

14

GUIA PARA ADUBAÇÃO ORGÂNICA

**BASEADO NA EXPERIÊNCIA
COM SOLOS E RESÍDUOS DO
NORTE FLUMINENSE**

GUIA PARA ADUBAÇÃO ORGÂNICA

Baseado na experiência com solos e resíduos do Norte Fluminense

Jader Galba Busato
Luciano Pasqualoto Canellas
Leonardo Barros Dobbss
Marihus Altoé Baldotto
Natália Oliveira Aguiar
Raul Castro Carrielo Rosa
Jolimar Antonio Schiavo
Cláudio Roberto Marciano
Fábio Lopes Olivares

14



GUIA PARA ADUBAÇÃO ORGÂNICA

Baseado na experiência com solos e resíduos do Norte Fluminense

Jader Galba Busato
Luciano Pasqualoto Canellas
Leonardo Barros Dobbss
Marihus Altoé Baldotto
Natália Oliveira Aguiar
Raul Castro Carrielo Rosa
Jolimar Antonio Schiavo
Cláudio Roberto Marciano
Fábio Lopes Olivares



**PROGRAMA
RIO RURAL**

14

Niterói-RJ
abril de 2009

PROGRAMA RIO RURAL

Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária, Pesca e Abastecimento
Superintendência de Desenvolvimento Sustentável

Alameda São Boaventura, 770 - Fonseca - 24120-191 - Niterói - RJ

Telefones : (21) 2625-8184 e (21) 2299-9520

E-mail: microbacias@agricultura.rj.gov.br

Governador do Estado do Rio de Janeiro

Sérgio Cabral

**Secretário de Estado de Agricultura,
Pecuária, Pesca e Abastecimento**

Christino Áureo da Silva

**Superintendente de
Desenvolvimento Sustentável**

Nelson Teixeira Alves Filho

Busato, Jader Galba.

Guia para adubação orgânica baseado na experiência com solos e resíduos do Norte Fluminense / Jader Galba Busato e contribuições de Luciano Pasqualoto Canellas... [et al.]. -- Niterói : Programa Rio Rural, 2008.

28 f. ; 30 cm. -- (Programa Rio Rural. Manual Técnico ; 14)

Programa de Desenvolvimento Rural Sustentável em Microbacias Hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro. Secretaria de Agricultura, Pecuária, Pesca e Abastecimento.

Projeto: Gerenciamento Integrado de Agroecossistemas em Microbacias Hidrográficas do Norte-Noroeste Fluminense.

ISSN 1983-5671

1. Adubo orgânico. 2. Rio de Janeiro (Estado) - Região Norte. I. Série. II. Título.

CDD 631.87

Sumário

1. Apresentação.....	4
2. Ciclagem da matéria orgânica e dos nutrientes.....	5
3. Benefícios da adição da matéria orgânica compostada ao solo.....	9
4. Adubação orgânica.....	13
5. Conclusão.....	27
6. Referências bibliográficas.....	27

Guia para adubação orgânica

Baseado na experiência com solos e resíduos do Norte Fluminense

Jader Galba Busato¹
Luciano Pasqualoto Canellas²
Leonardo Barros Dobbss³
Marihus Altoé Baldotto²
Natália Oliveira Aguiar²
Raul Castro Carrielo Rosa⁴
Jolimar Antonio Schiavo⁵
Cláudio Roberto Marciano²
Fábio Lopes Olivares⁵

1. Apresentação

Produzir alimentos saudáveis, em terras sãs, conservando a saúde do agricultor, do consumidor, do solo e da água é a meta da Agroecologia. O custo cada vez mais elevado dos adubos químicos tem forçado agricultores convencionais a buscarem resíduos orgânicos que possam ser empregados como fertilizantes. Levados pela conjuntura econômica a questionar o modelo agrícola voltado para a produtividade em curto prazo com uso de agrotóxicos e fertilizantes, começam a considerar que a fertilidade do solo pode ir além do uso de calcário e NPK. Mais voltada à proteção do solo contra a erosão, com rotação e diversificação de culturas, com preservação da matéria orgânica, da atividade biológica do solo e do equilíbrio nutricional das plantas, esta visão mais holística leva à diminuição da dependência do agricultor aos insumos externos (ALMEIDA, 1991).

O princípio da adubação orgânica é ativar e manter a vida do solo. Ao repor os nutrientes e a energia, os ciclos biogeoquímicos naturais são ativados e podem ser otimizados. Porém, a simples substituição dos adubos minerais pelos orgânicos pode levar à queda significativa de rendimento. Existe um tempo necessário para a conversão de sistemas convencionais para os orgânicos. Esse tempo depende da acomodação dos processos ecológicos às novas condições. Em vez da rapidez das respostas da adubação com fertilizantes químicos solúveis, é a vez da estabilidade das respostas dos fertilizantes orgânicos de base biológica.

¹ Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF/Laboratório de Solos. Av. Alberto Lamego, 2.000 - Parque Califórnia - 28013-602 - Campos dos Goytacazes - RJ.

² UENF/Laboratório de Solos/Núcleo de Desenvolvimento de Base Biológica - NUDIBA.

³ UENF/NUDIBA.

⁴ Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul e UENF/NUDIBA.

⁵ UENF/Laboratório de Biologia Celular e Tecidual/NUDIBA.

Não existe nada de novo na adubação orgânica. Há relatos de fertilização orgânica no Antigo Testamento e na Ilíada de Homero. Os romanos desenvolveram um sistema complexo de tratamento de esgoto da antiga Roma, usando os fertilizantes produzidos nas suas vinhas. A novidade é o uso otimizado, baseado no conhecimento das exigências das culturas e da capacidade de transformação dos fertilizantes orgânicos.

Esse guia trata da dinâmica da liberação de nutrientes de dois fertilizantes orgânicos (vermicomposto e torta de filtro da usina de cana-de-açúcar). Diferentes doses desses adubos foram utilizadas em dois solos típicos da paisagem do Norte Fluminense (Latossolo Amarelo coeso típico e um Cambissolo da Baixada Campista). O acompanhamento da liberação dos nutrientes foi realizado durante dois anos e os resultados constituíram parte da tese "Química do húmus e a fertilidade de solos do Norte Fluminense" (BUSATO, 2008), encontrada, na íntegra, na biblioteca do Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da UENF. Aqui foi realizado um resumo para que técnicos de nível médio e agricultores acostumados às lidas de adubação possam ajustar sua adubação orgânica.

2. Ciclagem da matéria orgânica e dos nutrientes

As plantas obtêm do solo a água e os nutrientes minerais necessários para o crescimento. Quando o cultivo é intenso, os ciclos naturais de decomposição dos minerais que abastecem o solo com íons (nutrientes), bem como a decomposição de resíduos de plantas, animais e microrganismos, que também liberam nutrientes, podem não atender às exigências nutricionais de crescimento das culturas que, em alguns casos, podem ser bastante elevadas (Quadro1).

Quadro 1 - Quantidade aproximada (kg) de nutrientes para produzir 1 tonelada de algumas culturas.

Cultura	N	P	K	Ca	Mg
Milho	48	9	40	6	8
Cana	1,5	0,2	1,5	1,1	0,5
Mandioca	6	0,6	4	3	1
Tomateiro	2	0,5	5	0,8	0,2
Abacaxizeiro	4	0,4	6	3	1,4
Pastagem	13	3	18	5	2,5

Fonte: Malavolta (1987), adaptado pelo autor.

Para o atendimento à demanda das culturas, por muito tempo foi preconizado o uso de elementos nutritivos solúveis (Nitrogênio-N, Fósforo-P, Potássio-K, Cálcio-Ca, Magnésio-Mg, Enxofre-S e micronutrientes) provenientes de adubos químicos solúveis produzidos a partir de fontes não renováveis (o petróleo, como fonte de energia, e as rochas naturais tratadas com produtos químicos, como matéria-prima). Com a alta do preço do petróleo, o custo dos nutrientes, especialmente do N (uréia, nitrato, sulfato de amônio), tem subido muito. Além disso, as jazidas de P não são infinitas e se estima que, num espaço

relativamente curto de tempo, o custo de mineração do P provoque, também, aumentos significativos no seu preço. Dessa forma, a substituição dos fertilizantes químicos solúveis pelos de baixa solubilidade e pelos adubos orgânicos tem despertado interesse crescente.

O uso da adubação orgânica procura imitar os processos naturais de ciclagem dos nutrientes, direcionando-os para o aproveitamento das culturas. Os restos de culturas, a queda de folhas, a morte de animais e microrganismos devolvem para o solo a matéria orgânica da qual são formados (Fig.1). A decomposição desses resíduos no solo libera energia e substâncias nutritivas que podem ser utilizadas novamente pelas plantas e pelos microrganismos, fechando, assim, um ciclo de vida, ou seja, de transformações químicas que conduzem à estabilidade da matéria orgânica e do solo.

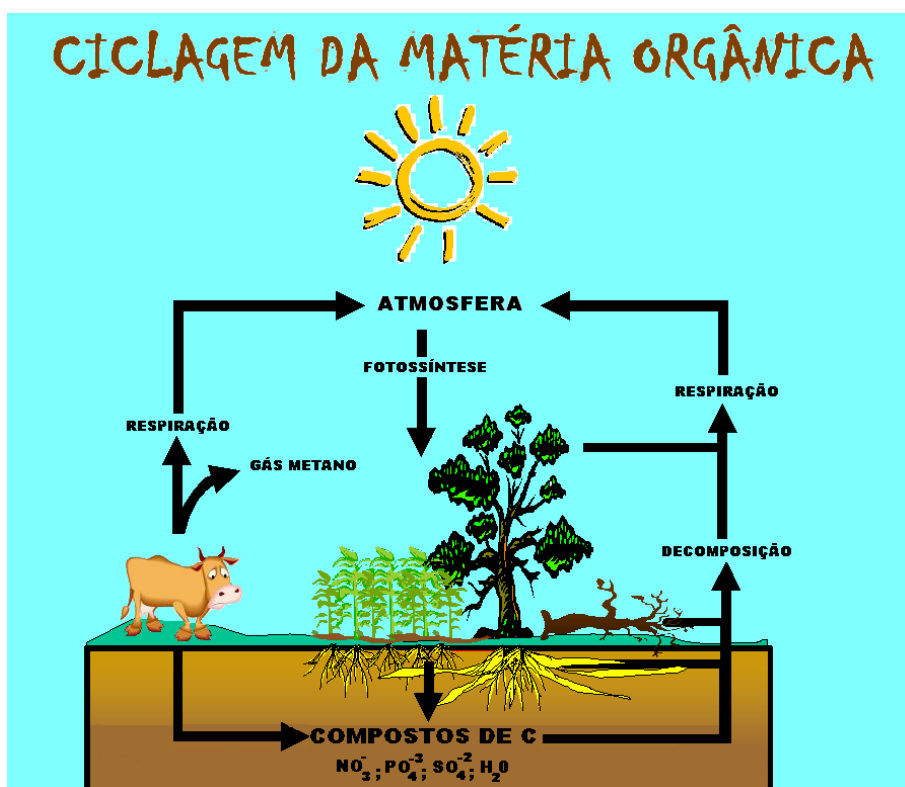


Figura 1 - Ciclagem da matéria orgânica
Fonte: Piccolo, A. (2007), adaptada pelos autores.

