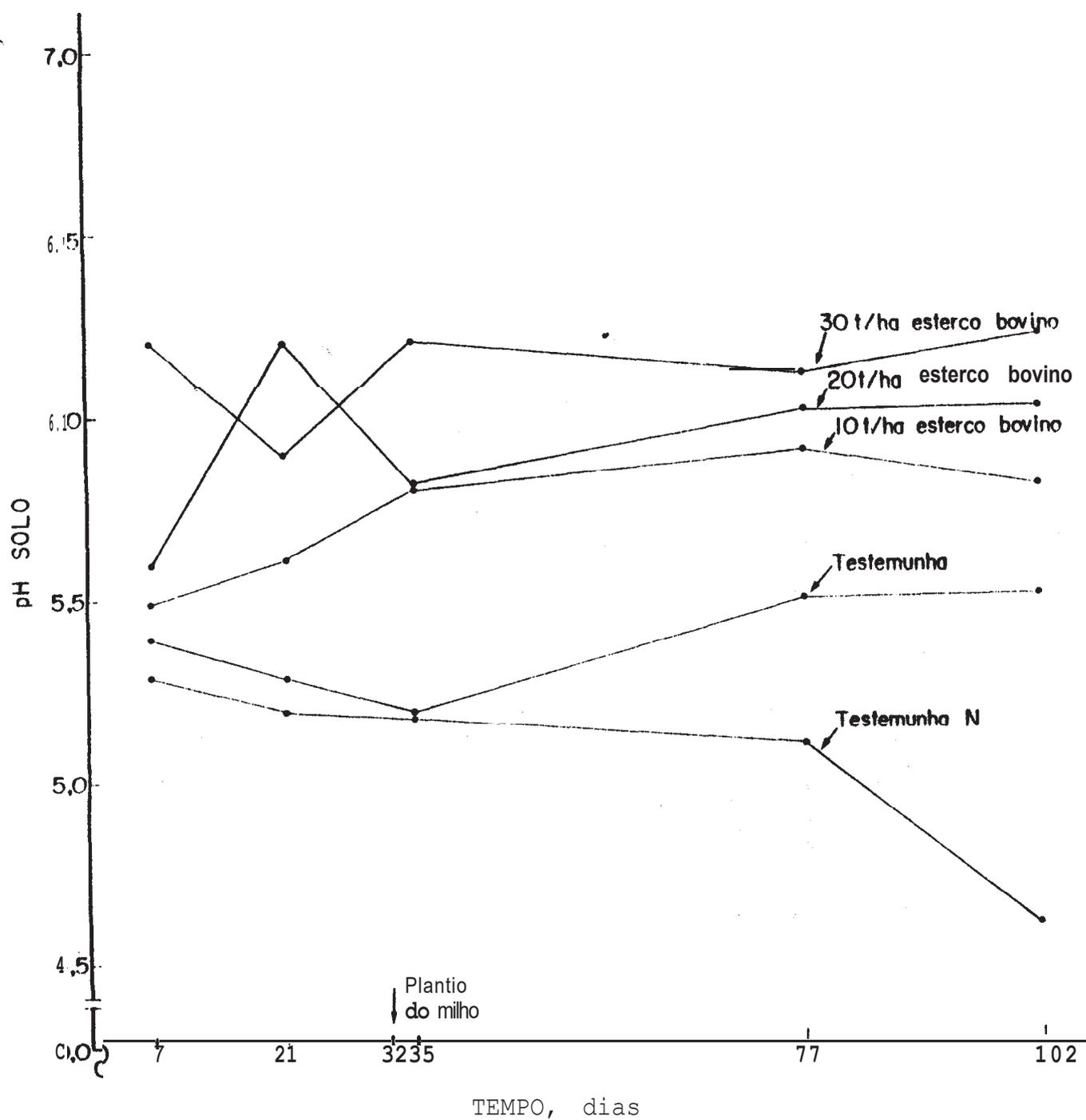


FIGURA 2 - Efeito da incorporação de esterco bovino e posterior cultivo do milho no pH do solo (médias de 3 repetições). Análise estatística no Quadro 1.

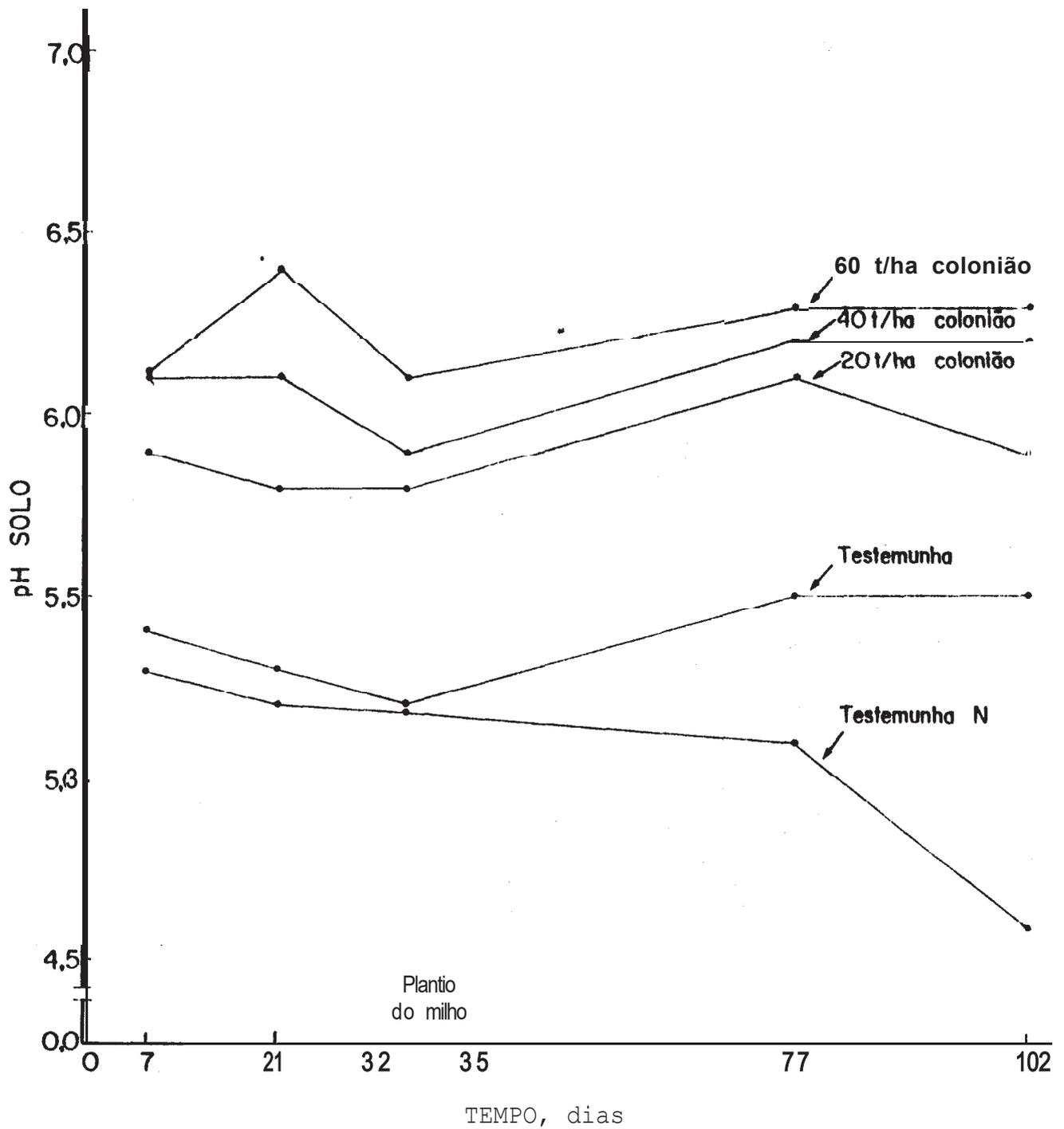


FIGURA 3 —Efeito da incorporação de colonião e posterior cultivo do milho no pH do solo (médias de 3 repetições). Análise estatística no Quadro 1.

ma, o seu efeito corretivo da acidez inicial do solo (pH 5,4), utilizado neste experimento. Os maiores efeitos foram obtidos com a aplicação de 60 t/ha de feijão bravo. Dados semelhantes foram obtidos por GIANELLO e ERNANI (1981) com um aumento de pH de 5,0 para 7,0 pela aplicação de 144 t/ha de cama de aviário, atribuído a um possível valor de neutralização do material utilizado e por EIRA e CARVALHO (1970), que estudando a decomposição de algumas fontes de carbono, em um Latossolo Vermelho Amarelo, concluíram haver efeito significativo na variação de pH com palha de cana e torta de algodão ao elevar-se o teor de carbono do solo a 4%. Concordam também os dados de MUGWIRA (1976) e LUND e DOSS (1980), que ao aplicarem esterco bovino ao solo por 3 anos consecutivos constataram aumentos duradouros de pH do solo, acompanhados da elevação dos teores de potássio do solo (ver Quadro 7) conforme LUND e DOSS (1980). GUERRA e ALMEIDA, (1983) trabalhando com diferentes níveis de composto de resíduo urbano e calcário na correção da acidez de um solo hidromórfico encontraram também elevação do pH do solo. PAULETTO et alii (1988) ao incorporarem 7 doses de cinza de casca de arroz 0-5-10-15-20-25-30 t/ha) em solo Podzólico Vermelho Amarelo e Planossolo, também encontraram tendência de elevação de pH do solo.

Os tratamentos que sempre se mantiveram com pH abaixo de 5,5 durante todos os períodos de amostragem, foram testemunha e testemunha nitrogenada. Na testemunha nitrogenada ocorreu significativa diminuição do pH, demonstrando evidência de rápida nitrificação, a qual é bem conhecida como um processo

acidificante (VITTI et alii, 1984 e SIMS e BOSWELL, 1980).

4.1.1.b - Fracionamento da Matéria Orgânica

Os dados de distribuição dos teores de carbono total no solo (Quadro 2) mostram que há um aumento muito rápido nos primeiros 7 dias após a adição de materiais orgânicos ao solo em relação à testemunha e testemunha-nitrogenada. Este aumento apresentou uma variação de 1,8 a 123% para os tratamentos 10 t/ha de esterco bovino e 60 t/ha de colômbio, respectivamente. No final do experimento, aos 102 dias, notou-se uma tendência geral para o decréscimo dos teores de carbono total do solo, em relação aos 7 dias, principalmente nos tratamentos com adição de colômbio, com uma queda de 30, 22 e 42% nas doses 20, 40 e 60 t/ha, respectivamente. Estes decréscimos, entretanto, não foram suficientes para diminuir os teores de carbono abaixo do valor da testemunha e testemunha nitrogenada, exceção feita ao tratamento 20 t/ha de colômbio. Os tratamentos com a adição de feijão bravo, apesar de sua menor relação C/N em relação ao esterco e colômbio, apresentaram maior teor de C total.

Os teores de nitrogênio total do solo (Quadro 2) mostram uma elevação aos 102 dias, em todos os tratamentos, exceção feita somente ao tratamento testemunha. Como já era esperado, os tratamentos com feijão bravo elevaram os teores de N no solo a valores mais elevados que os tratamentos com esterco e colômbio, mantendo-se estas diferenças até o final do experimento (102 dias).

No que diz respeito à relação C/N (Quadro 2) verifica-se

também um aumento muito rápido para alguns tratamentos, nos primeiros 7 dias, em função da incorporação dos materiais orgânicos, com destaque para as relações C/N 15,9; 18,1 e 22,1 para as doses de 20, 40 e 60 t/ha de colônia e 13,9 e 14,6 para as doses de 20 e 30 t/ha de esterco bovino, respectivamente.

Quadro 2 - Carbono total, N total e relação C/N do solo após a incorporação dos materiais orgânicos e posterior cultivo do milho (médias de 3 repetições).

TRATAMENTOS	C total (%)		N total (%)		Relação C/N	
	7	102	7	102	7	102
	dias					
Testemunha	1,07	1,09	0,084	0,083	12,7	13,1
20 t/ha Feijão bravo	1,34	1,40	0,115	0,122	11,7	11,5
40 t/ha Feijão bravo	1,66	1,50	0,138	0,142	12,0	10,6
60 t/ha Feijão bravo	1,94	1,63	0,166	0,170	11,7	9,6
10 t/ha Esterco bovino	1,09	1,20	0,087	0,095	12,5	12,6
20 t/ha Esterco bovino	1,22	1,19	0,088	0,090	13,9	13,2
30 t/ha Esterco bovino	1,39	1,18	0,095	0,102	14,6	11,6
20 t/ha Colônia	1,43	1,00	0,090	0,100	15,9	10,0
40 t/ha Colônia	1,74	1,36	0,096	0,100	18,1	13,6
60 t/ha Colônia	2,39	1,39	0,108	0,111	22,1	12,5
Test.nitrogenada	1,03	0,98	0,083	0,090	12,4	10,9

Aos 102 dias, nota-se um declínio na relação C/N do solo em função da decomposição microbiana, com uma variação da relação C/N de 9,6 a 13,6. O conhecimento desta relação é de um certo interesse, porque ela informa sobre a atividade biológica "global" do húmus (DUCRAUFOUR, 1960 citado por GODEFROY e J ACQUIN, 1975).