Esse ciclo é afetado pelas condições ecológicas locais. Por exemplo, na época mais seca do ano, as transformações são mais lentas, assim como é o crescimento das plantas, já que a água é essencial para que todas as reações ocorram. Em solos de baixada, sujeitos ao alagamento, é comum o acúmulo de material orgânico escuro e de restos vegetais, pois as reações de transformação necessitam de oxigênio e sua quantidade é diminuída nessas condições. Elementos tóxicos no solo, como alumínio ou metais pesados, ou, ainda, acidez excessiva, diminuem a atividade dos organismos decompositores. É bastante comum observar depósitos de folhas pouco transformadas na superfície de solos ácidos.

Além dos muitos fatores ambientais que afetam a decomposição e o acúmulo da matéria orgânica no solo (temperatura, radiação etc.), também a

qualidade química dos resíduos que serão decompostos apresenta papel preponderante (Fig.2). Por exemplo, enquanto um tronco de madeira de lei pode levar centenas de anos até começar sua decomposição, numa folha nova de feijão esse processo é concluído em poucos dias. Além, obviamente, da idade da planta, a proporção das substâncias que a compõem determina a velocidade de transformação. O principal componente da madeira é a lignina, um biopolímero bastante estável, de difícil decomposição e que confere rigidez. A celulose, também um biopolímero, é mais fácil de ser decomposta, assim como o amido, os açúcares e as proteínas que formam as células e que, ao chegarem ao solo, servem de fonte de energia para os microrganismos.

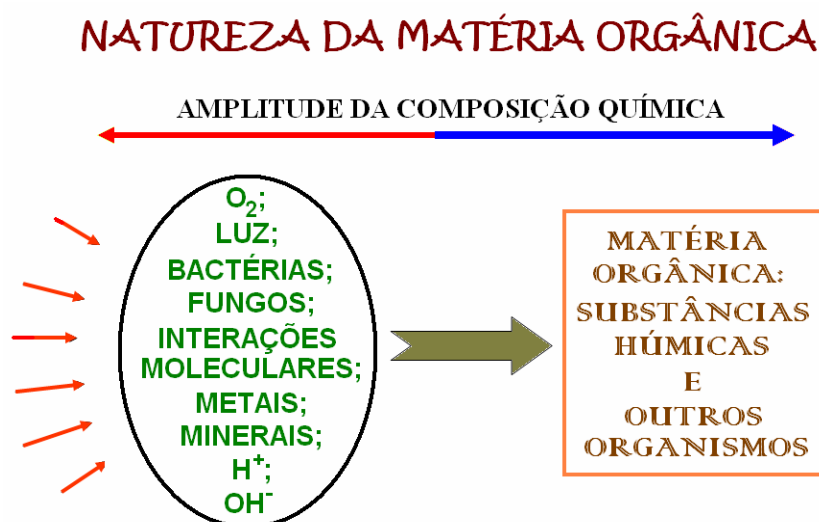


Figura 2 - Fatores bióticos e abióticos e a composição química dos resíduos orgânicos afetam a estabilização da matéria orgânica nas substâncias húmicas.

Uma proteína, quando decomposta, pode produzir amônia (NH₃) ou nitrato (NO₃⁻) e são essas as formas de N absorvidas pelas plantas. As membranas celulares contêm fosfolípidos que, quando decompostas no solo, podem originar fosfatos (HPO₃⁻). Enzimas que contêm enxofre podem ser transformadas até sulfatos (SO₄²⁻). Todas essas formas, NO₃⁻, HPO₃⁻, SO₄²⁻, são formas inorgânicas (ou minerais) e podem ser produzidas com a decomposição dos tecidos de plantas e animais. Esse processo é genericamente chamado de mineralização da matéria orgânica e é a base química do entendimento da adubação orgânica. Entender os fatores que afetam a mineralização é entender como funcionará a adubação orgânica, sendo maior a possibilidade de sucesso.

Se a planta contiver muita lignina, a velocidade de decomposição é muito lenta. Por outro lado, se o conteúdo de nitrogênio for muito grande, a velocidade de decomposição é alta. Essa dinâmica de decomposição de resíduos orgânicos, liberação de nutrientes e formação de matéria orgânica humificada (húmus, o produto da decomposição) é equilibrada nos ambientes naturais, nos quais a diversidade de espécies de plantas providencia uma diversidade abundante de resíduos de diferentes qualidades, bem como a diversidade de organismos decompositores (ecologia microbiana). A simplificação da natureza proporcionada pelo monocultivo direciona os processos de decomposição para o desequilíbrio.

Portanto, uma adubação orgânica adequada e racional requer, como princípio, que se adotem a rotação e a diversificação de culturas.

A rotação de culturas consiste no planejamento racional de diversas plantações, alterando a distribuição no terreno em certa ordem e por determinado tempo. O consórcio é o plantio de diferentes espécies vegetais, simultaneamente, sobre a mesma área. Essas estratégias (rotação, consórcios, policultivos) favorecem a diversidade de microrganismos necessária para a decomposição e, conseqüentemente, para a eficiência dos adubos orgânicos (Fig.3).



Figura 3 - A diversidade de culturas protege o solo e otimiza os ciclos biogeoquímicos (Foto: Fazendinha Agroecológica – EMBRAPA-CNPAB, Seropédica, Rio de Janeiro).

Os adubos orgânicos são uma cópia (concentrada e acelerada) dos processos que ocorrem gradualmente na natureza com a decomposição dos resíduos orgânicos de origem vegetal ou animal. Geralmente, é construída uma pilha de resíduos orgânicos (acúmulo de massa para decomposição) com a mistura de esterco (fonte de microrganismos para acelerar a decomposição), adiciona-se água, mistura-se para oxigenar e, rapidamente, a temperatura sobe como resultado da atividade decompositora dos microrganismos termofílicos.

Depois de um tempo, a temperatura cai e a velocidade das reações diminui até a matéria orgânica estabilizar, formando o húmus ou composto. Esse material apresenta uma composição média estável e, ao ser adicionado ao solo, vai decompor gradualmente e liberar nutrientes às plantas, além de fornecer energia para os microrganismos e afetar as propriedades do solo. A composição química equilibrada do húmus, em comparação com os resíduos não compostados, previne possíveis desequilíbrios nutricionais nas plantas. O mais comum desses desequilíbrios é a imobilização de nitrogênio. Se a relação entre a quantidade de carbono (C) e de nitrogênio (N) é muito alta, os microrganismos decompositores vão retirar N do solo (imobilizar) para decompor o resíduo orgânico, faltando N para o crescimento das plantas. Em função desta e de outras peculiaridades, a adubação nitrogenada orgânica será tratada em tópico especial, mais adiante. Cabe ressaltar que, para aproveitar os benefícios que a matéria orgânica proporciona ao solo, é preciso que o adubo seja de boa qualidade e conhecer os fatores que afetam a sua decomposição.

3. Benefícios da adição da matéria orgânica compostada ao solo

Além de adicionar nutrientes, os compostos orgânicos afetam as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, contribuindo para o desenvolvimento de um ambiente favorável ao desenvolvimento das plantas.

Propriedades físicas

Densidade do solo - a presença da matéria orgânica deixa o solo mais "fofo", já que reduz sua densidade (relação entre a massa e o volume do solo). Além dos adubos orgânicos serem mais leves que o solo e, por isso, diminuírem a densidade do solo, eles colaboram na estruturação do solo.

Estruturação do solo - a estrutura é a união das partículas do solo (areia, silte, argila). A matéria orgânica funciona como agente cimentante das partículas e sua incorporação libera substâncias orgânicas que funcionam como elementos aglutinantes das partículas. A matéria orgânica dá mais liga aos solos arenosos, tornando-os mais bem arranjados, mais estruturados, e reduz a coesão dos argilosos, fazendo com que fiquem mais "leves". Com menor densidade e solo estruturado, a compactação é diminuída e as raízes têm ambiente mais favorável para o seu crescimento.

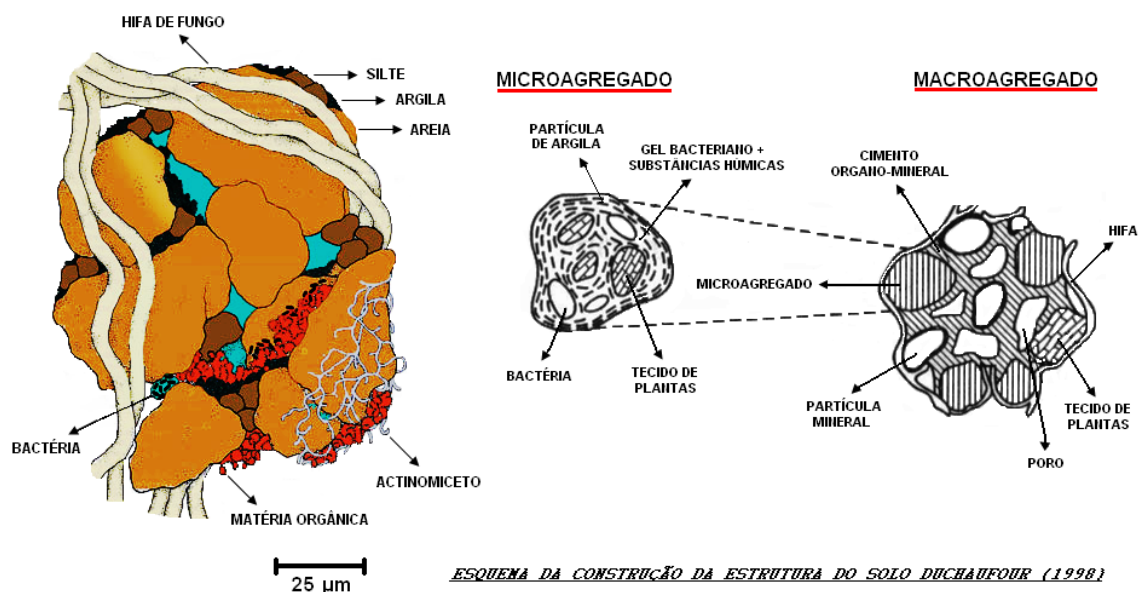


Figura 4 - Modelo de estruturação do solo e o papel da matéria orgânica.