Entretanto ela é muito insuficiente para um estudo aprofundado da matéria orgânica do solo (GODEFROY e JACQUIN, 1975).

Os resultados do efeito da incorporação dos materiais orgânicos e posterior cultivo do milho no fracionamento da matéria orgânica do solo são apresentados nos Quadros 3, 4 e 6 e Figura 4, e sua análise de variância no Quadro 5.

O fracionamento do húmus (Quadro 3) indica que existem diferenças altamente significativas entre frações, tratamentos e períodos de amostragem. As frações ácidos fúlvicos livres e ácidos húmicos não apresentaram diferenças significativas entre tratamentos, ocorrendo o oposto para as frações ácidos fúlvicos e húmina.

Os resultados da separação densimétrica por H_3PO_4 2M no final do experimento (102 dias) de acordo com o Quadro 4 mostrou que, após a eliminação da matéria vegetal grosseira (fração superior a 2 mm) por tamização, restou pouca matéria orgânica livre no solo dos tratamentos testemunha e testemunha nitrogenada: esta fração representou 7 e 8% do carbono total da terra fina, respectivamente. Com a adição de materiais orgânicos ao solo houve um aumento em relação à testemunha nos teores de matéria orgânica livre com uma variação ao final do experimento de 157% para o tratamento 60 t/ha de feijão bravo.

Todos os tratamentos demonstraram tendência para uma alta relação AF/AH durante todo o experimento (Quadro 6) com uma variação de 2,43 a 4,76. Estes resultados estão de acordo

Quadro 3 - Efeito da incorporação dos materiais orgânicos e posterior cultivo do milho nas frações da matéria orgânica do solo (médias de 3 repetições)

F R A Ç Õ E S ⁽¹⁾											
TESTEMUNHA	Mat. Org.		Livre		Ác. Fúlv. Livres		Ácidos Fúlvicos		Ácidos Húmicos		Humina
	7 dias	102 dias	7 dias	102 dias	7 dias	102 dias	7 dias	102 dias	7 dias	102 dias	
	C%										
Testemunha	0,080e	0,076c	0,086a	0,104a	0,179b	0,258a	0,109a	0,076a	0,606def	0,569bcd	
20 t/ha Feijão bravo	0,161cde	0,127c	0,106a	0,110a	0,244ab	0,260a	0,117a	0,098a	0,706de	0,793a	
40 t/ha Feijão bravo	0,302ab	0,232ab	0,113a	0,113a	0,333a	0,270a	0,100a	0,119a	0,805bcd	0,759ab	
60 t/ha Feijão bravo	0,414a	0,293a	0,130a	0,112a	0,288ab	0,282a	0,132a	0,120a	0,946bc	0,815a	
10 t/ha Esterco bovino	0,089e	0,122C	0,090a	0,097a	0,270ab	0,242a	0,076a	0,100a	0,560ef	0,633abc	
20 t/ha Esterco-bovino	0,108de	0,117c	0,091a	0,100a	0,258ab	0,231a	0,094a	0,094a	0,666def	0,643abc	
30 t/ha Esterco bovino	0,127cde	0,086c	0,106a	0,101a	0,276ab	0,239a	0,113a	0,094a	0,770cd	0,650abc	
20 t/ha Colonião	0,200bcd	0,083c	0,099a	0,102a	0,281ab	0,306a	0,118a	0,086a	0,711de	0,411d	
40 t/ha Colonião	0,222bc	0,100c	0,107a	0,123a	0,288ab	0,313a	0,112a	0,132a	1,004b	0,684ab	
60 t/ha Colonião	0,319ab	0,143bc	0,135a	0,114a	0,359a	0,289a	0,134a	0,126a	1,403a	0,713ab	
- n i -	0,096e	0,075c	0,088a	0,094a	0,230ab	0,247a	0,099a	0,075a	0,509f	0,484cd	

(1) Valores seguidos da mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan a 1% de probabilidade.

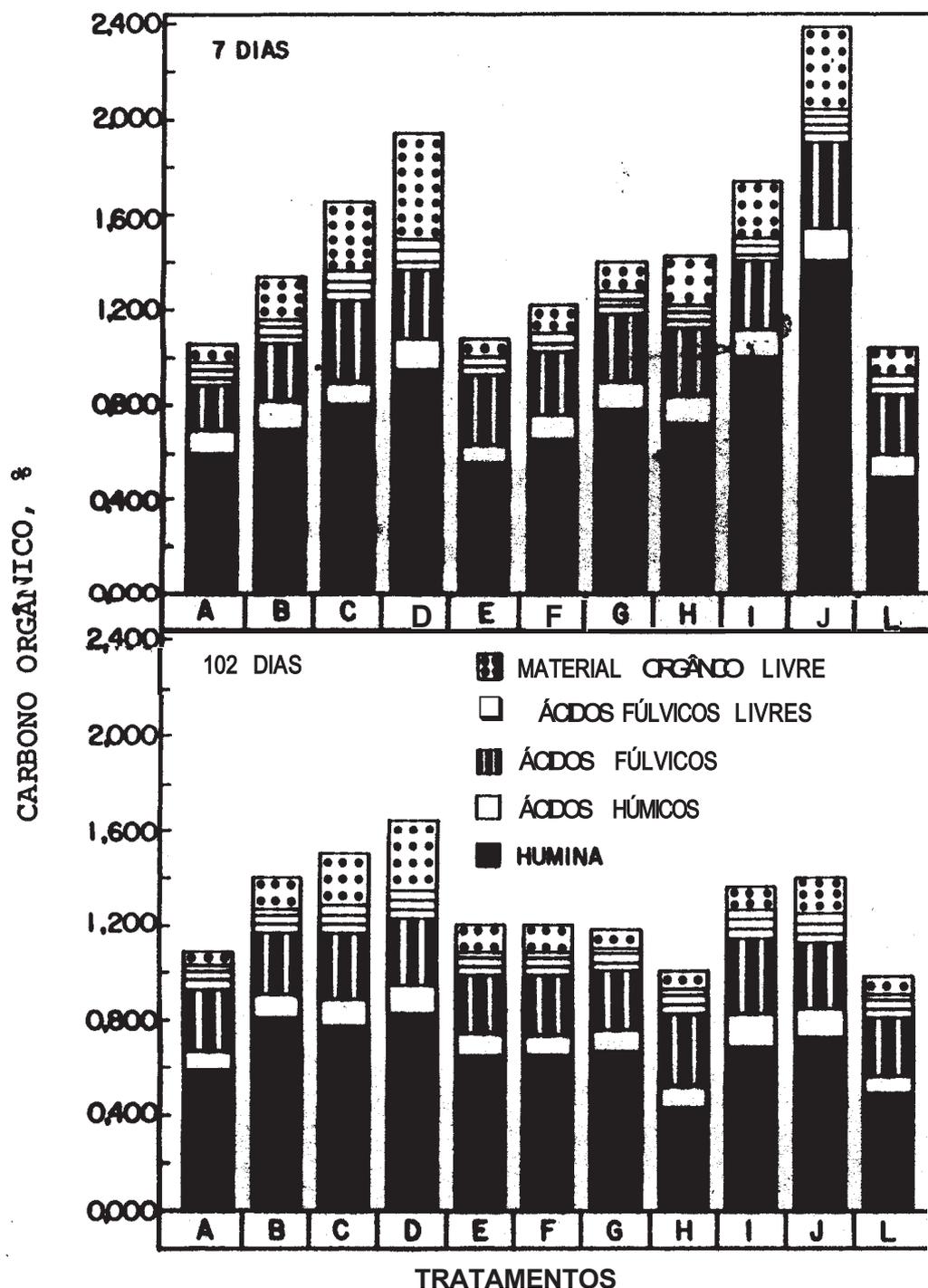


Figura 4 - Efeito da incorporação dos materiais orgânicos e posterior cultivo do milho nas frações da matéria orgânica do solo (médias de 3 repetições). (A) Testemunha; (B), (C) e (D) = 20, 40 e 60 t/ha feijão bravo; (E), (F) e (G) = 10, 20 e 30 t/ha de esterco bovino; (H), (I), (J) = 20, 40 e 60 t/ha colônia; (L) Testemunha nitrogenada. cv = 11,09%

Quadro 4 - Efeito da incorporação dos materiais orgânicos e posterior cultivo do milho na distribuição percentual das frações da matéria orgânica do solo (médias de 3 repetições).

F R A Ç Õ E S (1)

TRATAMENTOS	Mat. Org. Livre		Ác. Fúlv.Livres		Ácidos Fúlvicos		Ácidos Húmicos		Humina	
	7 dias	102 dias	7 dias	102 dias	7 dias	102 dias	7 dias	102 dias		
Testemunha	8 d	7 c	8a	10a	17ab	24ab	10a	7 a	57ab	53a
20 t/ha Feijão bravo	12bcd	9c	8a	8 a	18ab	19b	9a	7 a	53ab	57a
40 t/ha Feijão bravo	18ab	15ab	7a	8 a	20ab	18b	6a	8a	49b	51ab
60 t/ha Feijão bravo	22a	18a	7a	7 a	15b	17b	7 a	7 a	49b	50ab
10 t/ha Esterco bovino	8cd	10bc	8a	8 a	25a	20b	7 a	9a	52ab	53a
20 t/ha Esterco bovino	9cd	10bc	8a	8 a	21ab	20b	8a	8a	55ab	54a
30 t/ha Esterco bovino	9cd	7 c	8a	9a	20ab	21b	8a	8a	55ab	55a
20 t/ha Colonião	14bc	8 c	7a	10a	20ab	31a	8a	9a	50ab	41b
40 t/ha Colonião	13bcd	7c	6 a	9a	17b	23ab	7a	10a	58ab	50ab
60 t/ha Colonião	13bcd	10bc	6 a	8 a	16b	21b	6 a	9a	59a	51a
Testemunha-nitrogenada	9cd	8c	9a	10a	23ab	25ab	10a	8 a	49ab	49ab
Médias	12	10	7	9	19	22	8	8	53	51

(1) Valores seguidos da mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan a 1% de probabilidade.

Quadro 5 - Análise de variância das frações da matéria orgânica do solo.

Análise de Variância ⁽¹⁾	Valores de F	
Blocos	0,82 ns ⁽²⁾	0,02 ns ⁽³⁾
Tratamentos (T)	25,33	0,08 ns
Frações (F)	1104,73 **	1873,25 **
Períodos de amostragem (P)	29,71 **	0,18 ns
Inter. T x F	4,47 **	4,90 **
Inter. T x P	4,85 **	0,08 ns
Inter. F x P	8,39 **	7,47 **
Inter. T x F x P	1,84 **	1,85 **
cv (%)	11,09	9,51

* ou ** significativo ao nível de 5% ou 1% de probabilidade, respectivamente; ns, não significativo.

(1) Transformação das observações segundo arco seno da raiz de $x/100$ para análise estatística.

(2) Análise da variância referente ao quadro 3.

(3) Análise da variância referente ao quadro 4.

com aqueles obtidos por DABIN (1980) que ao estudar a matéria orgânica dos solos tropicais normalmente drenados observou na superfície dos solos ferralíticos tópicos e fortemente desaturados uma dominância dos ácidos fúlvicos sobre os ácidos húmicos em uma relação de 1,5 a 2 e de GODEFROY e JACQUIN (1975) que ao incorporarem 4% de folha de abacaxi e limbo + caule de bananeira encontraram que o material orgânico proveniente do abacaxi produziu mais ácidos fúlvicos do que ácidos húmi-

cos em relação à bananeira (1,38 contra 0,77). Consideram ainda estes autores que uma elevada relação AF/AH traduz-se por uma polimerização menos elevada na fração extraível. Ainda de acordo com DABIN (1980), a fração ácido fúlvico soda apareceu em segundo lugar após a fração húmica que sempre é o primeiro produto formado, sendo abundante nos solos recentemente enriquecidos em matéria orgânica.

Há uma tendência para aumento significativo na fração húmica aos 7 dias, com destaque para o tratamento 60 t/ha de colômbio (Quadro 3 e Figura 4), o qual apresentou um aumento em relação à testemunha de 232%. Este aumento ocorreu provavelmente devido às leves transformações de certos componentes vegetais como as ligninas, originando a húmica herdada, a qual corresponde a fração menos evoluída das húmicas (ALMENDROS et alii, 1980). Ao estudar a matéria orgânica dos solos tropicais, DABIN (1980) observou na superfície dos solos ferralíticos típicos e fortemente desaturados uma dominância da húmica herdada. No final do experimento houve um decréscimo geral na fração húmica nos tratamentos com adição de materiais orgânicos entretanto todos os tratamentos (com exceção de 20 t/ha de colômbio) apresentaram um teor superior à testemunha e testemunha nitrogenada.

Os acréscimos na matéria orgânica humificada do solo foram muito pequenas quando considera-se as quantidades incorporadas de capim colômbio e feijão bravo. Apenas a dose de 60 t/ha de feijão bravo alterou significativamente o teor de húmi-

quadro 6 - Valores de certas relações características de compostos húmicos após a incorporação dos materiais orgânicos e posterior cultivo do milho (médias de 3 repetições).

TRATAMENTOS	AF^1/AH		Taxa de ² , Extração (%)		$\frac{M.O.Livre^3}{M.O.Ligada}$	
	7 dias	102 dias	7 dias	102 dias	7 dias	102 dias
Testemunha	2,43	4,76	35	40	0,08	0,07
20 t/ Feijão bravo	2,99	3,78	35	34	0,14	0,10
40 t/ha Feijão bravo	4,46	3,22	33	33	0,22	0,18
60 t/ha Feijão bravo	3,17	3,28	28	32	0,27	0,22
10 t/ha Esterco bovino	4,74	3,39	40	37	0,09	0,11
20 t/ha Esterco bovino	3,71	3,52	36	36	0,10	0,11
30 t/ha Esterco bovino	3,38	3,62	36	37	0,10	0,08
20 t/ha Colonião	3,22	4,74	35	50	0,16	0,09
40 t/ha Colonião	3,53	3,30	29	42	0,15	0,08
60 t/ha Colonião	3,69	3,20	26	38	0,15	0,11
Testemunha nitrogenada	3,21	4,55	40	42	0,10	0,08

$$1) AF = AFL+AF \quad 2) \text{Taxa de Extração} = \frac{AFL+AF+AH}{c \text{ total}} \cdot 100 \quad 3) \frac{M.O.Livre}{M.O.Ligada} = \frac{M.O.Livre}{AFL+AF+AN+Hum.}$$

onde MOL = matéria orgânica livre; AFL = ácidos fúlvicos livres; AF = ácidos fúlvicos;

AH = ácidos húmicos; Hum. = humina

na do solo, enquanto que as demais frações da matéria orgânica humificada do solo não diferiram estatisticamente em todos os tratamentos.

Dos materiais orgânicos incorporados ao solo o esterco bovino foi o que apresentou em 102 dias a menor variação com relação à distribuição das frações da matéria orgânica do solo (Figura 4). Isto ocorreu provavelmente devido a sua maior mineralização pelo ataque microbiano; resultando na sua decomposição.

Ao observar-se os dados de taxa de extração (Quadro 6 aos 102 dias verifica-se que apenas as doses de 20 e 40 t/ha de colônia apresentaram valores superiores à testemunha. A mesma tendência foi observada na relação matéria orgânica livre/matéria orgânica ligada onde novamente as doses de 20 e 40 t/ha de colônia apresentaram a menor relação indicando também uma maior taxa de extração. Ao observarmos o Quadro 2 nota-se que os tratamentos com feijão bravo foram os que mantiveram, mesmo após 102 dias, maior teor de C total e do que foi acrescentado parte ainda está na forma de matéria orgânica livre. Apesar do colônia apresentar aos 102 dias menor teor de matéria orgânica livre, ele não apresentou maiores valores de m.o. humificada, quando comparado com o feijão bravo.

4.1.1.c - Fósforo, Potássio, Cálcio e Magnésio

Os teores de P, K e Canosolo variaram muito entre os tratamentos utilizados, ao passo que Mg apresentou pequena variação entre os tratamentos (Quadros 7 e 8).

Quadro 7- Efeito da incorporação dos materiais orgânicos e posterior cultivo de milho nos teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) do solo (médias de 3 repetições) ⁽¹⁾

TRATAMENTOS	TEOR									
	P		K		Ca		Mg			
	7 dias	102 dias	7 dias	102 dias	7 dias	102 dias	7 dias	102 dias	7 dias	102 dias
	µg/cm³									
Testemunha	11def	6e	117g	57f	2,8b	2,5e	2,0c	2,1c		
20 t/ha Feijão bravo	12def	7e	304f	112ef	3,2ab	2,8de	2,1bc	2,1c		
40 t/ha Feijão bravo	16cde	11de	446cd	171e	3,2ab	3,2bcde	2,2bc	2,3abc		
60t/ha Feijão bravo	22bc	15cd	552ab	256cd	3,7a	3,6bc	2,5ab	2,7a		
10 t/ha Esterco bovino	26b	15cd	402de	115ef	2,9b	2,9cde	2,0c	2,2bc		
20 t/ha Esterco bovino	27b	24ab	360ef	243d	3,2ab	3,9b	2,4abc	2,0c		
30 t/ha Esterco bovino	70a	30a	512bc	324bc	3,7a	3,4bcd	2,6a	2,4abc		
20 t/ha Colonião	11def	10de	309f	246d	3,0ab	4,7a	2,3abc	2,5ab		
40 t/ha Colonião	16cde	18bc	471cd	365b	3,0ab	2,8de	2,0c	2,3abc		
60 t/ha Colonião	18cd	16cd	618a	440a	3,1ab	3,4bcd	2,4abc	2,3abc		
Testemunha nitrogenada	8f	6e	117g	49f	2,6b	2,5e	2,1c	2,1c		
Médias	22	14	383	216	3,1	3,2	2,2	2,3		

⁽¹⁾ Valores seguidos da mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan a 1% de probabilidade.

No início do período de incubação dos materiais orgânicos (7 dias) o fósforo do solo apresentou os maiores acréscimos nas doses de esterco bovino em relação ao feijão bravo e colônia. Isto já era esperado em função do alto teor de P apresentado pelo esterco bovino (1,81%) em função de alimentação das vacas leiteiras com ração balanceada, em relação ao feijão bravo (0,49%) e colônia (0,42%). Esta tendência manteve-se após o cultivo do milho apresentando teores residuais nas doses de 30 e 20 t/ha de esterco bovino de 30 e 24 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$, respectivamente. Os teores de P do solo, como era esperado, diminuíram com o cultivo do milho em todos os tratamentos.

quadro 8 - Análise de variância dos teores de P, K, Ca e Mg do solo.

Análise de Variância	Valores de F			
	P	K	Ca	Mg
Blocos	1,94 ns	1,80 ns	1,14 ns	0,16 ns
Períodos de amostragem(P)	96,12 **	432,12 **	2,09 ns	0,85 ns
Tratamentos (T)	97,71 **	110,30 **	11,01 **	7,39 **
Inter.PxT	22,58 **	11,69 **	5,07 **	2,26 *
cv (%)	16,41	10,86	10,16	7,74

* ou ** significativo ao nível de 5% ou 1% de probabilidade, respectivamente; ns não significativo.

A adição de materiais orgânicos ao solo, já aos 7 dias de incubação, resultou em teores altos de K no solo com varia-

ção de 304 a 618 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$, enquanto testemunha e testemunha nitrogenada apresentaram teor de 117 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$. Após o cultivo do milho houve diminuição dos teores de K em todos os tratamentos com uma variação média de 43,6%. Apesar de ter havido com o cultivo do milho uma queda, como era esperado, no teor de potássio do solo, os níveis deste elemento ainda se mantiveram altos em todos os tratamentos que receberam adição de materiais orgânicos. Enquanto a testemunha, embora tenha recebido a aplicação de K, apresentou após o cultivo teores abaixo do nível considerado como crítico (80 ppm) de acordo com SIQUEIRA (1987). Nos tratamentos com adição de materiais orgânicos haveria possibilidade de outros cultivos sem adubação potássica. SILVA et alii (1985) ao incorporarem mucuna (*Styrolobium aterrimum*) e crotalária (*Crotalaria juncea*), como adubo verde, no aproveitamento de fosfato em solo ácido na cultura da aveia, encontraram aumentos nos teores de potássio do solo após a incorporação dos adubos verdes. ARAÚJO e ALMEIDA (1987) ao incorporarem feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) associado à adubação com fosfato de patos-de-minas e superfosfato triplo na cultura do milho, em solo Podzólico Vermelho Amarelo, série Itaguaí, encontraram elevação do teor de K disponível no solo quando avaliado após a colheita do milho.

A aplicação dos materiais orgânicos aumentou os teores de cálcio do solo em relação às testemunhas, as quais apresentaram durante todo o período experimental em torno de 2,5 meq/100 cm^3 . A adição de 60 t/ha de feijão bravo e 30 t/ha de

esterco bovino aos 7 dias de incubação, já apresentavam teores de cálcio de 3,7 meq/100 cm^3 . O efeito residual da aplicação dos materiais orgânicos em relação ao cálcio, após o cultivo do milho, foi estatisticamente significativo para alguns tratamentos quando comparados com as testemunhas.

O teor de magnésio do solo apresentou pequena variação entre tratamentos, com destaque para a dose 60 t/ha de feijão bravo que apresentou o maior efeito residual aos 102 dias com 2,7 meq/100 cm^3 , não havendo diferenças estatísticas significativas entre períodos de amostragem.

4.1.2. Efeito dos Tratamentos sobre Algumas Propriedades Biológicas do Solo

a. Evolução de C-CO_2 e quantificação da biomassa-C microbiana

A evolução de C-CO_2 das amostras fumigadas e não fumigadas é apresentada no Quadro 9, enquanto que a formação da biomassa-C microbiana no Quadro 10.

A adição dos materiais orgânicos atuou significativamente, durante toda a incubação, sobre a formação da biomassa-C microbiana pela hipótese de Voroney (Quadro 10). Os tratamentos 60 t/ha de feijão bravo e 60 t/ha de colônia, que apresentaram a maior evolução de C-CO_2 aos 6 dias, tanto nas amostras fumigadas como nas não fumigadas (Quadro 9), não apresentaram, conseqüentemente, um aumento na formação de biomassa-C microbiana de acordo com a hipótese de JENKINSON (Quadro 10). Isto ocorreu provavelmente devido a uma inversão no despreendimento

Quadro 9 - Efeito da incorporação dos materiais orgânicos e cultivo do milho na liberação de C-CO₂ em solo fumigado e não fumigado com clorofórmio e incubado por dez dias (médias de 3 repetições).

	C-CO ₂ , evoluído (amostragens, dias)											
	F U M I G A D O						N Ã O F U M I G A D O					
	6	18	33	76	102	6	18	33	76	102		
Testemunha	188	122	113	173	193	59	18	36	98	112		
20 t/ha Feijão bravo	382	200	173	269	288	354	125	65	130	110		
40 t/ha Feijão bravo	745	286	245	318	284	657	250	124	185	141		
60 t/ha Feijão bravo	1030	420	280	306	308	1018	362	162	222	167		
10 t/ha Esterco bovino	244	154	146	238	225	151	94	91	172	178		
20 t/ha Esterco bovino	268	196	204	239	302	258	115	184	182	184		
30 t/ha Esterco bovino	314	244	286	262	334	359	170	207	199	200		
20 t/ha Colonião	430	179	201	248	288	254	120	150	206	225		
40 t/ha Colonião	579	452	408	316	317	403	384	422	321	222		
60 t/ha Colonião	839	381	483	433	344	709	290	672	456	198		
Testemunha nitrogenada	158	140	91	157	189	80	26	22	71	72		

Análise de variância, valores de F

Blocos	1,08	ns
Tratamentos (T)	221,07	**
Periodos de amostragem (P)	271,35	**
Fumigação (F)	222,76	**
Inter. T x P	38,31	**
Inter. T x F	1,83	ns
Inter. P x F	5,01	**
Inter. T x P x F	2,59	**

CV (%) 17,48

* ou ** significativo ao nível de 5% ou 1% de probabilidade, respectivamente; ns, não significativo

Quadro 10 - Efeito da incorporação dos materiais orgânicos e cultivo do milho na biomassa-C microbiana do solo, segundo as hipóteses de Jenkinson e Voroney (médias de 3 repetições).

Biomassa-C Microbiana (2) (Amostragens, dias)											
JENKINSON						VORONEY					
TRATAMENTOS	6	18	33	76	102	6	18	33	76	102	
	$\mu\text{g C} \cdot \text{g solo}^{-1}$										
Testemunha	315ab	254a	186ab	185ab	197ab	459hi	298d	276de	422cd	471c	
20 t/ha Feijão bravo	69bc	181a	265a	340a	432a	932ef	488bcd	422cde	656bc	702abc	
40 t/ha Feijão bravo	214 ab	87a	297a	326a	349ab	1817c	698b	598bc	776b	693abc	
60 t/ha Feijão bravo	28bc	139a	288a	206ab	344ab	2512a	1024a	683b	746b	751ab	
10 t/ha Esterco bovino	228ab	147a	132ab	162ab	115b	595ghi	376cd	356cde	580bcd	549bc	
20 t/ha Esterco bovino	25bc	198a	51ab	140ab	288ab	654gh	478bcd	498bcd	583bcd	737ab	
30 t/ha Esterco bovino	-110 c	181a	192ab	154ab	327ab	766fg	595bc	698b	639bc	815a	
20 t/ha Colonião	428a	145a	125ab	104ab	153ab	1049e	437cd	490bcd	605bcd	702abc	
40 t/ha Colonião	428a	165a	-33b	-12b	232ab	1412d	1102a	995a	771b	773ab	
60 t/ha Colonião	315ab	222a	-460c	-57b	354ab	2046b	929a	1178a	1056a	839a	
Testemunha nitrogenada	192ab	279a	170ab	209ab	285ab	385i	341d	222e	383d	461c	

Análise de variância, valores de F

BLOCOS	2,48 ns	0,77 ns
Tratamentos (T)	3,11 **	163,89 ***
Períodos de amostragem (P)	8,48 **	118,43 **
Inter. T x P	4,40 **	19,69 **
CV (%)	65,95	14,18

* ou ** significativo ao nível de 5% ou 1% de probabilidade, respectivamente: ns, não Significativo.