Aeração e drenagem - a matéria orgânica melhora a aeração e a drenagem interna do solo. Promovendo a agregação e a estruturação, são formados poros com melhor distribuição de tamanho, facilitando a circulação do ar e da água. A infiltração da água da chuva é aumentada.

Retenção de água - a adubação orgânica aumenta a capacidade do solo de armazenar água. Isso ocorre indiretamente, por meio da estruturação do solo – formando macro e microagregados e a rede de poros – e diretamente, pela sua grande capacidade específica de retenção de água. Quem prepara os compostos

orgânicos conhece na prática a grande capacidade de absorção de água que a matéria orgânica apresenta. Ela pode absorver de 5 a 6 vezes sua massa em quantidade de água.

Proteção do solo - apesar de reter grande quantidade de água, a maior parte da matéria orgânica humificada é composta por substâncias hidrofóbicas, ou seja, substâncias que repelem água. Assim, os compostos humificados contribuem para a diminuição da velocidade de hidratação dos poros, diminuindo o risco de explosão dos agregados pelo movimento da água.

Propriedades químicas

Capacidade de troca de cátions (CTC) - a matéria orgânica apresenta elevada CTC, definida pela quantidade de nutrientes (mol) que uma superfície (ou massa) pode reter. São cargas negativas geradas pela dissociação de grupos ácidos, como, por exemplo, os ácidos carboxílicos (COOH que, nos valores normais de pH do solo, ficam na forma ionizada: COO⁻). As cargas negativas geradas pela dissociação dos grupos funcionais ácidos são capazes de reter um íon de carga contrária (íons positivos: K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺). Caso a CTC do solo seja baixa, os nutrientes liberados pela decomposição (mineralização) da matéria orgânica podem ser arrastados para fora do solo pela água da chuva.

Capacidade de complexação - os grupamentos funcionais presentes na matéria orgânica podem se ligar de forma estável aos íons de carga positiva elevada (Fig.5). É o caso do alumínio (Al³⁺), que, em concentrações elevadas no solo, provoca danos ao desenvolvimento radicular, reduz a atividade microbiana e, portanto, diminui a produtividade. A formação de complexos estáveis do húmus com Al³⁺ e outros metais pesados desintoxica o solo. Por outro lado, solos com quantidade elevada de matéria orgânica podem apresentar problemas de carência de micronutrientes, como o cobre que, ao ser complexado pela matéria orgânica, fica pouco disponível para a absorção.

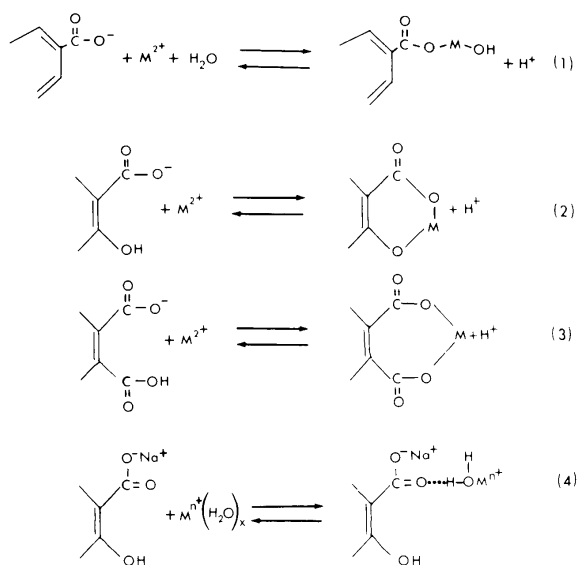


Figura 5 - Capacidade de complexação de íons. As equações 1, 2 e 3 representam reações de adsorção específica – complexos fortes e reação 4 a formação de complexos não específicos nos quais permanece a água de solvatação do íon, na qual a complexação é mais fraca.

Poder tampão - a matéria orgânica confere poder tampão ao solo. Em outras palavras, o poder tampão significa a resistência às mudanças nas propriedades do solo (Fig.6A). Pode ser considerado como o poder de proteção do solo a mudanças nas condições químicas. A retirada de pequena quantidade de matéria orgânica solúvel diminui grandemente a capacidade de tamponamento das reações (Fig.6B).

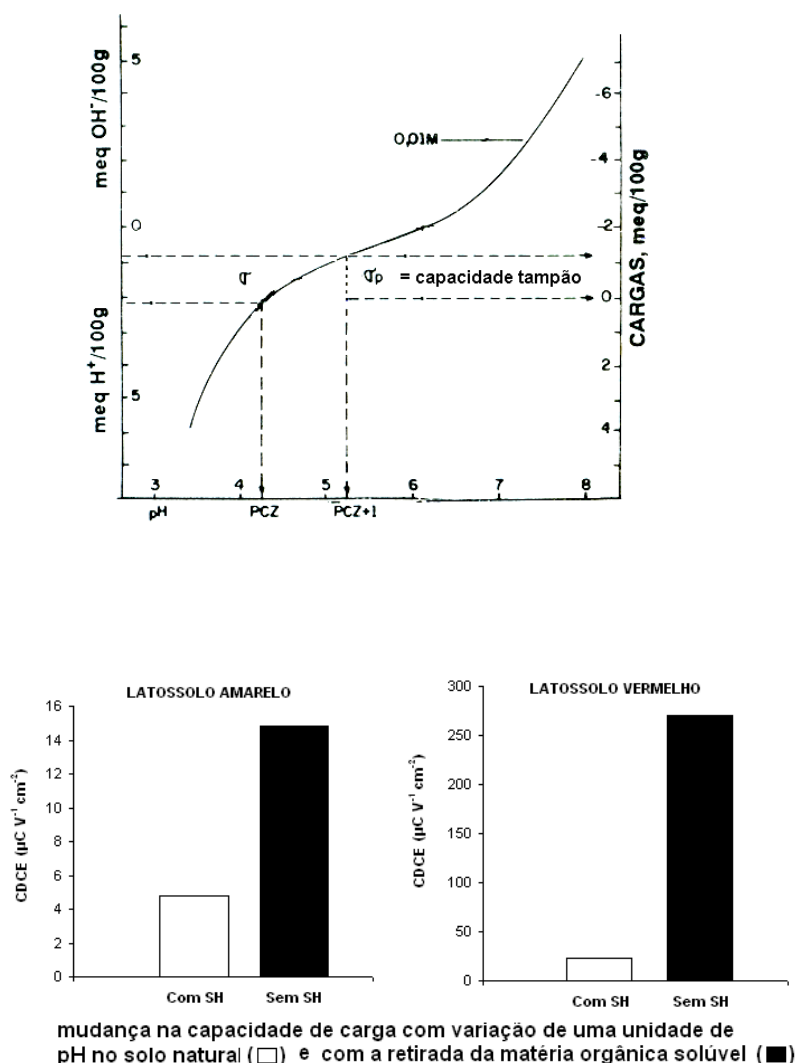


Figura 6 - Poder tampão de carga do solo correspondente à variação da quantidade de carga (+ ou -) em função da variação de uma unidade de pH (A). Perda da capacidade de resistir a mudanças na quantidade de cargas em função da retirada da matéria orgânica solúvel em dois solos (B) (DOBBSS, 2006).

Fornecimento de nutrientes: A mineralização da matéria orgânica é fonte de nutrientes para o solo e será discutida em detalhes mais adiante.

Propriedades biológicas

A matéria orgânica é a base da manutenção da vida do solo. É de onde os organismos obtêm energia e alimento para sobreviverem. Além disso, as substâncias húmicas presentes nos compostos e vermicompostos têm a capacidade de estimular diretamente o crescimento das plantas, especialmente

das raízes. Para que um nutriente seja absorvido pela célula, é preciso que os transportadores sejam energizados. Os transportadores são proteínas que “pegam” o nutriente do lado de fora da célula (do solo) e levam para dentro da célula. Para fazer esse transporte, é preciso gastar energia. Existe uma série de enzimas, chamadas de bombas de prótons, que realizam a quebra do ATP e geram a energia necessária para energizar esses transportadores. Compostos químicos presentes no húmus têm a capacidade de induzir a síntese das bombas de prótons na célula, aumentando a sua energia. Com isso, as plantas ficam mais vigorosas e resistem mais aos mais diferentes tipos de estresse, além de, obviamente, absorverem e acumularem mais nutrientes.

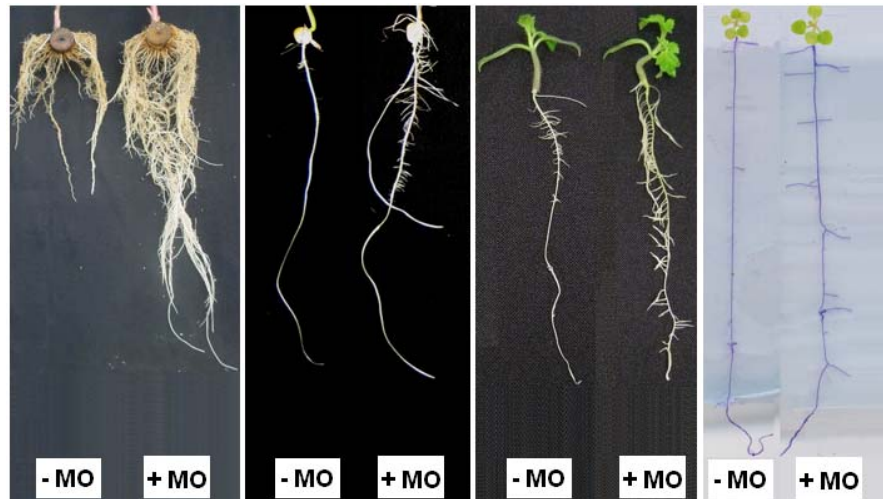


Figura 7 - Efeito da adição de matéria orgânica (MO), na forma de 20 mg C de ácidos húmicos, no crescimento de raízes de plântulas de cana-de-açúcar, milho, tomateiro e Arabidopsis.