(1) valores seguidos ds mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan a 1% de probabilidade.

(2) Calculadas segundo Jenkinson & Powlson: $B = (X - Y)/Kc$ e Voroney: $B = X/Kc$.

onde: B = biomassa ($\mu\text{g C/g solo}$)

X = carbono liberado do solo fumigado ($\mu\text{g C/g solo}$)

Y = carbono liberado do solo não fumigado ($\mu\text{g C/g solo}$)

Kc = 0,41.

de $C-CO_2$, ou seja, as parcelas fumigadas liberaram $C-CO_2$ com valores próximos as não fumigadas. Este fato limita o uso do método para solos com adição recente de material orgânico prontamente decomponível, como ressaltaram JENKINSON e POWLSON (1976) e vem sendo confirmado por vários pesquisadores como MARTENS (1985), SAMPAIO et alii (1986) e MINHONI e CERRI (1987). Para superar essa limitação VORONEY (1979), utilizando a mesma metodologia, sugeriu que os cálculos deveriam sofrer mudança e assumiu que a população microbiana que vai se formando após a fumigação, cessa completamente de consumir os substratos do solo, consumindo apenas a biomassa morta.

A formação da biomassa-C microbiana de acordo com a hipótese de VORONEY, pode ser observada no Quadro 10. Analisando-se os valores obtidos, de uma maneira relativa, pode-se notar que eles expressam melhor a formação da biomassa microbiana do que aqueles obtidos segundo a hipótese de JENKINSON e POWLSON (1976), com destaque para os tratamentos 30 t/ha de esterco bovino e 60 t/ha de colômbio. No final do experimento verifica-se ainda maior biomassa microbiana no solo, em relação às testemunhas, proporcionadas pelas maiores doses dos materiais orgânicos.

O Quadro 11 apresenta os dados de carbono da biomassa microbiana (CBM) em relação ao carbono total do solo (CT). A adição recente de material orgânico prontamente decomponível afetou a relação CBM/CT com uma variação grande entre os resultados obtidos, de acordo com a hipótese de VORONBY e com a hi-

Quadro 11 - Efeito da incorporação dos materiais orgânicos e posterior cultivo do milho no carbono total (CT) e carbono da biomassa microbiana (CBM) (3)

TRATAMENTOS	amostragens	dias	g.100g ⁻¹ solo	Carbono total (CT)		Carbono Biomassa Microbiana (1)		CBM (2) x 100			
				g.100g ⁻¹ solo	µg	g.100g ⁻¹ solo	µg	Jenkinson	Voroney	Jenkinson	Voroney
Testemunha											
20 t/ha Feijão	6	1,07	315ab	567hi	2,9				5,3		
bravo	102	1,09	197AB	430C	1,8				3,9		
40 t/ha Feijão	6	1,34	69bc	1073ef	0,5				8,0		
bravo	102	1,40	432A	674ABC	3,1				4,8		
60 t/ha Feijão	6	1,66	214ab	1741c	1,3				10,5		
bravo	102	1,50	349AB	819ABC	2,3				5,5		
60 t/ha Feijão	6	1,94	28bc	2353a	0,1				12,1		
bravo	102	1,63	344AB	996AB	2,1				6,1		
10 t/ha Esterco	6	1,09	228ab	706ghi	2,1				6,5		
bovino	102	1,20	115B	555BC	1,0				4,6		
20 t/ha Esterco	6	1,22	25bc	889gh	0,2				7,3		
bovino	102	1,19	288AB	741AB	2,4				6,2		
30 t/ha Esterco	6	1,39	110c	1062fg	2,8				7,6		
bovino	102	1,18	327AB	849A					7,2		
20 t/ha Colonião	6	1,43	428a	999e	3,0				7,0		
bravo	102	1,00	153AB	685ABC	1,5				6,9		
40 t/ha colonião	6	1,74	428a	1332d	2,5				7,7		
bravo	102	1,36	232AB	713AB	1,7				5,2		
60 t/ha Colonião	6	2,39	315ab	1670b	1,3				7,0		
bravo	102	1,39	354AB	844A	2,5				6,1		
Testemunha	6	1,03	192ab	462i	1,9				4,5		
nitrogenada	102	0,98	258AB	400C	2,9				4,1		

(1) Calculados segundo Jenkinson e Powelson (1976) e Voroney (1979)

(2) Para o cálculo expresso em g/100 g solo

(3) Valores seguidos da mesma letra maiúscula e minúscula nas colunas para um mesmo período de amostragem não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan a 1% de probabilidade.

pótese de JENKINSON, sugerindo que a hipótese de VORONEY superestimou os resultados em relação a de JENKINSON.

4.1.3. Efeito dos Tratamentos sobre a Disponibilidade de Nitrogênio no Solo e Desenvolvimento do Milho

4.1.3.a - Nitrogênio no solo: N total, N-NH_4^+ e N-NO_3^-

De acordo com o Quadro 12, a aplicação das três doses de feijão bravo resultou em um aumento no N total do solo em todos os períodos de amostragem, não havendo diferença significativa entre períodos nem na interação período x tratamentos, em relação aos tratamentos testemunha e testemunha nitrogenada (80 kg/ha no início do experimento e 480 kg/ha durante o cultivo). Isto já era esperado desde que as medições de N total incluem o N imobilizado na matéria orgânica bem como a fração mineral disponível. SIMS e BOSWELL (1980), estudando a influência da aplicação de resíduos orgânicos e fontes de nitrogênio inorgânico (nitrato de amônio e uréia), em taxas equivalentes a 224 kg/ha de N nos teores de nitrogênio do solo e produção de milho, encontraram a mesma tendência.

Os níveis de N total remanescentes no solo no final do período experimental (Quadro 12) são de particular interesse como indicadores do valor residual relativo dos materiais orgânicos. Os valores de N total neste trabalho indicam um aumento de 0,33 a 89,22% no N total do solo para os materiais orgânicos em relação à testemunha nitrogenada (NH_4NO_3). Mesmo a menor dose de feijão bravo proporcionou teores de N-total que

Quadro 12 - Efeito da incorporação dos materiais orgânicos e posterior cultivo do milho nos teores de N-total do solo (médias de 3 repetições) ⁽¹⁾

TRATAMENTOS	N-total					
	Amostragem (dias)					
	7	21	35	77	102	Médias
	ppm					
Testemunha	840	893	833	713	827	821g
20 t/ha Feijão bravo	1150	1143	1147	1137	1217	1159c
40 t/ha Feijão bravo	1387	1453	1440	1387	1417	1417b
60 t/ha Feijão bravo	1660	1643	1710	1547	1703	1653a
10 t/ha Esterco bovino	873	917	1000	910	953	931def
20 t/ha Esterco bovino	883	933	890	897	903	701efg
30 t/ha Esterco bovino	947	1037	1023	920	1020	989de
20 t/ha Colonião	900	967	957	863	997	937def
40 t/ha Colonião	963	1017	1020	990	1000	998d
60 t/ha Colonião	1087	1103	1020	1120	1113	1089c
Testemunhanitrogenada	827	833	897	810	900	853fg
Médias	1047	1085	1085	1027	1095	
Análise de variância, valores de F						
Blocos	2,44 ns					
Tratamentos (T)	124,08 **					
Períodos de amostragem (P)	3,66 ns					
Inter. T x P	0,50 ns					
cv (%)	8,33					

* ou ** significativo ao nível de 5% ou 1% de probabilidade, respectivamente; ns, não significativo.

(1) Valores seguidos da mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Duncan a 1%.

foi superior aos demais tratamentos, embora este valor não seja diferente estatisticamente do obtido com a adição de 60 t/ha de colônia. Baseado nestes dados pode-se afirmar que o feijão bravo possui um valor considerável como fonte residual de N.

Os teores de N-NH_4^+ e N-NO_3^- no solo, por período de amostragem, são apresentados no Quadro 13 e sua análise de variância no Quadro 14. Estes resultados mostram que somente a partir dos 77 dias os teores de N-NH_4^+ foram inferiores a 20 ppm em todos os tratamentos que receberam adição de materiais orgânicos. Os resultados demonstraram a lenta taxa de oxidação do N-NH_4^+ presente no solo do experimento. Eles diferem daqueles obtidos por EPSTEIN et alii (1978) em um estudo de incubação em que foram adicionados lodo de esgoto digerido e "in natura" onde com doses inferiores a 16 t/ha, o N-NH_4^+ inicial foi totalmente oxidado no período de 1-3 semanas e concordam com os mesmos autores que aumentando a dose para 48 t/ha, o mesmo comportamento só foi verificado treze semanas após o início da incubação. Discordam também com AITA (1984) em um experimento com o objetivo de verificar o efeito da adição de doses crescentes (9, 18 e 27 t/ha em peso seco) de esterco bovino "in natura" e efluente de biodigestor na disponibilidade de N para o sorgo que encontrou a partir de 14 dias os teores de N-NH_4^+ sendo inferiores a 7,1 ppm em todos os tratamentos que receberam resíduos orgânicos.

As médias dos tratamentos apresentaram os maiores teores de N-NH_4^+ nas três doses de feijão bravo em relação ao es-

Quadro 13 - Efeito da incorporação dos materiais orgânicos e posterior cultivo do milho, por amostragem, nos teores de N-NH_4^+ e N-NO_3^- do solo (médias de 3 repetições).
(1)

TRATAMENTOS	A M O S T R A G E N S (dias)								
	7	21	35	77	102				
	N-NH_4^+	N-NH_4^+	N-NO_3^-	N-NH_4^+	N-NO_3^-	N-NH_4^+	N-NO_3^-	N-NH_4^+	N-NO_3^-
Testemunha	13a	40de	12b	5c	13bc	8a	1c	5b	2d
20 t/ha Feijão bravo	6a	75bc	8b	15c	17b	10a	4c	4b	2d
40 t/ha Feijão bravo	5a	89b	2b	52b	18b	17a	12bc	7b	16c
60 t/ha Feijão bravo	5a	129a	1b	135a	37a	14a	19b	6b	29b
10 t/ha Esterco bovino	10a	42de	9b	11c	11bc	9a	2c	6b	3d
20 t/ha Esterco bovino	6a	26e	6b	5c	7bc	11a	2c	5b	2d
30 t/ha Esterco bovino	8a	39de	5b	4c	3c	11a	2c	4b	2d
20 t/ha Colonião	4a	38e	1b	2c	1c	8a	1c	3b	3d
40 t/ha Colonião	4a	38e	4b	2c	1c	13a	1c	5b	1d
60 t/ha Colonião	7a	47cde	1b	3c	1c	20a	2c	6b	2d
Test. nitrogenada	29a	72bcd	35a	32bc	34a	33a	36a	49a	80a
Médias	9	58	8	24	13	14	8	9	13

(1) Valores seguidos da mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Duncan a 1% de probabilidade.

terco bovino e colônia, provavelmente devido a menor relação C/N do feijão bravo (26), a qual influenciou na taxa de mineralização mais rápida deste material orgânico. O aumento das doses de feijão bravo de 20 t/ha para 60 t/ha ocasionou um aumento significativo nos teores de N-NH_4^+ do solo aos 21 e 35 dias. A mesma tendência não foi observada aos 7,77 e 102 dias onde não houve aumento dos teores de N-NH_4^+ com o aumento das doses de feijão bravo (Figura 5) e esta coerente com os resultados de matéria seca (ver Quadro 15) e com os teores de N no tecido (ver Quadro 16), porque neste período houve maior absorção de N pelo milho.

Um pico na formação de N-NH_4^+ do solo em função da aplicação dos materiais orgânicos foi observado aos 21 dias (Quadro 13), sugerindo que o N orgânico foi mineralizado rapidamente, causando aumentos significativos no N-NH_4^+ .

quadro 14 - Análise de variância dos teores de N-NH_4^+ e N-NO_3^- do solo.

Análise de Variância	Valores de F	
	N-NH_4^+	N-NO_3^-
Blocos	0,57 ns	0,31 ns
Tratamentos (T)	18,74 **	54,96 **
Períodos de amostragem (P)	72,82 **	7,88 **
Inter. TxP	6,33	7,84 **
cv (%)	60,88	61,17

* ou ** significativo ao nível de 5% ou 1% de probabilidade, respectivamente: ns, não significativo.

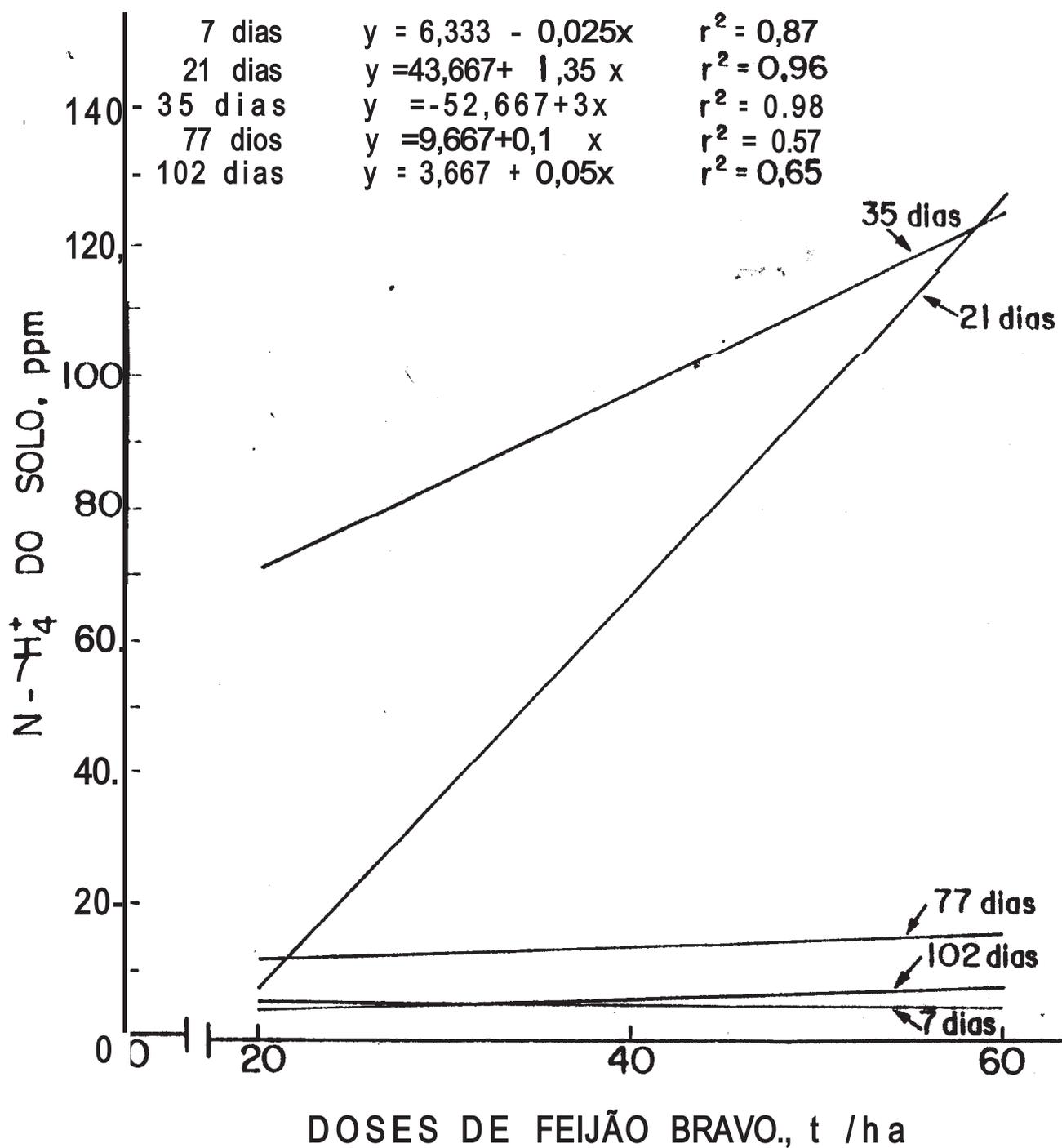


Figura 5 - Relação da dependência entre doses de feijão bravo e teores de N-NH_4^+ do solo (médias de 3 repetições).

A partir dos 35 dias até o final do experimento a conversão do N-NH_4^+ mineralizado para N-NO_3^- foi significativamente maior nos tratamentos que receberam adição de feijão bravo em relação ao esterco bovino e colônia, com destaque para a dose de 60 t/ha, a qual apresentou um teor residual aos 102 dias de 29 ppm (Quadro 13).

Os níveis de N-NH_4^+ e N-NO_3^- do solo aos 35 dias (Quadro 13), levando-se em consideração que o plantio foi efetuado aos 32 dias; indicam que somente as doses de feijão bravo e a testemunha nitrogenada forneceram quantidades adequadas de N disponível para o crescimento do milho.

4.1.3.b - Absorção de Nitrogênio e Rendimento de Matéria Seca do Milho

Os resultados de rendimento de matéria seca e absorção de nitrogênio pelo milho são descritos nos Quadros 15 e 16, respectivamente.

O rendimento de matéria seca e absorção de nitrogênio foram significativamente maiores nos tratamentos com feijão bravo e nitrogênio mineral em relação ao esterco bovino, colônia e testemunha.

A aplicação de feijão bravo e testemunha mineral resultou numa maior absorção de nitrogênio quando comparado a esterco bovino, colônia e testemunha, a partir dos 45 dias após o plantio e até o final do experimento. Esta maior absorção deve ser provavelmente devido a maior disponibilidade de nitrogênio mineral no solo destes tratamentos, como mostram os re-

Quadro 15 - Efeito da incorporação dos materiais orgânicos na produção de matéria seca no milho (raiz + parte aérea). Médias de 3 repetições ⁽¹⁾

TRATAMENTOS	PESO TOTAL PLANTA				
	Amostragem (dias) após plantio)				
	21	35	45	60	70
	g/3pl				
Testemunha	2,3a	4,1a	18,9bcd	25,2d	34,9c
20t/ha Feijão bravo	1,8a	4,6a	27,2ab	38,8bc	55,3ab
40t/ha Feijão bravo	2,3a	5,4a	27,1ab	42,9ab	56,6ab
60t/ha Feijão bravo	1,9a	5,5a	29,9a	49,3a	62,2a
1ot/ha Esterco bovino	2,4a	4,6a	16,5cd	27,0d	35,2c
2ot/ha Esterco bovino	2,4a	4,5a	17,0cd	25,2d	32,7c
3ot/ha Esterco bovino	2,5a	4,4a	21,4abcd	27,7d	28,8c
20t/ha Colonião	1,3a	1,4a	3,9f	9,8e	9,9e
4ot/ha Colonião	0,9a	1,8a	7,8ef	14,2e	18,1d
60t/ha Colonião	0,9a	3,0a	14,0de	25,7d	32,0c
Test.nitrogenada	1,8a	3,7a	23,6abc	34,0cd	49,2b
Médias	1,9D	3,9D	18,8C	29,1B	37,7A
Análise de variância, valores de F					
Blocos	2,51 ns				
Tratamentos (T)	59,73 **				
Períodos de amostragem (P)	571,50 **				
Inter. T x P	10,53 **				
cv (%)	20,47				

* ou ** significativo ao nível de 5% ou 1% de probabilidade, respectivamente: ns, não significativo.

⁽¹⁾ Valores seguidos da mesma letra, minúscula, nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 1%.

Quadro 16 - Efeito da incorporação dos materiais orgânicos no acúmulo de nitrogênio no milho (raíz + parte aérea)⁽¹⁾.

TRATAMENTOS	N-Total				
	Amostragem (dias após plantio)				
	21	35	45	60	70
	mg/3pl				
Testemunha	31a	66a	142c	156cd	160c
20t/ha Feijão bravo	25a	84a	289b	337b	413b
40 t/ha Feijão bravo	48a	92a	449a	608a	795a
60 t/ha Feijão bravo	53a	129a	437a	739a	808a
10 t/ha Esterco bovino	29a	65a	120c	161cd	198c
20 t/ha Esterco bovino	26a	5 %	169bc	205bcd	224c
30 t/ha Esterco bovino	22a	56a	177bc	227bc	195c
20 t/ha Colonião	10a	15a	44c	75d	75c
40 t/ha Colonião	8a	28a	106c	127cd	167c
60 t/ha Colonião	8a	35a	149bc	185cd	218c
Test. nitrogenada	26a	79a	443a	643a	851a
Médias	26D	64D	230C	315B	373A
Análise de variância, valores de F					
Blocos		1,56	ns		
Tratamentos (T)		79,58	**		
Períodos de amostragem (P)		197,68	**		
Inter. TxP		12,50	**		
cv (%)		30,86			

* ou ** significativo ao nível de 5% ou 1% de probabilidade, respectivamente; ns, não significativo.

(1) Valores seguidos da mesma letra, minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem entre si pela teste de Duncan a 1%.

sultados do Quadro 13.

Observa-se que a produção de matéria seca nos tratamentos com feijão bravo foi estatisticamente maior do que no tratamento com nitrogênio mineral durante todo o período experimental.

De uma maneira geral o Índice de N do tecido de milho (raiz + parte aérea) das parcelas que receberam adição de feijão bravo foram estatisticamente, iguais aquelas recebendo NH_4NO_3 . Embora não significativo, uma tendência em direção aos mais altos níveis de N no tecido foi detectada onde utilizou-se adubação nitrogenada mineral.

Os resultados demonstram que a absorção de nitrogênio e rendimento de matéria seca são afetados negativamente pela utilização de colônia, devido a mais alta relação C/N (47) exibida por este material orgânico em relação ao esterco bovino (24) e feijão bravo (16), a qual sugere que houve uma imobilização de N pelo tecido microbiano, como pode ser visto pelos baixos teores de N mineral (Quadro 13) principalmente no início do crescimento vegetativo do milho, aos 35 dias após a incorporação dos materiais orgânicos. Estes resultados demonstram a mesma tendência e estão de acordo com os dados obtidos por ALLISON e KLEIN (1961) em um experimento de laboratório conduzido em solos com adição de palha de trigo, onde a imobilização máxima de nitrogênio pelos microorganismos decompositores da palha de trigo ocorreu em 20 dias, correspondendo, a uma relação C/N de 25:1. Os mesmos autores ainda alertam que a necessidade

de nitrogênio na adição de materiais carbonáceos ao solo depende da decomposição do material, das condições ambientais que afetam a natureza da flora e taxa de decomposição e do tempo de incubação.

A utilização do feijão bravo como fonte de nitrogênio para a cultura do milho, mesmo nas menores doses mostra-se mais vantajosa do que o uso de colômbio e esterco bovino para a cultura do milho. Estes dados concordam com aqueles obtidos por ARAÚJO e ALMEIDA (1987) que ao incorporarem feijão de porco associado à adubação com fosfato de patos-de-minas e superfosfato triplo na cultura do milho, em solo Podzólico Vermelho Amarelo, série Itaguaí, concluíram que a adubação verde supriu as necessidades de N da cultura do milho tanto quanto 80 kg de N/ha na forma de uréia. DE-POLLI e CHADA (1988) em um experimento de campo com solo Podzólico Vermelho Amarelo, ao incorporarem mucuna (*Mucunna aterrima*), crotalária (*Crotalaria juncea*) e feijão de porco (*Canavalia ensiformis*) na entressafra tendo o milho como cultura principal de verão, encontraram que a adubação verde propiciou produtividade até maior que a adubação com N mineral. Possivelmente a combinação de um material orgânico e um fertilizante inorgânico nitrogenado seria uma maneira eficiente e econômica de utilização dos materiais orgânicos de relação C/N desvantajosa. Isto se deve ao fato de que os materiais orgânicos contribuiriam lentamente com N disponível para o ciclo da cultura complementando a fonte mineral, além de suprir outros macro e micro-nutrientes essenciais.

4.2. Experimento de incubação

4.2.1. Evolução de **C-CO₂** do solo

A evolução cumulativa de **C-CO₂** para as doses de esterco bovino, colônia e feijão bravo é ilustrada pelas Figuras 6, 7 e 8, respectivamente. A quantidade de CO₂ liberada em cada período de amostragem e a percentagem de carbono orgânico adicionado que evoluiu em 90 dias de incubação, são apresentados no Quadro 17.

Nota-se que para todos os tratamentos com a adição de materiais orgânicos (Quadro 17) houve maior liberação de carbono na fase inicial de incubação, com a apresentação de quedas gradativas e finalmente, uma estabilização. Estes dados estão de acordo com AITA (1984) que ao incorporar doses crescentes (9, 18 e 27 t/ha em peso seco) de esterco bovino "*in natura*" e efluente de biodigestor a um solo Podzólico Vermelho Amarelo e MINHONI e CERRI (1987) que ao incorporarem vinhaça à razão de 200 **m³/ha** a um Latossolo Vermelho Amarelo; encontraram que a liberação de CO₂ foi mais rápida nos períodos iniciais de incubação. Com a exaustão do material energético de fácil oxidação, a população microbiana do solo irá degradando os constituintes mais resistentes à decomposição, proporcionando com isso uma diminuição gradativa na quantidade de **CO₂** liberada (ALEXANDER, 1977).