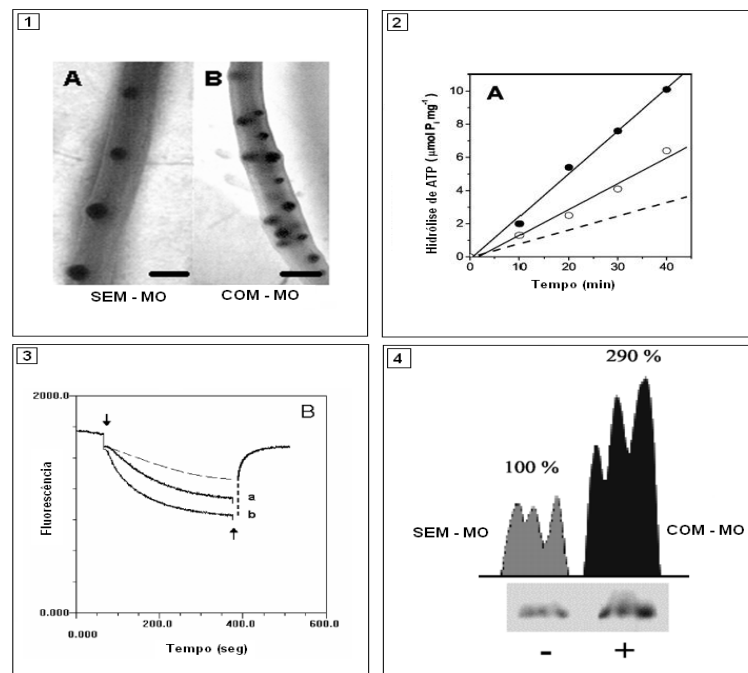


Figura 8 - A matéria orgânica induz a formação de raízes laterais nas plantas (1), promove aumento da quebra de ATP para gerar energia (2) e transportar mais eficientemente os íons (3). Foi comprovado que a matéria orgânica humificada aumenta a quantidade de bombas de prótons nas membranas biológicas, tornando-as mais eficientes energeticamente (4). (CANELLAS, 2006)

4. Adubação orgânica

Vermicomposto

O vermicomposto é o produto final da ação combinada das minhocas e, também, da microflora e microfauna que vivem em seu trato intestinal, que transformam materiais orgânicos de origem animal e vegetal em compostos mais estabilizados quimicamente. O processo de vermicompostagem ocorre, basicamente, em dois estágios. Inicialmente, resíduos de origem animal e vegetal são submetidos ao processo de compostagem convencional, com o objetivo principal de reduzir a temperatura originada durante a oxidação da matéria orgânica. A seguir, as pilhas de material compostado recebem o povoamento das minhocas, numa fase denominada estabilização. O vermicomposto possui características químicas de pH, teor de matéria orgânica, nitrogênio e fósforo que indicam a possibilidade do seu uso como adubo orgânico.

Quadro 2 - Composição química do vermicomposto.

Elemento	%
Carbono	6,4
N total	1,6
Fósforo	0,05
Potássio	1,5
Cálcio	2,5
Magnésio	0,5
Enxofre	0,6
Relação C/N	4,0

A vermicompostagem acelera a decomposição da matéria orgânica, altera as propriedades físicas e químicas do material original e diminui a relação C/N, conduzindo a um processo de humificação rápido, no qual compostos orgânicos relativamente instáveis no ambiente são estabilizados nas substâncias húmicas. A passagem do esterco bovino pelo trato intestinal das minhocas pode aumentar em até 30% o conteúdo de matéria orgânica humificada quando comparado aos procedimentos convencionais de compostagem. O produto final da vermicompostagem apresenta teor de nutrientes superior ao substrato inicial, mas o seu efeito sobre o desenvolvimento das plantas vai além da simples disponibilização de nutrientes, já que pode influenciar em outras características fisiológicas das plantas.

Em áreas agrícolas, a aplicação direta de vermicomposto promove uma série de benefícios nos indicadores de qualidade de solo, como o aumento da CTC e da retenção de água, elevação nos teores de nutrientes disponíveis e diminuição da acidez. Com isso, a produtividade de diferentes culturas pode ser aumentada. Por exemplo, a adição de vermicomposto em doses de 10, 20, 30 e 40 toneladas ha⁻¹ resultou em produtividades de tomate na ordem de 114, 138, 136 e 192mg ha⁻¹, bastante superiores aos 56mg ha⁻¹ obtidos na área sob aplicação de fertilizantes inorgânicos. Além disso, foi observada redução no

gradiente de infestação das plantas por *Fusarium oxysporum*, com o efeito de proteção proporcional à dose de vermicomposto aplicada. O cultivo de tomates utilizando substratos orgânicos, como o vermicomposto, também tem reflexos na qualidade dos produtos obtidos, com aumento da quantidade de cálcio e vitamina C em comparação a outros cultivos que utilizam exclusivamente fertilizantes inorgânicos (PREMUZIC et al., 1998).

Torta de Filtro

No processo de fabricação do açúcar, para cada tonelada de cana processada são gerados, em média, 30kg de torta de filtro, resultado da clarificação do caldo obtido em moenda. Nesse processo, o caldo aquecido recebe uma solução de hidróxido de cálcio e enxofre, favorecendo a elevação do pH e possibilitando a floculação das substâncias orgânicas coloidais. O caldo, clarificado e limpo, é evaporado para produzir o açúcar, e o lodo, formado pelos compostos insolubilizados após um período de decantação, segue para filtração à vácuo, onde é recuperada a sacarose ainda existente. Ao lodo, mistura-se bagaço de cana finamente moído para permitir a consistência apropriada para a filtração a vácuo, que dá origem à torta de filtro.

Quadro 3 - Composição química da torta de filtro (Usina em Campos dos Goytacazes-RJ).

Elemento	%
Carbono	7,8
N total	1,0
Fósforo	0,07
Potássio	0,65
Cálcio	3,9
Magnésio	0,2
Enxofre	0,1
Relação C/N	7,8

A torta de filtro é um resíduo com elevado teor de matéria orgânica, composto pela mistura de fragmentos de cana em diferentes tamanhos, sacarose, fosfatos de cálcio e partículas de solos. Nas regiões de produção de açúcar do Brasil, muitos agricultores fertilizam o solo somente com esse material, reduzindo de maneira significativa os custos com a produção. A composição química média da torta de filtro varia de acordo com a região de produção, em função de fatores associados à variedade e ao estágio fisiológico da cana processada, bem como dos materiais empregados no processo de clarificação do caldo. A aplicação da torta de filtro nos solos cultivados é realizada nas entrelinhas da cana-soca (40-50 toneladas ha⁻¹), no sulco de plantio (15-30 toneladas ha⁻¹) ou é incorporada ao solo antes do plantio (80-100 toneladas ha⁻¹). A aplicação de quantidades menores, como a aplicação anual de 5 toneladas de mistura de bagaço e torta de filtro, resultou no aumento na altura e no número de plantas de cana por hectare e, conseqüentemente, no acréscimo de 30% na produtividade em relação à área sem aplicação (MOHEE; BEEHARRY, 1999).

Em função da concentração dos nutrientes, a torta de filtro pode, em condições específicas, substituir completamente a aplicação de fertilizante fosfatado quando utilizada em doses superiores a 20 mg ha⁻¹ no sulco de plantio. Além disso, a aplicação em conjunto da torta de filtro com fosfatos naturais possibilita a disponibilização mais rápida do P, uma vez que foi observada a capacidade de melhorar a solubilidade desses compostos. A aplicação de torta de filtro, ou do produto da sua compostagem, incrementa significativamente, num único ciclo de crescimento da cana, a atividade biológica, a matéria orgânica e a agregação física do solo, bem como a produtividade da cultura.

Aplicação de vermicomposto e torta de filtro

Conhecendo o solo e a demanda de nutrientes das culturas

O primeiro passo para o sucesso da fertilização orgânica é conhecer o estado geral do solo. Há muitas formas de fazer isso. O agricultor, geralmente, sabe da qualidade do seu solo e desenvolve indicadores bastante precisos para avaliá-la. A presença de determinadas plantas, por exemplo, são indicadoras do ambiente. Quando a samambaia domina numa área, geralmente os solos são ácidos e com problemas de alumínio. A barba-de-bode também é hábil em crescer nos terrenos ácidos. O capim sapé cresce bem em solos pobres e compactados. A guanxuma (*Sida* spp.) é geralmente usada para indicar solos compactados. Já a beldroega e o caruru são típicos de solos de boa fertilidade.

A coloração do solo também é bastante usada pelos agricultores para qualificar seu ambiente. Solos escuros geralmente indicam a presença de matéria orgânica e fertilidade. Solos amarelos e profundos são tipicamente de baixa fertilidade natural.



Figura 9 - A matéria orgânica confere coloração escura ao solo. Na camada superficial, a coloração é mais escura em função do acúmulo da matéria orgânica. (Foto: Prof. Jolimar Schiavo)

Os técnicos ficam mais à vontade para diagnosticar a fertilidade do solo por meio da interpretação da análise de solo. A combinação da observação prática com a análise química ajuda a compreender o sistema. O resultado da análise de solo expressa, geralmente, a quantidade de nutrientes que é possível extrair com determinado extrator. Os resultados são interpretados de acordo com a faixa de conteúdo encontrada.

Quadro 4: Classes de interpretação da fertilidade do solo.

Classe de interpretação	Ca	Mg	K	SB	CTC	v (%)
	-----cmol _c dm ⁻³ -----					
Muito baixo	≤0,40	≤0,15	≤0,040	≤0,60	≤1,60	≤20,0
Baixo	0,41-1,20	0,16-0,45	0,041-0,102	0,61-1,80	1,61-4,30	20,1-40,0
Médio	1,21-2,40	0,46-0,90	0,103-0,179	1,81-3,60	4,31-8,60	40,1-60,0
Bom	2,41-4,00	0,91-1,50	0,180-0,306	3,61-6,0	8,61-15,00	60,1-80,0
Muito bom	>4,00	>1,50	>0,306	>6,0	>15,0	>80,0

Classe de interpretação da acidez

pH (água)	Classe
≤4,5	acidez muito elevada
4,5-5,0	acidez elevada
5,1-6,0	acidez média
6,1-6,9	acidez fraca
7,00	neutro
7,1-7,8	alcalinidade fraca
>7,8	alcalinidade elevada

Classes de interpretação da disponibilidade de fósforo de acordo com os teores de argila no solo

Teor de argila	Muito baixo	Baixo	Médio	Bom	Muito bom
-----%-----	-----mg P/dm ³ -----				
60-100	2,7	<2,8	5,5-8,0	8,1-12,0	>12
35-60	4,0	4,1-8,0	8,1-12,0	12,1-20,0	>18
15-35	6,6	6,7-12,0	12,1-20	20,1-30,0	>30
0-15	10,0	12,1-20,0	20,1-30	30,1-45,0	>45

Amostras dos primeiros 20cm de dois solos do município de Campos dos Goytacazes, típicos da região Norte Fluminense, foram recolhidas de acordo com o procedimento recomendado pelo Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo (SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 1989). Um solo está localizado no Colégio Agrícola Antônio Sarlo e apresenta coloração amarela e foi classificado como Argissolo Amarelo coeso Típico. O outro está localizado no distrito de Mineiros, na Baixada Campista, e foi classificado como Cambissolo.

Os solos apresentam diferenças significativas quanto à fertilidade natural. A principal limitação do Latossolo é o conteúdo muito baixo de P, enquanto as limitações no Cambissolo são somente de ordem física, como problemas de drenagem, já que a fertilidade natural é elevada.

Quadro 5 - Análise da camada superficial (0-20cm) de Latossolo Amarelo e de Cambissolo - Campos dos Goytacazes - RJ e classe de interpretação dos valores de acordo com a 5ª aproximação de MG (Quadro 4).

Característica	Latossolo Amarelo	Cambissolo
pH	5,2 (acidez média)	5,5 (acidez média)
C (g/kg)	16 (médio)	20 (médio)
N	Nd	Nd
P (mg/dm ³)	4,7 (muito baixo)	12,0 (médio)
K (mmolc/dm ³)	1,6 (médio)	1,5 (médio)
Ca (cmolc/dm ³)	1,7 (médio)	5,9 (muito alto)
Mg (cmolc/dm ³)	1,5 (alto)	4,7 (muito alto)
S-SO ₄ ⁻² (mg/dm ³)	7,3 (médio)	21 (muito alto)
Al ³⁺ (cmolc/dm ³)	0,1 (muito baixo)	0,12 (muito baixo)
Al+H (cmolc/dm ³)	3,3 (médio)	5,2 (alto)
SB (cmolc/dm ³)	3,4 (médio)	10,8 (muito alto)
T (cmolc/dm ³)	6,7 (médio)	16,0 (muito alto)
V (%)	51 (médio)	68 (alto)
m (%)	2,9 (muito baixo)	1,1 (muito baixo)

Quantidade a aplicar e interpretação dos resultados

Baseando-se na análise de solo, recomendação de adubação e características dos fertilizantes orgânicos, a recomendação da quantidade a utilizar se encontra no Quadro 6.

Quadro 6 - Quantidade a aplicar de vermicomposto e torta de filtro para uma recomendação de 100kg de N/ha; 50kg P/ha e 50kg de K/ha.

	Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3
Adubo orgânico	Recomendação de adubação kg/ha (feita por um profissional)	Análise do adubo orgânico (feita em laboratório)	Quantidade que deverá ser aplicada para atender à recomendação: dividir coluna 2 pela coluna 3
Torta de filtro	N: 100kg/ha P: 50kg/ha K: 50kg/ha	10kg/t 0,73kg/t 14,6kg/t	10 toneladas 68 toneladas 3 toneladas
Vermicomposto	N: 100kg/ha P: 50kg/ha K: 50kg/ha	16kg/t 0,5kg/t 15kg/t	6 toneladas 100 toneladas 3 toneladas

Para uma adubação que atenda à recomendação de 100kg de N por hectare são necessárias 10 toneladas de torta de filtro ou 6 de vermicomposto por hectare. Para atender à exigência de K, a quantidade recomendada de adubo orgânico é menor, ou seja, cerca de 3 toneladas de ambos os adubos, pois o conteúdo de K no vermicomposto e na torta de filtro é praticamente o mesmo. A recomendação de 50kg de P/ha implica usar quantidades muito maiores dos adubos orgânicos (cerca de 68 toneladas de torta de filtro e 100 toneladas de vermicomposto). Para áreas maiores, o custo de transporte e produção dos adubos orgânicos pode ser fator limitante. Em função disso, a agricultura

orgânica tolera o uso de rochas fosfatadas nos processos de produção orgânica certificados. São fosfatos naturais que apresentam baixa solubilidade, mas, quando em associação com microrganismos solubilizadores de P e de substâncias húmicas solúveis, podem aumentar a sua disponibilidade. Além disso, a adição de torta de filtro e/ou vermicomposto antes da aplicação de tais fosfatos de rocha ("rochagem") aumenta a eficiência da fosfatagem devido à diminuição da capacidade de fixação de P que a matéria orgânica reconhecidamente apresenta.

Dinâmica da evolução da adubação orgânica no solo

Para avaliar a dinâmica da liberação dos nutrientes com a adubação com vermicomposto e torta de filtro, foi realizado um experimento para acompanhar a velocidade de transformação da matéria orgânica adicionada em dois solos (Latossolo e Cambissolo) nas condições de Campos dos Goytacazes.

Quadro 7 - Equações de regressão para os teores de carbono total (g dm^{-3}), nos diferentes tempos, em função das doses de vermicomposto e de torta de filtro (mg ha^{-1}), para dois solos.

Tratamento	Tempo	Equação	R ²
L + VC	T ₀ = implantação	$\hat{y} = 15,85 + 0,059 x$	1,00
	T ₁ = 90 dias	$\hat{y} = 15,81 + 0,055 x$	0,99
	T ₂ = 180 dias	$\hat{y} = 16,10 + 0,046 x$	0,99
	T ₃ = 360 dias	$\hat{y} = 15,65 + 0,040 x$	0,97
	T ₄ = 720 dias	$\hat{y} = 13,54 + 0,034 x$	0,99
L + TF	T ₀	$\hat{y} = 15,94 + 0,040 x$	1,00
	T ₁	$\hat{y} = 16,29 + 0,032 x$	0,96
	T ₂	$\hat{y} = 15,64 + 0,030 x$	0,96
	T ₃	$\hat{y} = 15,87 + 0,026 x$	1,00
	T ₄	$\hat{y} = 13,61 + 0,024 x$	0,90
C + VC	T ₀	$\hat{y} = 20,87 + 0,057 x$	0,87
	T ₁	$\hat{y} = 20,99 + 0,039 x$	0,93
	T ₂	$\hat{y} = 18,11 + 0,045 x$	0,98
	T ₃	$\hat{y} = 16,92 + 0,048 x$	0,99
	T ₄	$\hat{y} = 15,59 + 0,051 x$	0,94
C + TF	T ₀	$\hat{y} = 20,64 + 0,055 x$	0,98
	T ₁	$\hat{y} = 20,74 + 0,026 x$	0,96
	T ₂	$\hat{y} = 18,51 + 0,030 x$	0,93
	T ₃	$\hat{y} = 17,26 + 0,035 x$	0,99
	T ₄	$\hat{y} = 16,24 + 0,035 x$	0,81

C = Cambissolo; L = Latossolo; VC = Vermicomposto; TF = Torta de filtro.

Foram utilizadas doses equivalentes a 40, 80 e 120 toneladas de vermicomposto ou torta de filtro por hectare. O incremento obtido por tonelada adicionada de ambos os fertilizantes, tanto para o Latossolo como para o Cambissolo, pode ser estimado a partir das equações apresentadas no Quadro 7. Por exemplo, no dia da aplicação dos adubos (T₀), no Latossolo, as taxas de

aumento foram de $0,06\text{g dm}^{-3}$ por tonelada de vermicomposto e de $0,04\text{g dm}^{-3}$ para a torta de filtro. Assim, para aumentar meio ponto percentual no teor de C no Latossolo são necessárias, aproximadamente, 8 toneladas de vermicomposto e 12 toneladas de torta de filtro.

As Figuras 10 e 11 mostram a dinâmica da mineralização da matéria orgânica (na forma de C) das amostras incubadas ou não com os adubos orgânicos. O solo sem adição de fertilizante orgânico recebeu água e ficou em condições de temperatura favoráveis, que permitiram a evolução da matéria orgânica original. Note-se a queda do teor de C nas amostras testemunhas (sem adição de fertilizante). Ao final de dois anos, o teor de C é menor que o teor original. Essa queda é acentuada com o cultivo, pois a atividade microbológica é maior, bem como os processos e fenômenos erosivos. Com a adição de matéria orgânica, pode ser observada a mesma dinâmica de mineralização, porém com teores mais elevados que o solo sem adição de fertilizantes, mesmo dois anos após a adição de matéria orgânica.

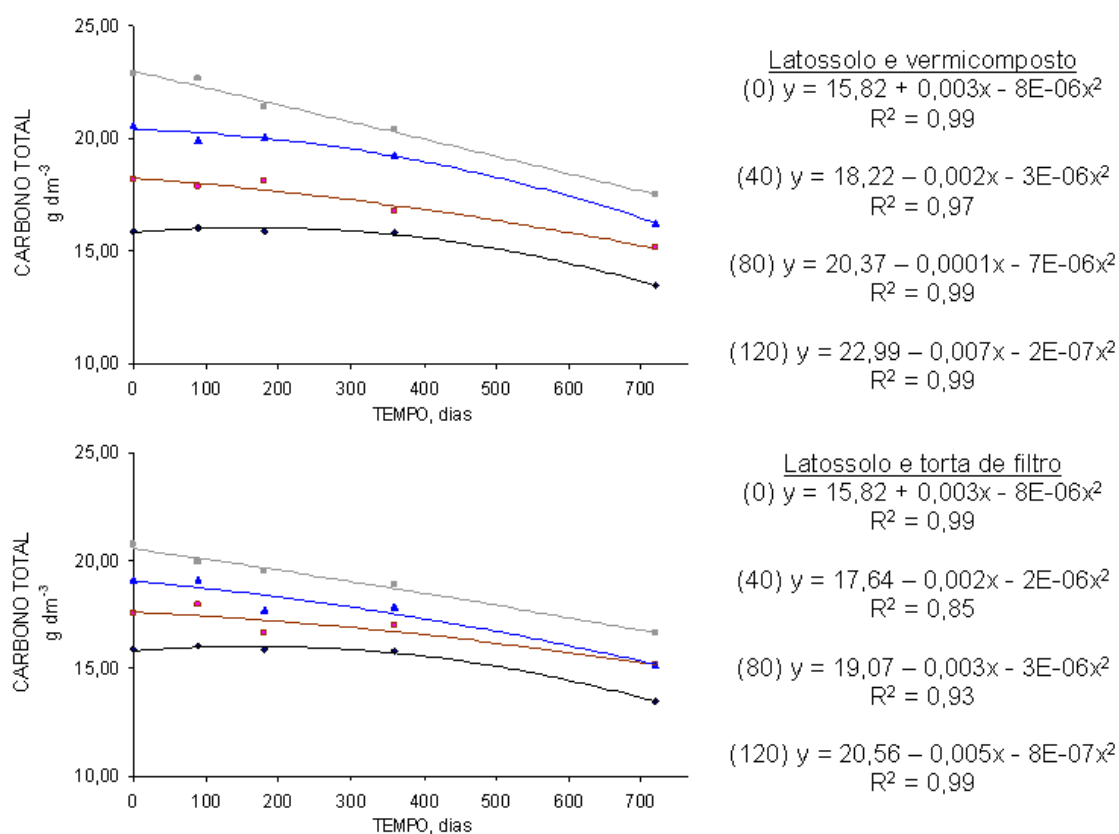


Figura 10 - Teor de carbono no Latossolo em função do tempo após a adição de fertilizante orgânico.