A adição dos materiais orgânicos ao solo influenciou significativamente na liberação de carbono, com destaque para a

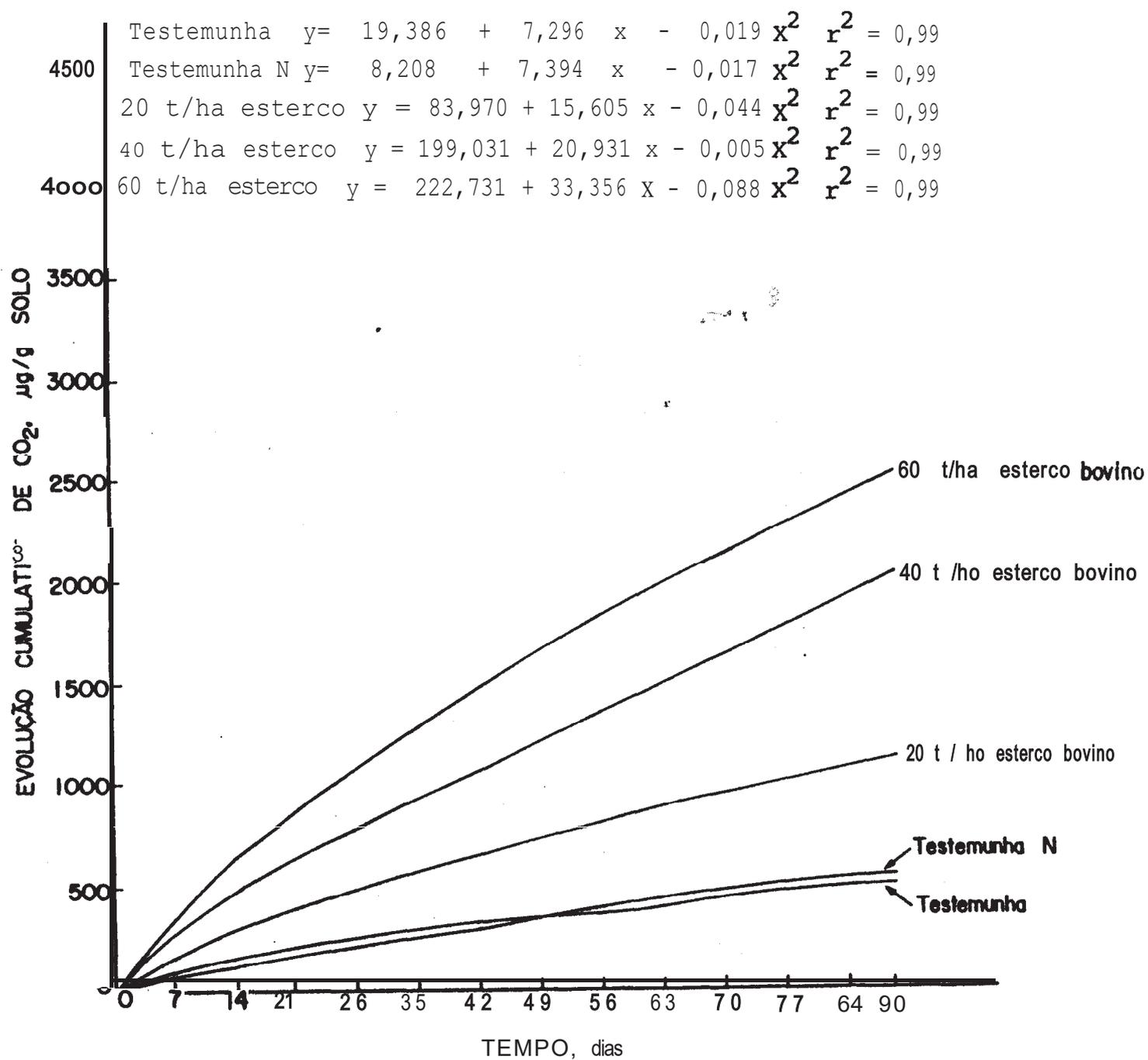


Figura 6 - Evolução cumulativa de C-CO₂ nas doses de esterco bovino, durante o período de incubação (médias de 3 repetições). CV=20,15%.

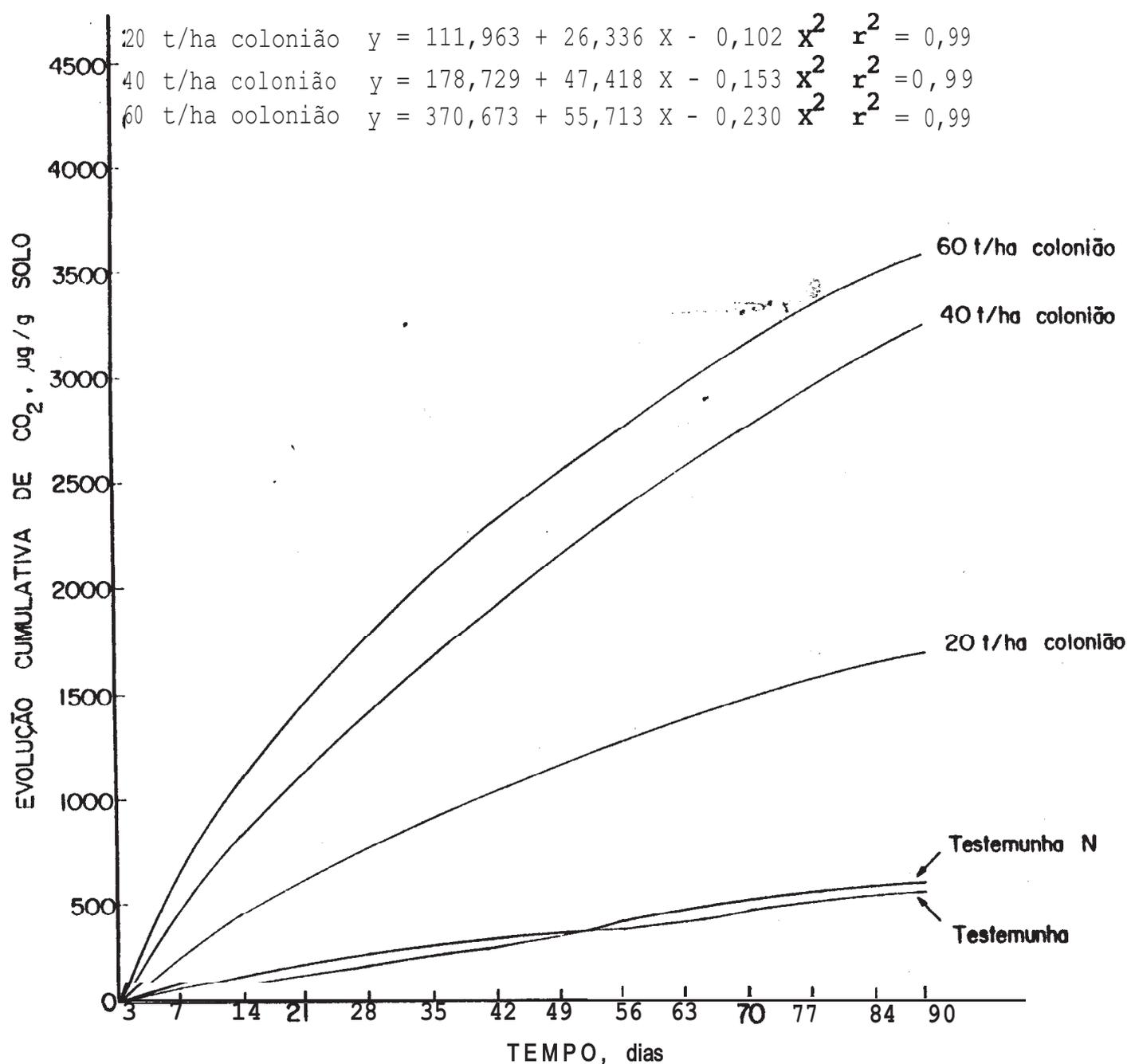


Figura 7 - Evolução cumulativa de **C-CO₂** nas doses de colonião, durante o período de incubação (médias de 3 repetições). CV = 20,15%

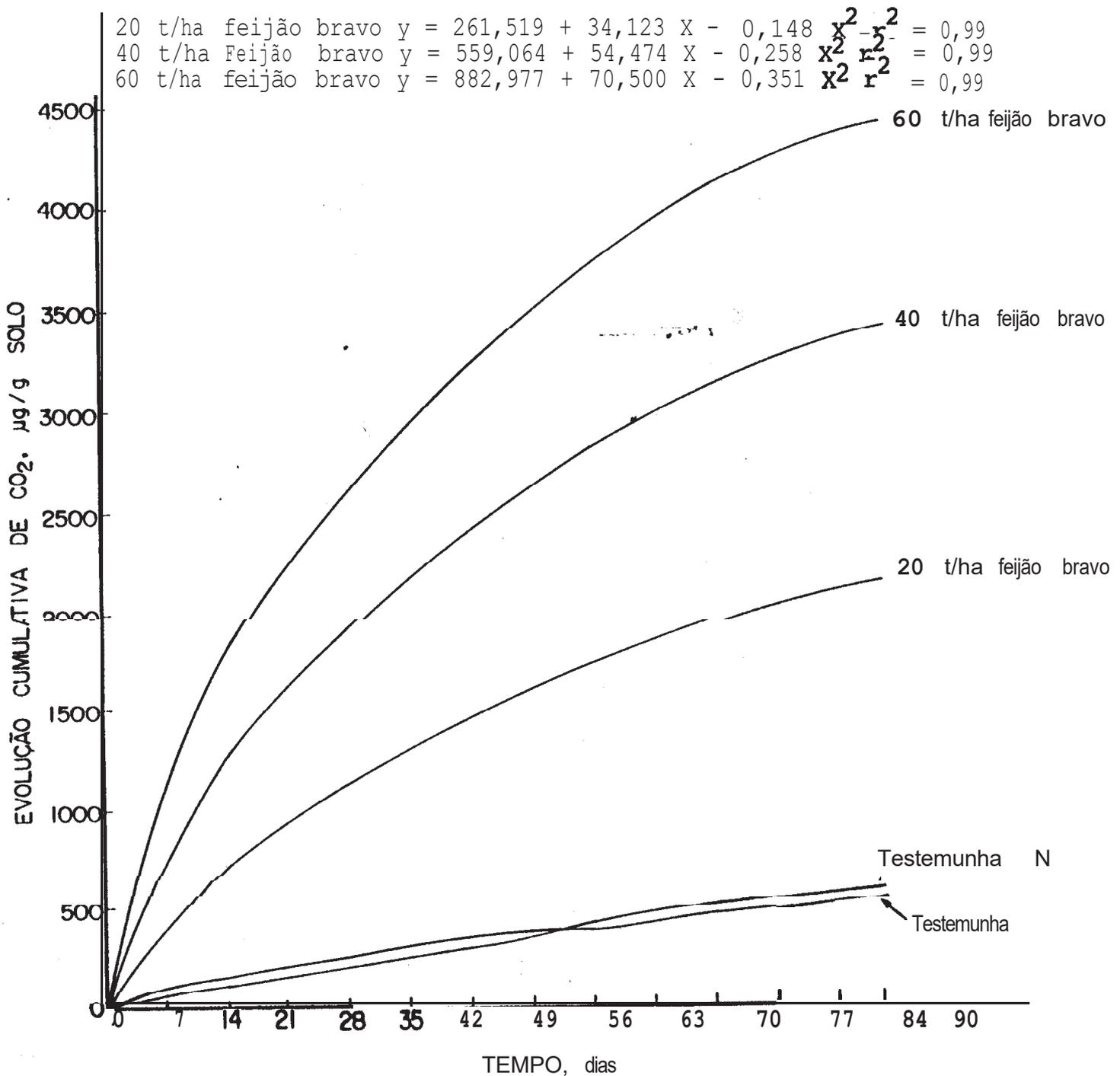


Figura 8 - Evolução cumulativa de $C-CO_2$ nas doses de feijão bravo, durante o período de incubação (médias de 3 repetições). CV = 20,15%

quadro 17 - Liberação de **C-CO₂** em cada período de amostragem e porcentagem evoluída do carbono orgânico adicionado. Médias de 4 repetições.

TRATAMENTOS	PERÍODOS DE AMOSTRAGEM (dias)														C-CO ₂		C orgânico Evoluído
	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70	77	84	90	Total Evoluído	----- % ----		
	µg C . g solo⁻¹																
Testemunha	72	31	52	75	31	43	14	35	34	59	18	24	39	527	-		
20 t/ha Feijão bravo	473	243	195	212	162	175	108	133	93	129	83	84	67	2157	38,8		
40 t/ha Feijão bravo	843	449	332	332	215	263	158	160	152	188	116	114	105	3424	34,5		
60 t/ha Feijão bravo	1212	609	453	443	273	282	189	200	162	220	160	149	131	4483	31,4		
20 t/ha Esterco bovino	178	116	97	104	87	113	37	79	54	89	64	65	66	1150	18,9		
40 t/ha Esterco bovino	311	190	165	142	108	150	145	138	111	192	124	154	134	2063	23,3		
60 t/ha Esterco bovino	399	299	214	206	168	180	182	155	147	175	130	160	140	2553	20,5		
20 t/ha colônia	284	213	106	154	133	149	133	101	87	107	60	82	49	1656	28,5		
40 t/ha ———	510	339	245	282	224	278	269	233	189	217	149	151	110	3194	33,6		
60 t/ha colônia	695	404	383	331	248	246	232	188	194	223	152	146	115	3556	25,4		
Testemunha nitrogenada	56	74	28	45	24	36	58	72	25	46	18	29	15	524	-		

1C orgânico evoluído (%) = **C-CO₂** evoluído nos tratamentos - **C-CO₂** evoluído na testemunha x 100

C orgânico adicionado

dose de 60 t/ha de feijão bravo. A quantidade total de CO_2 liberada em 90 dias de incubação do solo com 60 t/ha de feijão bravo, foi em média 750% superior à testemunha.

A porcentagem evoluida do carbono orgânico adicionado com a incorporação dos materiais orgânicos ao solo, mostrou-se sempre superior, em todas as doses, para o tratamento com feijão bravo (evolução média de 35%) em relação aos tratamentos com colonião e esterco bovino.