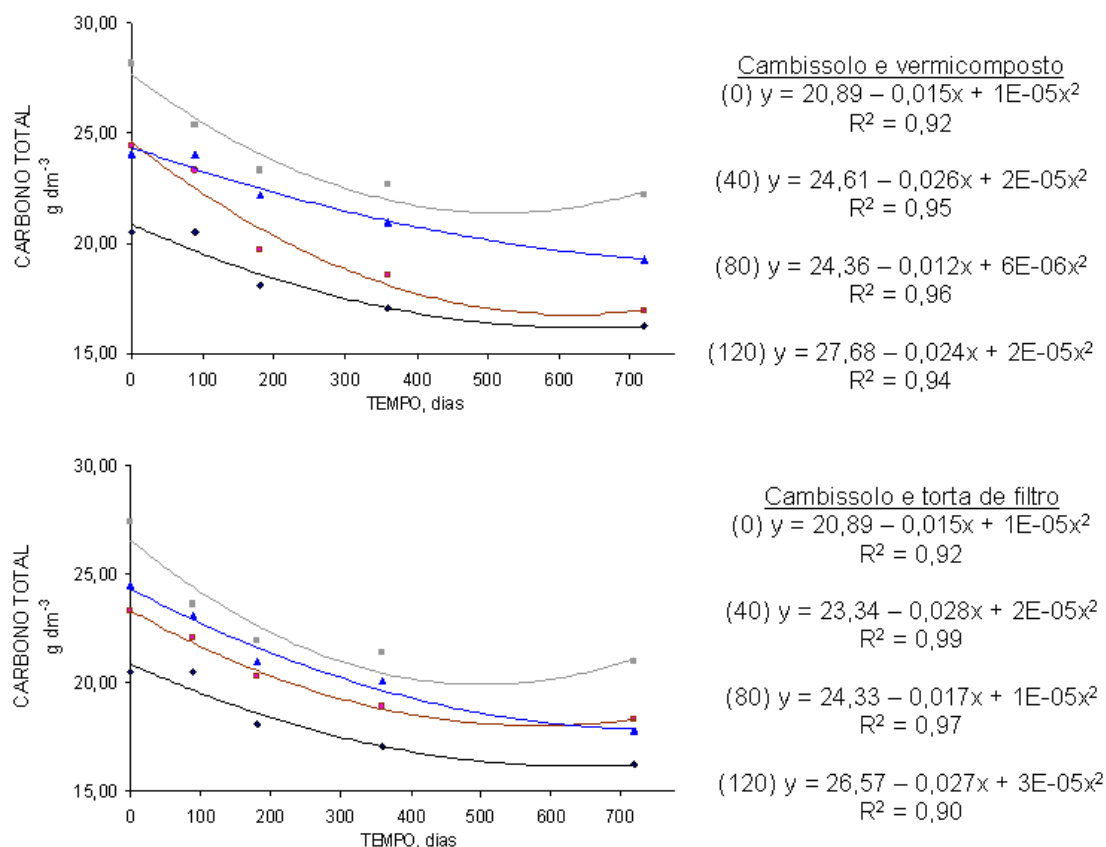


Figura 11 - Teor de carbono no Cambissolo em função do tempo após a adição de fertilizante orgânico.

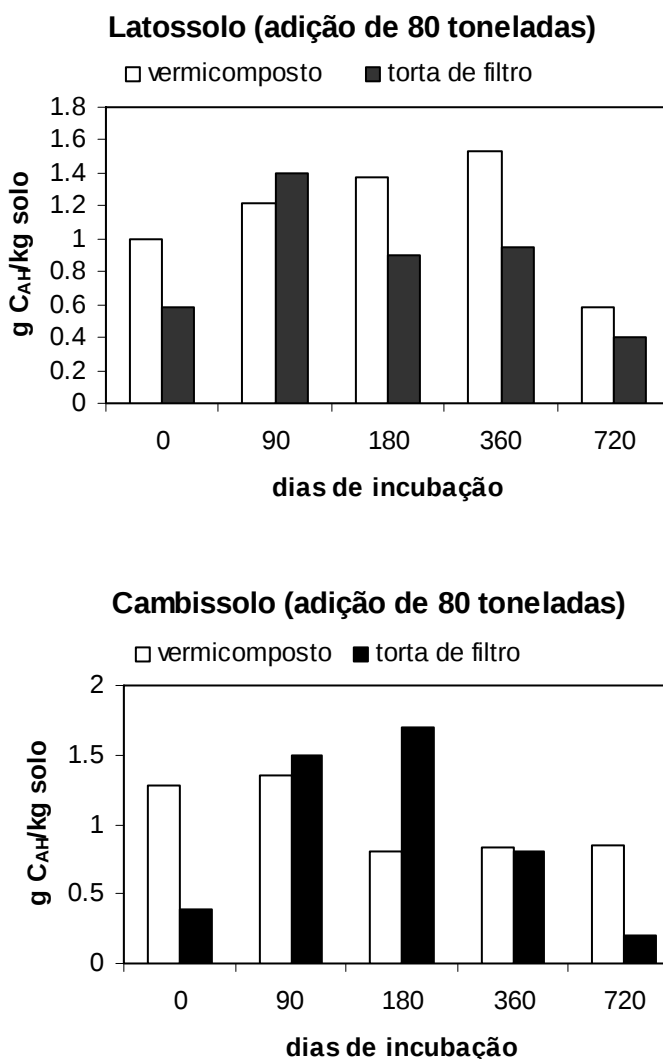
Ao longo do tempo, o decréscimo do C ocorreu de forma semelhante para os dois adubos orgânicos. A evolução do C no solo está associada à liberação de CO_2 por meio da atividade dos microrganismos e também pela formação de frações da matéria orgânica estabilizada, como os ácidos húmicos e huminas. Para o Latossolo, de forma geral, foi observado que a manutenção de teores elevados de C ocorreu até aproximadamente 360 dias. Queda acentuada foi observada no período compreendido entre 400 e 720 dias. Apesar disso, nos solos adubados, os teores da amostra controle não foram atingidos, mesmo após 720 dias de experimento.

No Cambissolo, em T_0 , o aumento do C total em função da aplicação dos adubos foi semelhante ao observado para o Latossolo, com taxas que alcançaram $0,06g\ dm^{-3}$ para cada tonelada de vermicomposto ou de torta de filtro. Ao longo do tempo, entretanto, foram observados decréscimos mais acentuados ainda no primeiro ano de aplicação, sendo o período compreendido entre 400 e 720 dias, de maneira geral, caracterizado pela estabilização dos níveis de C (Fig.11). Esse comportamento, possivelmente, decorre de diferenças na condição inicial da microbiota do solo (maior população e diversidade no Cambissolo, associada a sua melhor qualidade química).

Durante o período de incubação, a qualidade da evolução da matéria orgânica foi medida por meio da quantificação dos ácidos húmicos. A matéria orgânica humificada é definida em função da solubilidade das suas frações em função do pH do meio aquoso. A fração insolúvel, em qualquer valor de pH em meio aquoso, é chamada de humina. A fração solúvel em pH alcalino e ácido é

denominada de ácidos fúlvicos. Os ácidos húmicos são solúveis em pH alcalino, mas precipitam em pH ácido. Os ácidos húmicos são constituídos, principalmente, por componentes orgânicos hidrofóbicos e os ácidos fúlvicos predominam os grupos ácidos e hidrofílicos. Assim, quando as condições do ambiente são favoráveis, ocorre a formação de ácidos húmicos e a relação entre as frações solúveis pode indicar a qualidade da matéria orgânica.

O aumento no teor de ácidos húmicos, decorrente da aplicação de 80 toneladas por hectare de vermicomposto e torta de filtro, é apresentado na Figura 12.



No Latossolo, foi observado aumento crescente no teor de AH com adição de vermicomposto até um ano (360 dias) de incubação. Após dois anos de incubação, o teor de AH foi abaixo do original, indicando a presença de decomposição da matéria orgânica previamente existente antes da adição de vermicomposto. Com a adição da torta de filtro, o pico de produção de AH é antecipado para 90 dias de incubação. No Cambissolo, o máximo de produção de AH com adição de vermicomposto foi aos 90 dias para o vermicomposto e aos 180 dias para a torta de filtro.

Combinando os dados de quantidade de carbono com qualidade da matéria orgânica do solo, é possível indicar, de forma geral, que, a partir de 1 ano da

adição de fertilizante orgânico, começam a ocorrer perdas significativas de quantidade e qualidade. É recomendado, portanto, a reposição anual da matéria orgânica para a manutenção de sua qualidade.

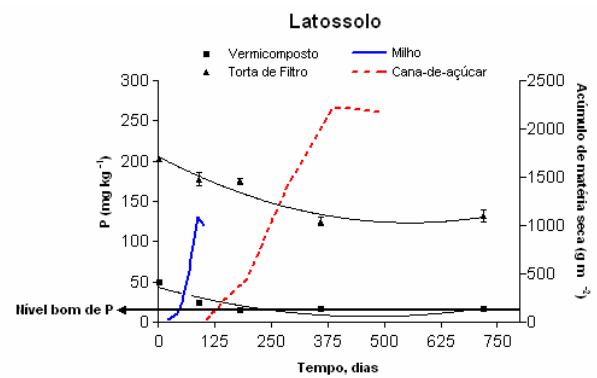
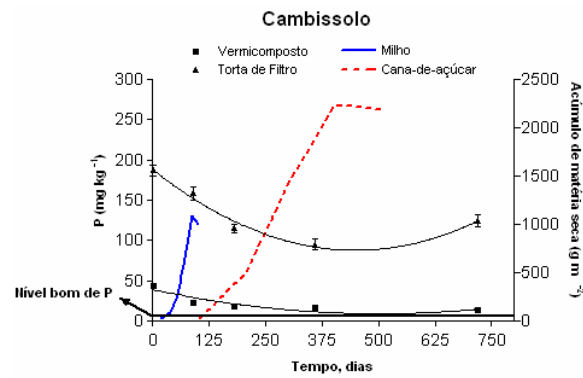
Nesse experimento, foi acompanhada, também, a liberação dos nutrientes P, K, Ca, Mg e da CTC. Aqui, encontram-se resumidos os resultados obtidos com a dose equivalente a 80 toneladas por hectare de vermicomposto ou de torta de filtro. As figuras apresentadas a seguir mostram a dinâmica dos elementos disponíveis. São assinalados, na forma de linha contínua, o nível considerado bom para cada elemento, de acordo com a recomendação de MG (Quadro 6) e, em linhas pontilhadas, as curvas de acúmulo de biomassa de uma planta de ciclo curto (milho) e relativamente longo (cana-de-açúcar). Dessa forma, é possível verificar se a adição de fertilizante promove aumento do nutriente acima ou abaixo do nível considerado bom e se a dinâmica de liberação atende ao ciclo do crescimento do milho (100 dias) e da cana (500 dias).

A Figura 13 resume a liberação de P, K, Ca, Mg e da CTC durante o tempo de incubação. Nela estão implícitos dois conceitos: a recomendação para atender às necessidades de uma cultura de ciclo curto e o nível considerado bom de cada nutriente no solo. Assim, a dinâmica de mineralização deve atender às necessidades do acúmulo de biomassa das plantas (sincronismo) e manter nível satisfatório no solo (sustentabilidade).

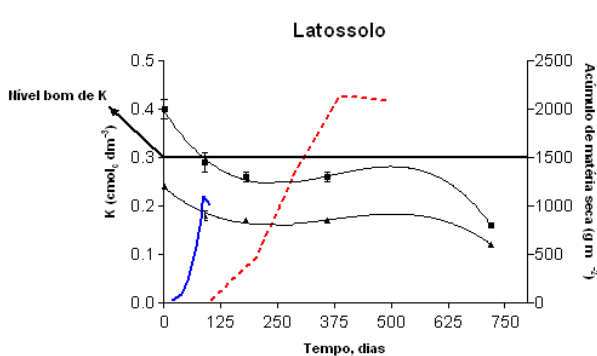
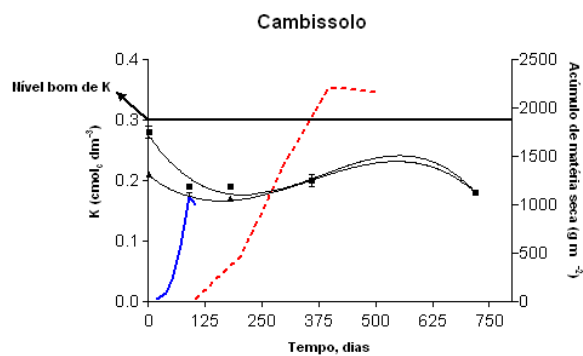
No Cambissolo, a adição de 80 toneladas de vermicomposto eleva o nível de P acima da categoria bom até 360 dias, ou seja, atende às necessidades de uma planta de ciclo curto, mas não às de uma planta de ciclo longo (ambos os solos têm teor de argila entre 380 e 370g argila kg^{-1} solo que, pelo Quadro 4, leva ao teor limite de P entre bom e ótimo de 20mg dm^{-3}). A torta de filtro, que apresenta concentração maior de P, e a adição de 80 toneladas, liberou P acima do nível bom durante todo o experimento. Já para o Latossolo, após 200 dias o nível de P ficou abaixo do bom com a adição de vermicomposto. Dessa forma, somente na fase inicial do crescimento da cana o nível de P foi considerado bom. A adição de torta de filtro foi eficiente para o fornecimento de P durante todo o ciclo. Para utilizar o vermicomposto como fonte de P para culturas de ciclo longo, as doses devem ser acima de 120 toneladas por hectare. Contudo, é mais fácil lançar mão de suplementação com fontes inorgânicas de P, como fosfatos naturais. A taxa de aumento do K^+ para o Latossolo sob aplicação de vermicomposto, em T_0 , foi de $0,039\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ por tonelada aplicada. Nas amostras subsequentes, essa taxa foi sendo gradativamente reduzida até atingir, em T_4 , $0,005\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$. No caso da torta de filtro, os aumentos no teor de K^+ foram menores e atingiram, no máximo, $0,011\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ por tonelada. Os teores de K^+ na amostra inicial, tanto do Latossolo quanto do Cambissolo, foram considerados médios, estando dentro dos limites de 1,05 e $1,79\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (RIBEIRO, 1999). As doses de vermicomposto e de torta de filtro alteraram os teores de potássio trocável no solo já nas amostras obtidas na instalação do experimento, com incrementos proporcionais à dose utilizada.

O maior incremento na disponibilização de K^+ ocorreu nas amostras obtidas em T_0 , independente do solo ou do tipo de adubo aplicado, com aumentos mais expressivos quando o vermicomposto foi utilizado. A tendência de maiores teores de K^+ nos solos sob aplicação de vermicomposto é explicada pela participação 2,2 vezes superior à de torta de filtro.

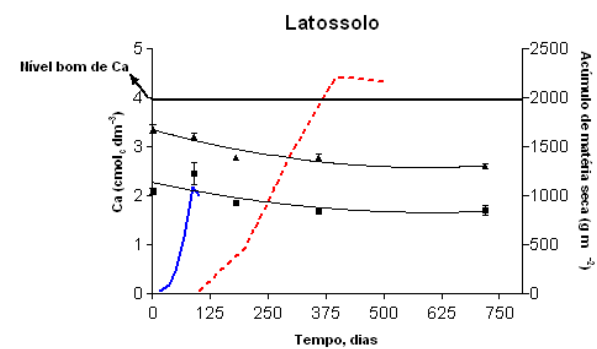
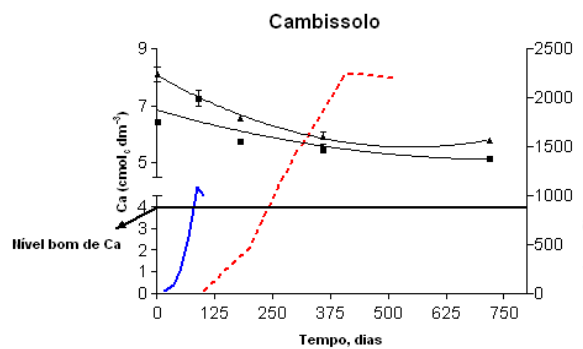
P disponível



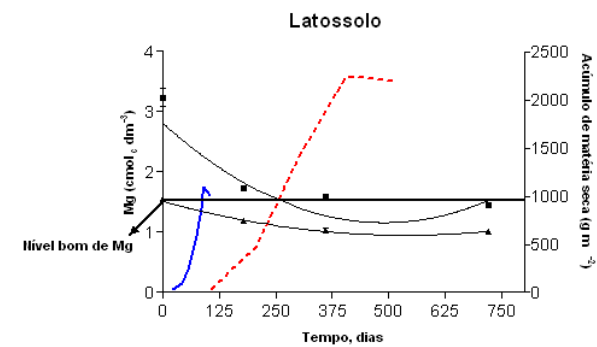
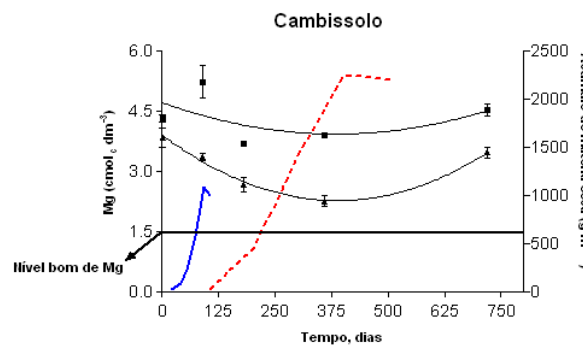
K disponível



Ca disponível



Mg disponível



CTC

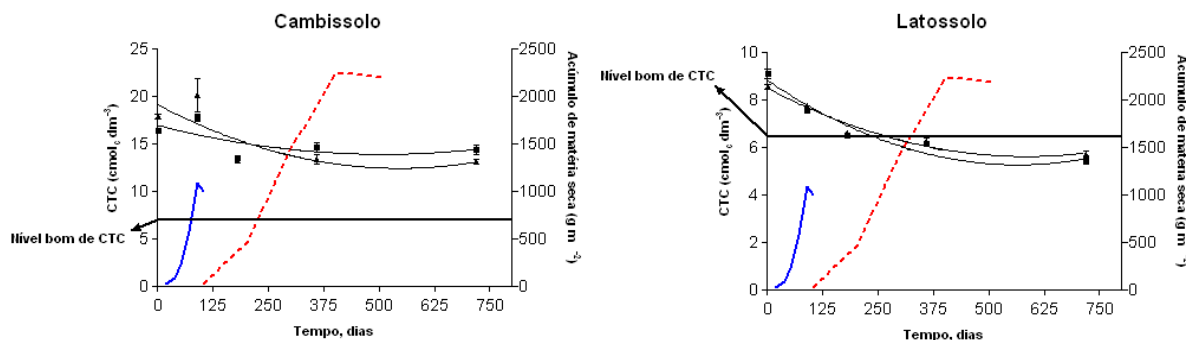


Figura 13 - Conteúdo de P, K, Ca, Mg e CTC disponível ao longo de 2 anos após a adição de 80 toneladas de vermicomposto ou torta de filtro num Cambissolo ou Latossolo Amarelo de Campos dos Goytacazes - RJ.

Ainda assim, a aplicação da dose equivalente a 80 toneladas ha⁻¹ de vermicomposto aumentou o teor de K⁺ de 1,6mmol_c dm⁻³ para 4,0mmol_c dm⁻³ apenas no Latossolo. Nesse caso, o teor permanece acima da faixa boa por quase 90 dias, praticamente cobrindo o ciclo do milho (100 dias), mas deixando claro, para a cana, a necessidade de utilização de maior dose inicial de vermicomposto ou de suplementação em cobertura (mineral ou orgânica). Para as demais situações (torta de filtro no Argissolo e ambos os adubos no Cambissolo), a aplicação de 80 toneladas ha⁻¹ não elevou o teor de K para acima da faixa boa nem no tempo T₀.

A aplicação da torta de filtro e do vermicomposto resultou em aumento linear para o teor de Ca²⁺ já no momento da instalação do experimento. Como esperado, a torta de filtro aumentou o teor desse nutriente, independente do tipo de solo, em todas as épocas de coleta. No Latossolo, a aplicação da torta representou aumento de 20,0mmol_c dm⁻³ na dose de 80 toneladas ha⁻¹. Cada mg adicionou, no tempo T₀, 0,223mmol_c dm⁻³ de Ca²⁺ ao solo. Para o vermicomposto, também foram observados aumentos importantes, embora em menor magnitude. Para cada tonelada de vermicomposto foram fornecidos 0,065 mmol_c dm⁻³ de Ca²⁺ no T₀, ou seja, 3,4 vezes menor que o tratamento com torta de filtro. A média geral de Ca²⁺ nas amostras do Latossolo sem a aplicação dos adubos orgânicos foi de 15,4mmol_c kg⁻¹. Todos os valores de Ca²⁺ observados para o Latossolo sob aplicação de vermicomposto são agronomicamente considerados médios (COMISSÃO..., 1999), incluindo a amostra sem aplicação. Já para a torta de filtro, a aplicação de 80 e 120mg ha⁻¹ atingiu nível superior, classificado como bom. Em nenhum caso, no entanto, o teor de C no Latossolo foi elevado acima da faixa boa, indicando que, para se atingirem altas produtividades, outras formas de adição desse nutriente devem ser utilizadas.