Nos tratamentos que não receberam adição de materiais orgânicos, as taxas de evolução de CO_2 foram constantemente mais baixas durante todo o período experimental. Em noventa dias de incubação, cerca de 5% do carbono orgânico nativo do solo foi perdido como **C-CO₂**.

4.2.2. Quantificação da biomassa-C microbiana do solo

A evolução de **C-CO₂** das amostras fumigadas e não fumigadas é apresentada no Quadro 18, enquanto que a formação da biomassa-C microbiana no Quadro 19.

Os tratamentos que apresentaram a maior evolução média de C-CO₂ com fumigação e sem fumigação foram 60 t/ha de feijão bravo e 60 t/ha de colonião, respectivamente. Comparativamente à evolução de **C-CO₂** do solo (Quadro 17), as amostras fumigadas e não fumigadas apresentaram a maior evolução de **C-CO₂** na fase inicial de incubação (6 dias), com destaque para o tratamento 60 t/ha de feijão bravo que apresentou uma liberação de carbono de 965 e 876 $\mu\text{g C/g}$ solo, respectivamente.

Quadro 18 - Efeito da incorporação dos materiais orgânicos na liberação de C-CO₂ em solo fumigado e não fumigado com clorofórmio e incubado por dez dias (médias de 2 repetições)¹

TRATAMENTOS	C-CO ₂ evoluído (amostragem, dias)					
	Fumigado			Não Fumigado		
	6	46	90	6	46	90
	µg C-CO₂ . g solo⁻¹					
Testemunha	232f	179d	176b	88g	26f	35b
20 t/ha Feijão bravo	440cd	253bcd	277ab	342de	192de	77ab
40 t/ha Feijão bravo	714b	336abc	336a	607b	243cd	84ab
60 t/ha Feijão bravo	965s	420a	408s	876a	245cd	180a
20 t/ha Esterco bovino	289ef	215cd	228ab	205fg	70ef	115ab
40 t/ha Esterco bovino	365de	290abcd	304ab	261ef	237cd	149ab
60 t/ha Esterco bovino	436cd	367ab	348s	479bc	408b	133ab
20 t/ha Colonião	409d	279abcd	281ab	266kf	114def	107ab
40 t/ha Colonião	546c	351abc	292ab	424cd	361bc	184a
60 t/ha Colonião	685b	360ab	346a	526bc	575a	148ab
Testemunha nitrogenada	189f	156d	164b	80g	17f	24b
Análise de variância, valores de F						
Tratamentos (T)				88,62	**	
Periodos de amostragem (P)				274,79	**	
Fumigação (F)				183,38	**	
Inter. TxP				20,53	**	
Inter. TxF				2,30	*	
Inter. PxF				14,26	**	
Inter. TxPxP				3,01	**	
cv (%)				16,13		

* ou ** significativo ao nível de 5% ou 1% de probabilidade, respectivamente; ns, não significativo.

¹ valores seguidos da mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan a 1% de probabilidade.

Quadro 19 - Efeito da incorporação dos materiais orgânicos na biomassa-C microbiana do solo (médias de 2 repetições)¹

TRATAMENTOS	Biomassa-C Microbiana" (amostragens, dias)					
	JENKINSON			V O R O N E Y		
	6	46	90	6	46	90
	µg C . q solo⁻¹					
Testemunha	352a	375ab	346a	566fg	437q	429d
20 t/ha Feijão bravo	238a	149ab	486a	1073d	617ef	676bc
40 t/ha Feijão bravo	261a	228ab	614a	1741b	820bcd	820ab
60 t/ha Feijão bravo	215a	428a	556a	2354a	1024a	995a
20 t/ha Esterco bovino	206a	354ab	276a	705f	524fq	556cd
40 t/ha Esterco bovino	254a	10oab	378a	890e	707cde	741b
60 t/ha Esterco bovino	-106a	-99bc	52a	1063de	895ab	849ab
20 t/ha Colônia	353a	402a	425	998de	680def	685bc
40 t/ha Colônia	299a	-26ab	264a	1332c	856bcd	712bo
60 t/ha Colônia	389a	-524c	484a	1671b	878abc	844ab
Testemunha nitrogenada	267a	339ab	342a	461g	380g	4006
Análise de variância, valores de F						
Tratamentos (T)	2,59 *			147,48 **		
Periodos de amostragem (P)	16,05 **			405,82 **		
Inter. TxP	3,14 **			28,75 **		
cv (%)	57,36			7,23		

* ou ** significativo ao nível de 5% ou 1% de probabilidade, respectivamente: ns, não significativo.

¹Valores seguidos da mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan a 1% de probabilidade.

²Calculadas segundo Jenkinson e Powlson (1976) e Voroney (1979).

Os tratamentos 60 t/ha de feijão bravo e 60 t/ha de colônia, que apresentaram a maior evolução de $C-CO_2$ aos 6 dias de incubação, entretanto, não conduziram, conseqüentemente, a um aumento na formação da biomassa microbiana, de acordo com a hipótese de JENKINSON (Quadro 19), a qual conduziu a uma subestimação na quantificação da biomassa-C microbiana. Este fato já havia ocorrido, como discutimos no Item 4.1.2.a, devido a uma provável inversão no despreendimento de $C-CO_2$, ou seja, as parcelas fumigadas liberaram menos $C-CO_2$ que as não fumigadas. JENKINSON e POWLSON (1976) ressaltaram que a adição recente de material orgânico prontamente decomponível ao solo limitaria a utilização do método, a qual foi confirmada recentemente por vários pesquisadores como MARTENS (1985), SAMPAIO et alii (1986) e MINHONI e CERRI (1987). Do mesmo modo como observado no Quadro 10 do ítem 4.1.2.a, a formação de biomassa-C de acordo com a hipótese de VORONEY, expressaram melhor os resultados do que aqueles obtidos segundo a hipótese de JENKINSON e POWLSON (1976).

De acordo com SAMPAIO et alii (1986) sugere-se que em trabalhos futuros a biomassa seja calculada pelas duas fórmulas, estabelecendo-se, assim, respectivamente, os limites mínimos e máximos do valor real.

5. CONCLUSÕES

A adição dos materiais orgânicos teve efeito corretivo na acidez do solo, elevando o pH de 5,4 para valores médios em torno de 6,0. Os maiores efeitos foram proporcionados pelas adições de 20, 40 e 60 t/ha de feijão bravo, as quais apresentaram valores de pH aos 102 dias de 5,9, 6,0 e 6,3, respectivamente. Os teores de P, K e Ca no solo apresentaram aumentos com a incorporação dos materiais orgânicos, enquanto Mg apresentou pequena variação.

A incorporação de esterco bovino, capim colônia e feijão-bravo-do-Ceará proporcionou aumentos médios no carbono total do solo, aos 102 dias, da ordem de 9,2, 14,7 e 38,5%, respectivamente. Aumentos médios no nitrogênio total do solo, aos 102 dias após a incorporação de esterco bovino, capim colônia e feijão-bravo-do-Ceará e posterior cultivo do milho foram de 15,7, 25,3 e 74,7%, respectivamente.

Entre todos os materiais orgânicos incorporados ao solo, o feijão-bravo-do-Ceará, apesar de apresentar a menor relação C/N (16), foi o material orgânico que manteve até o final do experimento o maior teor de matéria orgânica livre do solo,

constituindo-se no material orgânico do qual ocorreu a menor taxa de mineralização primária.

Os acréscimos na matéria orgânica humificada do solo foram muito pequenos quando considera-se as quantidades incorporadas de feijão-bravo-do-Ceará e capim colonião. Aos 102 dias apenas a dose de 60 t/ha de feijão-bravo-do-Ceará alterou significativamente o teor de humina do solo enquanto que as demais frações da matéria orgânica humificada do solo não diferiram estatisticamente.

Foram confirmados os dados de JENKINSON e POWLSON (1976), nos quais a quantificação da biomassa-C microbiana, por este método de fumigação, não é adequada para solos com adição recente de material orgânico prontamente decomponível. Concordando com SAMPAIO et alii (1988), sugere-se que em trabalhos futuros a biomassa-C microbiana seja calculada pelas formulas, de JENKINSON & POWLSON (1976) e a de VORONEY (1979), estabelecendo-se, assim, respectivamente os limites mínimos e máximos do valor real.

O rendimento de matéria seca e absorção de nitrogênio pelo milho foram significativamente maiores com a incorporação de feijão-bravo-do-Ceará e nitrogênio mineral. A produção de matéria seca obtida com a aplicação de 20 t/ha de feijão-bravo-do-Ceará foi superior àquela obtida com a aplicação de 560 kg de N/ha na forma de **NH₄NO₃**.

No período de 90 dias, em um experimento de incubação, a evolução média do carbono orgânico adicionado com a incorpo-

ração ao solo de feijão-bravo-do-Ceará, capim colônia e esterco bovino foi de 35, 29 e 21%, respectivamente. A quantidade total de **C-CO₂** evoluída no mesmo período com a incorporação de 60 t/ha de feijão-bravo-do-Ceará foi de 4483 **µg C/g** solo, representando 31,4% do material orgânico aplicado.

6. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- 1 . ADAMS, T. McM. & ADAMS, S. N. The effects of liming and soil pH on carbon and nitrogen contained in the soil biomass. J. Agric. Sci., Cambridge, 101: 553-558, 1983.
- 2 . AITA, C. Efeito da aplicação de esterco bovino e efluente de biodigestor sobre a atividade microbiana do solo e na disponibilidade de nitrogênio para a cultura do sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) MOENCH). Santa Maria, UFSM, 1984. 92p. (Tese Mestrado).
- 3 . ALEKANDER, M. Introduction to soil microbiology. 2ed. New York, John Wiley & Sons, 1977. 467p.
- 4 . ALLISON, F. E. & KLEIN, C. J. Rates of immobilization and release of nitrogen following additions of carbonaceous materials and nitrogen to soils. Soil Sci., Baltimore, 93: 383-386, 1962.
- 5 . ALMENDROS, G.; POLO, A. & DORADO, E. Contribución al estudio de la humina heredada de los suelos. Agrochimica, Pisa, 24 (2/3): 232-244, 1980.

- 6 . ANDERSON, J. P. E. & DOMSCH, K. H. Mineralization of bacteria and fungi in chloroform-fumigated soils. *Soil Biol., Biochem.*, Oxford, 10: 207-213, 1978a.
- 7 . ANDERSON, J. P. E. & DOMSCH, K. H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biol. Biochem.*, Oxford, 10: 215-221, 1978b.
- 8 . ANDERSON, J. P. E. & DOMSCH, K. H. Quantities of plant nutrients in the microbial biomass of selected soils. *Soil Sci.*, Baltimore, 130:211-216, 1980.
- 9 . ARAÚJO, A. P. de & ALMEIDA, D. L. de Efeito da adubação verde associado à adubação com fosfato natural na cultura do milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 21, Campinas. Programa e Resumos... Campinas, IAC, UNICAMP, CATI, 1987. p.62.
10. BRBMNER, J. M. & MULVANEY, C. S. Nitrogen-total. In: PAGE, A. L.; MILLER, R. A. & KEENEY, D. R. eds. *Methods of soil analysis*. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1982. Part. 2: Chemical and microbiological properties. p. 595-624. (Agronomy, 9).
11. BROOKES, P. C.; LANDMAN, A.; PRUDEN, G. & JENKINSON, D.S. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extration method to measure microbial biomass nitrogen in soil. *Soil Biol. Biochem.*, Oxford, 17 (6):837-842, 1985.

12. BROOKES, P. C.; POWLSON, D. S. & JENKINSON, D. S. Measurement of microbial biomass phosphorus in soil. *Soil Biol Biochem.*, Oxford, 14: 319-329, 1982.
13. CERRI, C. C.; EDUARDO, B. de P. & VOLKOFF, B. Biomassa microbiana do latossolo amarelo sob vegetação natural e modificado pelo cultivo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 19, Curitiba, 1983. Programa e resumos ... Curitiba, SBCS, 1983. p. 37.
14. CERRI, C. C. & JENKINSON, D. S. Formation of microbial biomass during the decomposition of ^{14}C labelled dryegrass in soil. *J. Soil Sci.*, Oxford, 32: 619-626, 1981.
15. CERRI, C. C.; VOLKOFF, B. & EDUARDO, B. P. Efeito do desmatamento sobre a biomassa microbiana em latossolo amarelo da Amazônia. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 9: 1-4, 1985.
16. CERRI, C. C.; VOLKOFF, B. & EDUARDO, B. de P. Decomposição de matéria orgânica marcada com ^{14}C e formação de biomassa microbiana em solo ácido do município de Piracicaba, SP, Brasil. In: COLÓQUIO REGIONAL SOBRE MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO, Piracicaba, 1982. Anais ... Piracicaba, USP, CENA, 1982. p. 137-140.
17. DABIN, B. Méthode d'extraction et de fractionnement des matières humiques du sol. Application à quelques études pédologiques et agronomiques dans les sols tropicaux. *Cah. ORSTOM, Sér. Pedol.*, Paris, 14 (4): 287-297, 1976.

18. DABIN, B. Les matières organiques dans les sols tropicaux normalement drainés. Cah. ORSTOM, Sér. Pedol., Paris, 18 (4): 197-215, 1980.
19. DE-POLLI, H. & CHADA, S. de S. Adubação verde incorporada ou em cobertura na produção de milho em solo de baixo potencial de produtividade. In: CONGRESSO BRASILEIRO E ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 7, João Pessoa. Programa e Resumos. João Pessoa, SUDENE, 1988. p. 46.
20. DE-POLLI, H.; FRANCO, A. A.; ALMEIDA, D. L. de; DUQUE, F. F.; MONTEIRO, E. M. da S. & DOBEREINER, J. A biologia do solo na agricultura. Seropédica, EMBRAPA/UAPNPBS, 1988. 48p. (EMBRAPA/UAPNPBS. Documentos, 5).
21. DUCHAUFOUR, P. Précis de pédologie. Paris, Masson, 1960. 430 p.
22. DUCHAUFOUR, P. Dinâmica de la matéria orgânica. In: Edafologia, edafogónesis y clasificación. Paris, Masson, 1984. p. 28-68.
23. EIRA, A. F. da & CARVALHO, P. de C. T. de. A decomposição da matéria orgânica pelos microorganismos do solo, e sua influência nas variações do pH. R. Agric., Piracicaba, 45 (1):15-21, 1970.
24. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de métodos de análise de solo., Rio de Janeiro, 1979. n.p.

25. EPSTEIN, E.; KEANE, D. B.; MEISINGER, J. J. & LEGG, J. O. Mineralization of nitrogen from sewage sludge and sludge compost. *J. Environm. Qual.*, Madison, 7 (2): 217-222, 1978.
26. EPSTEIN, E.; TAYLOR, J. M.; CHANEY, R. L. Effects of sewage sludge and sludge compost applied to soil on some soil physical and chemical properties. *J. Environ. Qual.*, Madison, 5: 422-426, 1976.
27. ERNANI, P. R. Utilização de materiais orgânicos e adubos minerais na fertilização do solo. Porto Alegre, UFRGS, 1981. 82P. (Tese Mestrado).
28. FARIA, A. A. da C. & DE-POLLI, H. Efeito da calagem sobre a biomassa-C microbiana e o desenvolvimento do milho em diferentes solos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 21, Campinas, 1987. Programa e Resumos ... Campinas, SBCS, 1987. p. 40.
29. FASSBENDER, H. W. Componentes orgânicos de la fase solida del suelo. In: *Química de Suelos*. Turrialba, Editorial IICA, 1975. p. 66-104.
30. GIANELLO, C. & ERNANI, P. R. Aumento do rendimento de material seca de milho (*Zea mays*) pela aplicação de cama de aviário ao solo. Porto Alegre, 1981. n.p./ não publicado/.
31. GODEFROY, J. & JACQUIN, F. Influence de la végétation sur l'humification en sol ferralitiques. *Cah. ORSTOM, Sér.*

Pedol., Paris, 13 (3/4): 279-298, 1975.

32. GUERRA, J. G. M. & ALMEIDA, D. L. de. Efeito de níveis de composto de resíduos urbanos e calcário na correção da acidez do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 19, Curitiba, 1983. Programa e resumos ... Curitiba, SBCS, 1983. p. 78.
33. HEDLEY, M. J. & STEWART, J. W. B. Method to measure microbial biomass phosphorus in soils. Soil Biol., Biochem., Oxford, 14: 377-385, 1982.
34. HOYT, P. B. & TURNER, R. C. Effects of organic materials added to very acid soils, on pH, aluminum, exchangeable NH_4 , and crop yields. Soil Sci., Baltimore, 119: 227 - 237, 1975.
35. IGUE, K. Dinâmica da matéria orgânica e seus efeitos nas propriedades do solo. In: Adubação verde no Brasil. Campinas, Fundação Cargill, 1984. p. 232 - 267.
36. IGUE, K. & PAVAN, M. A. Uso eficiente de adubos orgânicos. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Brasília, 1984. Anais ... Brasília, EMBRAPA-DEP, 1984. p. 383-418. (EMBRAPA-DEP. Documentos, 14).
37. JENKINSON, D. S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. IV. The decomposition of fumigated organisms in soil. Soil Biol. Biochem., Oxford, 8:203-208, 1976.

38. JENKINSON, D. S. & AYANABA, A. Decomposition of C-14 labeled plant material in tropical conditions. *Soil Sci. Soc Amer. J.*, Madison, 41: 912-915, 1977.
39. JENKINSON, D. S. & LADD, J. N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: PAUL, E. A. & LADD, J. N., eds. New York, Marcel Dekker, 1981 v.5. p. 415-471.
40. JENKINSON, D. S. & OADES, J. M. A method for measuring adenosine triphosphate in soil. *Soil Biol. Biochem.*, Oxford, 8:167-177, 1979.
41. JENKINSON, D. S. & POWLSON, D. S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. V. A method for measuring soil biomass. *Soil Biol. Biochem.*, Oxford, 8:209-213, 1976.
42. KEENEY, D. R. & NELSON, D. W. Nitrogen-inorganic forms. In: PAGE, A. L.; MILLER, R. H. & KEENEY, D. R., eds. *Methods of soil analysis*. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1982. Part 2: Chemical and Microbiological Properties. p. 643-698. (Agronomy, 9).
43. KIEHL, E. J. Efeitos da matéria orgânica sobre as propriedades do solo. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES ORGÂNICOS, São Paulo, 1984. Anais . . . São Paulo, IPT/FINEP/ESALQ, 1984. p. 3-18.
44. KNOWLFS, R. Denitrification. *Microbiol. Rev.*, Quebec, 46 (1): 43-70, 1982.

45. KONONOVA, M. M. & BEL'CHIKOVA, N. P. *Sov. Soil Sci.*, Washington, 12: 1112-1121, 1961. Citado por SANTOS, 1986.
46. LÚCIO, P. S. M.; GRISI, B. M. & SILVA, G. J. da. Biomassa e atividade microbiana em oxissolo sob mata atlântica, em diferentes condições ecológicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO E ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 7, João Pessoa. Programa e Resumos ... João Pessoa, SUDENE, 1988. p. 107.
47. LUND, Z. F. & DOSS, B. D. Residual effects of dairycattle manure on plant growth and soil properties. *Agron. J.* Madison, 72: 123-130, 1980.
48. MARTENS, R. Limitations in the applications of the fumigations technique for biomass estimations in amended soils. *Soil Biol. Biochem.*, Oxford, 17(1): 57-63, 1985.
49. MENDES, W.; LEMOS, P. de O. e C.; LEMOS, R. C.; CARVALHO; L. G. de & ROSENBERG, R. J. Contribuição ao mapeamento, em séries, dos solos do município de Itaguaí. *B. Inst. Ecol. Exper, Agric.*, Rio de Janeiro, (12): 1-53, 1953.
50. MENGEL, K. & KIRBY, E. A. Nitrogen. In: *Principles of plant nutrition*. Switzerland, International Potash Institute, 1982. p. 335-368.
51. MINHONI, M. T. A. & CERRI, C. C. Decomposição de vinhaça em solo sob diferentes níveis de umidade: liberação de **CO₂**, formação de biomassa microbiana e imobilização de nitrogênio adicionado. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 11

- (1): 25-30, 1987.
52. MUGWIRA, L. M. Effect of dairy cattle manure on millet and rye forage and soil properties. *J. Environm. Qual.*, Madison, 5:60-65, 1976.
53. NICOLARDOT, B.; CHAUSSOD, R. & CATROUX, G. Revue des principales méthodes disponibles pour mesurer la biomasse microbienne et ses activités. *sci. Sol.*, Versailles, (4): 253:261. 1982.
54. NUERNBERG, N. J. Efeito de sucessões de culturas e tipos de adubação no rendimento e características de um solo na encosta basáltica sulrio-grandense. Porto Alegre, UFRGS, 1983. 146p. (Tese Mestrado).
55. PANUSKA, E. N. & ROSELL, R. A. Grupos funcionales Y propiedades espectrales del humus de suelos de Argentina. In: COLÓQUIO REGIONAL SOBRE MATÉRIA ORGANICA DO SOLO, Piracicaba, 1982. Anais . . . Piracicaba, USP, CENA, 1982. p. 11-18.
56. PAUL, E. A. & JOHNSON, R. L. Microscopic counting and adenosine 5-triphosphate measurement in determining microbial growth in soils. *Appl. Environ. Microbiol.*, Baltimore, 34: 263-269, 1977.
57. PAULETTO, E. A.; GUADAGNIN, C. A.; GOMES, A. da S. & NACHTIGALL, G. R. Efeito da cinza de casca de arroz nas características físicas e químicas do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO E ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSER-

VAÇÃO DO SOLO, 7, João Pessoa. Programa e Resumos . . .
João Pessoa, SUDENE, 1988. p. 46.

58. ROSELL, R. A. & MIGLIERINA, A. M. Estudio potenciométrico del humus en solventes acuo-organicos. In: COLÓQUIO REGIONAL SOBRE MATÉRIA ORÂNICA DO SOLO, Piracicaba, 1982. Anais . . . Piracicaba, USP, CENA, 1982. p. 19-28.
59. SAGGAR, S.; BETTANY, J. R. & STEWART, J. W. B. Measurement of microbial sulphur in soil. Soil. Biol. Biochem., Oxford, 13: 493-498, 1981.
60. SAMPAIO, E. V. S. B. & SALCEDO, I. H. Decomposição de palha de milho marcada e incorporação do ^{14}C à biomassa microbiana de um latossolo vermelho-amarelo. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 6:29-32, 1982a.
61. SAMPAIO, E. V. S. B. & SALCEDO, I. H. Efeito da adição de nitrogênio e palha - (^{14}C) na liberação de CO_2 e formação de biomassa microbiana em latossolo vermelho-amarelo. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 6: 6:177-181, 1982b.
62. SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. H. & MAIA, L. C. Limitações no cálculo da biomassa microbiana determinada pelo método de fumigação em solos com adição recente de substrato orgânico ^{14}C). R. bras. Ci. Solo, Campinas, 10 (1): 31-35, 1986.
63. SANTOS, G. de A.; trad. Evolução da matéria orgânica no solo. Itaguaí, Univ. Fed. Rural do Rio de Janeiro/Inst. de Agronomia/Dept° de Solos, 1986. 24p.

64. SCHNITZER, M. Organic matter characterization. In: PAGE, A. L.; MILLER, R. H. & KEENEY, D. R. eds. Methods of soil analysis. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1982. Part 2: Chemical and Microbiological Properties. p. 581-594. (Agronomy, 9).
65. SILVA, E. M. R. da; ALMEIDA, D. L. de; FRANCO, A. A. & DÖBEREINER, J. Adubação verde no aproveitamento de fosfato em solo ácido. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 9 (1): 85-88, 1985.
66. SIMS, J. T. & BOSWELL, F. C. The influence of organic wastes and inorganic nitrogen sources on soil nitrogen, yield, and elemental composition of corn. J. Environm. Qual., Madison, 9 (3): 512-518, 1980.
67. SIQUEIRA, O. J. F. de. Recomendações de adubação de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Passo Fundo, EMBRAPA - CNPT, 1987. 100 p.
68. SPARLING, G. P.; ORD, B. G. & VAUGHAN, D. Changes in microbial biomass and activity in soils amended with phenolic acids. Soil Biol. Biochem., Oxford, 13: 455-460, 1981.
69. STEVENSON, F. J. Humus chemistry; genesis compositions reactions. New York, John wiley & Sons, 1982. 443 p.

70. TEDESCO, J. M. Extração simultânea de N, P, K, Ca, Mg em tecido de plantas por digestão por $H_2O_2 - H_2SO_2 - H_2SO_4$. Porto Alegre, Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia, UFRGS, 23p. 1982. (Informativo interno, 1-82).
71. TROCME, S. & GRASS, R. Materia orgânica. Xn: Suelo y fertilization en fruticultura. 2.ed. Madrid, Ediciones Mundi-Prensa, 1979. p. 133-140.
72. UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO. Manual de adubação para o Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 1988 (no prelo).
73. VARADACHARI, C. & GROSH, K. On humus formation. Pl. Soil, The Hague, 77: 305-313, 1984.
74. VITTI, G. C.; MALAVOLTA, E. & COUTINHO, E. L. M. uso eficiente de fertilizantes nitrogenados e portadores de enxofre. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Brasília, 1984. Anais ... Brasilia, EMBRAPA-DEP, 1984. p. 205-254. (EMBRAPA-DEP. Documentos, 14).
75. VORONEY, R. P. Effect of soil management on the level and turnover rates of soil organic constituents. Saskatoon. University of Saskatchewan, 1979. 140 p. (Tese Mestrado).
76. VORONEY, R. P. & PAUL, E. A. Determination of Kc and Kn *in situ* for calibration of incubation method. Soil Biol. Biochem., Oxford, 16(1): 9-14, 1984.

77. WAREMBOURG, F. R. Carbon flow in the plant-soil system: a comprehensive approach. In: COLÓQUIO REGIONAL SOBRE MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO, Piracicaba, 1982. Anais . . . Piracicaba, USP, CENA, 1982. p. 75-80.
78. WAKSMAN, S. A. Humus; Baltimore, The Williams & Wilkins Co., 1938.