O efeito dos adubos no Cambissolo resultou em aumentos no teor de Ca²⁺ de maneira bastante semelhante ao observado para o Latossolo, embora o teor natural desse nutriente fosse 3,4 vezes superior. No T₀, cada tonelada de torta de filtro e de vermicomposto forneceu, respectivamente, 0,293mmol_c dm⁻³ e 0,064mmol_c dm⁻³ de Ca²⁺. Diferença importante na dinâmica do Ca²⁺ pôde ser observada entre os dois adubos orgânicos, independente do tipo de solo. Para o vermicomposto, as amostras obtidas após 90 dias de experimento foram as que mais disponibilizaram esse nutriente, numa proporção de 0,098mmol_c dm⁻³ para cada tonelada (Quadro 7). Já para a torta de filtro, a maior disponibilização

ocorreu ainda na instalação do experimento, em T_0 , com $0,258 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para cada mg, na média entre os dois solos. Isso pode ser o reflexo de um teor de Ca^{2+} 2,3 vezes superior na torta de filtro, resultado da aplicação de hidróxido de cálcio para a remoção de sólidos no caldo de cana. De outra forma, é possível que o Ca^{2+} presente esteja retido mais fortemente no vermicomposto, uma vez que esse material apresentou maior teor de matéria orgânica. Essa informação pode ser importante, principalmente, para o caso de implantação de culturas de ciclo curto, como hortaliças ou de espécies altamente exigentes em Ca^{2+} durante a fase de transplante de mudas. Nessas situações, a aplicação antecipada do vermicomposto é sugerida, a fim de sincronizar a maior disponibilidade desse nutriente com a exigência da planta. Ao longo do tempo, a dinâmica do Ca^{2+} foi representada por equações quadráticas, onde se observou o decréscimo gradativo desse nutriente, independente do tipo de solo, da fonte de matéria orgânica ou da dose aplicada.

Para o Cambissolo, foi possível observar o ponto de estabilização das curvas no período de aproximadamente 360 dias após a aplicação dos adubos. A partir desse ponto, os teores de Ca^{2+} já são bastante próximos ao observado para o solo testemunha, na instalação do experimento. Isso sugere que, em solos menos intemperizados e com elevado teor de Ca^{2+} , mesmo com a aplicação de grandes quantidades de matéria orgânica, os teores desse nutriente retornam rapidamente aos níveis antes da aplicação. Essa retenção do Ca^{2+} ocorre provavelmente devido à sua estabilização, juntamente com outros nutrientes, na matéria orgânica humificada, em função da sua elevada densidade de cargas negativas, originada principalmente em grupamentos fenólicos. Esse Ca^{2+} retido, entretanto, poderá retornar à solução à medida que os níveis desse nutriente forem diminuindo, o que representa efeito residual importante ao longo do tempo.

O Mg^{2+} é um dos macronutrientes exigidos em menor quantidade pela maioria das culturas, e quantidades muito pequenas na solução do solo, na ordem de $10 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, são consideradas boas (RIBEIRO, 1999). Deficiências desse nutriente são observadas, geralmente, em solos altamente intemperizados. O teor de Mg^{2+} no Latossolo, sem a aplicação dos adubos orgânicos, foi superior a $14 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, sendo considerado bom do ponto de vista agrônomo (RIBEIRO, 1999). Nesse solo, a aplicação de 80 toneladas ha^{-1} de vermicomposto resultou num incremento em torno de 17,6. Entretanto, aproximadamente 300 dias após a aplicação do vermicomposto, os teores desse nutriente estiveram próximos ao da amostra sem aplicação. A maior taxa de liberação do Mg^{2+} para o Latossolo foi observada no T_0 , quando foram disponibilizados $0,192 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para cada mg de vermicomposto. A quantidade fornecida desse nutriente foi decrescente até o T_3 , quando foi possível observar a estabilização por meio das equações de regressão em função da disponibilização do Mg^{2+} ao longo do tempo (Fig.13). Após isso, os teores retornaram a valores próximos ao solo sem aplicação do adubo. Em ambientes naturais, a remoção do Mg^{2+} para camadas mais profundas do solo ocorre em decorrência da sua fraca adsorção aos colóides minerais, tanto por ser um cátion divalente quanto por possuir um raio de hidratação maior que outros nutrientes como o Ca^{2+} . Até o T_3 , todas as amostras do Latossolo que receberam o vermicomposto apresentaram classificação agrônoma muito boa quanto ao teor de Mg^{2+} . No T_4 foi qualificada como boa a quantidade de Mg.

De forma surpreendente, a aplicação da torta de filtro no Latossolo resultou em redução nos teores de Mg^{2+} , independente da dose, o que não era esperado, já que na torta são observados teores próximos a $50\text{mmol}_c\text{ dm}^{-3}$. Como a torta de filtro apresenta teor de Ca^{2+} superior ao vermicomposto, a proposta de ocupação dos sítios de cargas negativas por esse cátion pode também ter interferido na remoção do Mg^{2+} . O decréscimo no Mg^{2+} foi, para a maior parte das amostras, proporcional ao aumento da dose de torta de filtro, numa taxa média de $0,015\text{mmol}_c\text{ dm}^{-3}$ para cada tonelada de torta de filtro aplicada. Todas as amostras do Latossolo sob aplicação da torta de filtro obtiveram classificação agrônômica boa, apesar de, ao final do experimento, todas terem apresentado teores de Mg^{2+} inferiores ao da amostra testemunha. Também nesse caso, para se atingirem altas produtividades, outras formas de adição desse nutriente devem ser utilizadas.

Quando o Cambissolo recebeu a torta de filtro, observou-se a diminuição dos teores de Mg^{2+} até aproximadamente 360 dias. O decréscimo médio, ao longo do experimento, foi de $0,037\text{mmol}_c\text{ dm}^{-3}$ para cada tonelada aplicada.

A capacidade de troca de íons é uma importante propriedade que permite aos solos reter elementos em formas acessíveis às plantas. Essa propriedade tem origem no excesso de carga elétrica existente nas superfícies. Predomina, na maioria dos solos, a troca de cátions pela maior dominância de solos eletronegativos (RAIJ, 1991). No presente estudo, foi priorizada a capacidade potencial de troca de cátions, ou seja, a CTC a pH 7,0, a qual consistiu na soma dos teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , H^+ e Al^{3+} . Na instalação do experimento, a aplicação de vermicomposto no Latossolo promoveu aumento médio de $0,300\text{mmol}_c\text{ dm}^{-3}$ para cada tonelada aplicada. Como reflexo, ainda em T_0 , a CTC do Latossolo passou de $67,6\text{mmol}_c\text{ dm}^{-3}$, na amostra sem aplicação do adubo, para $91\text{mmol}_c\text{ dm}^{-3}$ com 80 toneladas ha^{-1} , fazendo com que a classificação da CTC nas amostras que receberam 80 toneladas passassem de uma categoria média para outra considerada boa (RIBEIRO, 1999). Ao longo do tempo, os acréscimos decorrentes da adição do vermicomposto foram menores, atingindo em T_4 a taxa de $0,063\text{mmol}_c\text{ dm}^{-3}$ por tonelada aplicada.

Para o Latossolo sob aplicação da torta de filtro, em T_0 , foram observados incrementos de $0,241\text{mmol}_c\text{ dm}^{-3}$ por tonelada, resultado ligeiramente inferior ao obtido para o vermicomposto. Ao longo do tempo, entretanto, o comportamento da CTC foi semelhante. Em T_4 , valores representando a taxa de $0,058\text{mmol}_c\text{ dm}^{-3}$ por tonelada de torta de filtro foram observados.

Para o Cambissolo, a presença de minerais de argila do tipo 2:1 resultou numa CTC considerada muito boa, mesmo nas amostras sem adição dos adubos. Isso porque minerais como a Ilita apresentam CTC elevada, na ordem de 300 a $500\text{mmol}_c\text{ kg}^{-1}$. A aplicação dos adubos orgânicos, entretanto, também conduziu ao aumento da CTC, com resultados bastante semelhantes entre os adubos.

Ao longo do tempo, equações quadráticas descreveram o comportamento da CTC dos solos. O efeito da aplicação dos adubos orgânicos sobre a CTC do solo foi observado até 360 dias, aproximadamente. A partir desse ponto, em todas as amostras, independente da dose ou do tipo de adubo, os valores se assemelharam bastante ao da amostra testemunha, numa dinâmica representativamente influenciada pelo teor de carbono total do solo (Fig.12).

5. Conclusão

Diferentemente da adubação com fertilizantes solúveis, a adubação orgânica requer o envolvimento maior do técnico com a lavoura. A observação ativa e participante e o intercâmbio com o saber tradicional do agricultor são fundamentais para o sucesso da empreitada. As indicações colocadas neste guia servem como orientação geral para o entendimento da dinâmica dos nutrientes quando da aplicação dos adubos orgânicos. Necessitam, portanto, da calibração realizada pelo agricultor e sua produção.

6. Referências bibliográficas

ALMEIDA, D. L. **Contribuição da adubação orgânica para a fertilidade do solo**. 1991. 192 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo)–Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Itaguaí, 1991.

BUSATO, J. G. **Química do húmus e fertilidade do solo após adição de adubos orgânicos**. 2008. 135 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal)–Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2008.

CANELLAS, L. P. et al. Efeitos fisiológicos de substâncias húmicas – o estímulo às H⁺-ATPases. In: FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 175-200.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5. aproximação**. Lavras, 1999. 359 p.

DOBBSS, L. B. **Eletroquímica do horizonte superficial de Latossolos e caracterização de suas substâncias húmicas**. 2006. 86 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal)–Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2006.

MALAVOLTA, E. **Manual de calagem e adubação das principais culturas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1987. 496 p.

MOHEE, R., BEEHARRY, R. P. Life cycle analysis of compost incorporated sugarcane bioenergy systems in Mauritius. **Biomass and Bioenergy**, v. 17, p. 73-83, 1999.

PICCOLO, A. **Natural organic matter: a resource for environment and nanotechnologies**. In: INTERNATIONAL SUMMER SCHOOL, 1., 2007, Portici. Portici, Italy: Università di Napoli Federico II, Faculty of Agricultural Sciences, 2007. 14 p.

PREMUSIC, Z. et al. Calcium, iron, potassium, phosphorus and vitamin C content of organic and hydroponic tomatoes. **HortScience**, v. 33, p. 255-257, Apr. 1998.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Editora Ceres, 1991. 343 p.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5. Aproximação. Viçosa, MG: CFSEMG, 1999. 359 p.

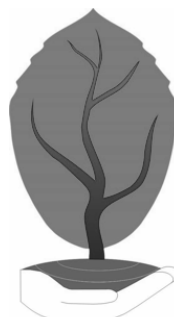
SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 2. ed. Campinas, 1989. 45 p.



GOVERNO DO
Rio de Janeiro

SECRETARIA DE
AGRICULTURA, PECUÁRIA,
PESCA E ABASTECIMENTO

SUPERINTENDÊNCIA
DE DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL



PROGRAMA
RIO RURAL



UENF

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro



**SECRETARIA DE
AGRICULTURA
E PECUÁRIA**

**SUPERINTENDÊNCIA
DE DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL**



Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro