

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**PARÂMETROS DE SOLO COMO INDICADORES DE
SUSTENTABILIDADE EM UM AGROECOSSISTEMA COM
MORANGO (*Fragaria × anassa* Duch),
EM SÃO ROQUE, SP**

Mariella Camardelli Uzêda
Enga. Agrônoma

Orientador: Prof. Dr. Newton Roberto Boni

Tese apresentada à Faculdade de
Engenharia Agrícola como requisito
para a obtenção do grau de doutor
em Engenharia Agrícola, área de
concentração Água e Solo.

Campinas, 1999

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

Uz3p

Uzêda, Mariella Camardelli

Parâmetros de solo como indicadores de sustentabilidade em um agroecossistema com morango (*Fragaria x anassa* Duch), em São Roque, SP. / Mariella Camardelli Uzêda.--Campinas, SP: [s.n.], 1999.

Orientador: Newton Roberto Boni.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Podzólico vermelho amarelo. 2. Solos - Agregação. 3. Solos - Conservação. 4. Solos - Lixiviação. 5. Morango. I. Boni, Newton Roberto. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.

DEDICO

À minha família, agora perto dos olhos,
sempre perto do coração.

ÀVovó Lourdes, alegria eterna,
ausência indisfarçável.

A Paulo Roese, amor da vida, talvez
dessa, talvez de outras ...

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Newton Roberto Boni, pela confiança, paciência e compreensão em todos esses anos de convívio.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo importante apoio financeiro.

Ao Prof. Dr. Carlos Roberto Espíndola e à Profa. Dra. Maria Alice Garcia, pelo estímulo constante, contribuições valiosas e por toda atenção dispensada.

Ao Prof. Dr. Patrick Lavelle, Diretor do Laboratório de Ecologia de Solos do Institut de Recherche et Développement (IRD - Paris/ FR), por toda a confiança, atenção, consideração e amizade dispensadas durante o nosso convívio e pelo apoio em todos os momentos posteriores. Ao IRD, aos seus funcionários e estudantes que tornaram mais quente o inverno mais gelado da minha vida.

Ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura, que sabe, como poucas instituições, potencializar sua estrutura, acolhendo inclusive a intrusos, como eu. E aos seus funcionários (Robert e Mara), que jamais negaram qualquer tipo de auxílio.

À Faculdade de Engenharia Agrícola, por ser meu porto seguro em todos esses anos de pós-graduação e peregrinação.

Às secretárias Aninha (PG), Martoca (PG) e Zuzely (DAGSOL), pela paciência de jô com toda a minha loucura. À Céia Panzarine (Laboratório de Solos), amizade conquistada que me valeu um apoio sem medidas. A todos os outros funcionários e professores que em algum momento ajudaram e, podem estar certos, que foram muitos os que ajudaram.

Aos amigos... do Jurássico: Tia Di, Pôlist, Paulo Ricardo, Lagras, Yami, Bilula, Roger Zanaga, Roger Stac, Laurent, Sara, Heleninha, Rosa (Suzana e Andréia). Aos mais recentes, tão irmãos quanto os outros: Suely, Gicolina, Helga, Cris, Fernandinha, Sardinha, Mococa, Nate. SAUDADE ENORME DE TODOS VOCÊS!!!

Às famílias Martini e Roese, que sempre me acolheram de braços abertos...

ÍNDICE

I. INTRODUÇÃO.....	1
II. OBJETIVOS.....	4
III. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
1. Agroecossistemas, Definição e Importância.....	5
2. Sustentabilidade	6
3. Principais Processos Dos Agroecossistemas e a Sua Sustentabilidade.....	7
4. Biodiversidade Nos Agroecossistemas.....	12
IV. MATERIAL E MÉTODOS.....	17
1. Área de Estudo.....	17
2. Descrição do Experimento.....	18
2.1. Instalação e Condução do Experimento.....	21
2.2. Ensaio de Decomposição.....	22
3. Amostragem.....	23
3.1. Tempos Amostrais.....	23
3.2. Métodos de amostragem.....	25
4. Métodos de Análise.....	26
4.1. Granulometria.....	26
4.2. Densidade do Solo.....	27
4.3. Estabilidade dos Agregados em Água.....	27
4.4. Determinações Químicas e Bioquímicas.....	28
4.5. Índice de Perdas de Nutrientes.....	29
4.6. Biomassa e Comprimento de Raízes.....	29
4.7. Biomassa Microbiana	31
4.8. Taxa de Infecção por Fungos Micorrízicos Vesículo-Arbuscular.....	33
4.9. Macrofauna.....	33
4.10. Fitomassa e Produtividade dos Agroecossistemas	34
4.11. Composição Química e Velocidade de Decomposição do <i>Pennisetum purpureum</i> Shum Como Cobertura Morta.....	34
4.12. Tratamento Estatísticos.....	35
V. RESULTADOS	36
1. Parâmetros Físicos.....	36
1.1. Características Granulométricas	36
1.2. Densidade do Solo.....	36
1.3. Distribuição de Agregados em Água.....	37

2. Parâmetros Químicos.....	39
2.1. Caracterização Inicial do Solo.....	39
2.2. Dinâmica dos Nutrientes Camadas Superficiais do Solo.....	40
2.3. Dinâmica dos Nutrientes a 60 cm de Profundidade (Índice de Perdas de Nutrientes).....	51
3. Parâmetros Biológicos.....	54
3.1. Biomassa e Comprimento de Raízes.....	54
3.2. Biomassa Microbiana.....	57
3.3. Infecção por Fungos Micorrízicos Vesiculares Arbusculares (MVA).....	60
3.4. Macrofauna do Solo.....	61
4. Produção Vegetal do Sistema.....	64
4.1. Fitomassa da Planta de Morango.....	64
4.2. Fitomassa das Plantas Invasoras.....	65
4.3. Produção de Frutos Economicamente Viáveis.....	66
VI. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	67
VII. ENSAIO DE DECOMPOSIÇÃO.....	82
VIII. MODELO TEÓRICO DA DINÂMICA DA CICLAGEM DOS NUTRIENTES DO SOLO	92
IX. CONCLUSÕES.....	97
X. BIBLIOGRAFIA.....	100

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Síntese dos principais fluxos de nutrientes.....	16
Figura 2. Mapa de Localização da Cidade de São Roque (SP).....	17
Figura 3. Medidas da precipitação e temperatura média mensal no Município de São Roque..	18
Figura 4. Parcela padrão do experimento.....	20
Figura 5 . Desenho descritivo do experimento	21
Figuras 6 e 7. Dinâmica do nitrogênio nas camadas superficiais do solo (0 a 10 e 10 a 20 cm).....	40
Figuras 8 e 9. Dinâmica do fósforo nas camadas superficiais do solo (0 a 10 e 10 a 20 cm).....	42
Figuras 10 e 11. Dinâmica do potássio nas camadas superficiais do solo (0 a 10 e 10 a 20 cm).....	43
Figuras 12 e 13. Dinâmica do Magnésio nas camadas superficiais do solo (0 a 10 e 10 a 20 cm).....	45
Figuras 14 e 15. Dinâmica do enxofre nas camadas superficiais do solo (0 a 10 e 10 a 20 cm).....	46
Figuras 16 e 17. Dinâmica do cálcio nas camadas superficiais do solo (0 a 10 e 10 a 20 cm).....	47
Figuras 18 e 19. Dinâmica do C orgânico nas camadas superficiais do solo (0 a 10 e 10 a 20 cm).....	48
Figura 20. Dinâmica do Nitrogênio a 60 cm de profundidade.....	51
Figura 21. Dinâmica do Fósforo a 60 cm de profundidade.....	51
Figura 22. Dinâmica do Potássio a 60 cm de profundidade.....	52
Figura 23. Dinâmica do Cálcio a 60 cm de profundidade.....	52
Figura 24. Dinâmica do Magnésio a 60 cm de profundidade.....	53
Figura 25. Dinâmica do Enxofre a 60 cm de profundidade.	53
Figuras 26 e 27. Dinâmica da biomassa de raízes nas camadas superficiais do solo (0 a 10 e 10 a 20 cm).....	55
Figuras 28 e 29. Dinâmica do comprimento de raízes nas camadas superficiais do solo (0 a 10 e 10 a 20 cm).....	56
Figura 30 e 31. Dinâmica da biomassa microbiana nas camadas superficiais do solo (0 a 10 e 10 a 20 cm).....	58
Figura 32. Taxa de infecção por Fungos Micorrízicos	60
Figuras 33 e 34. Número de Minhocas, Enquitreídeos e Formigas nas camadas superficiais do solo (0 a 10 e 10 a 20 cm).....	63
Figura 35. Fitomassa da planta de morango.....	65

Figura 36. Fitomassa de Invasoras.....	65
Figura 37. Produção de frutos por planta.....	66
Figura 38. Caracterização das relações existentes entre as variáveis no período inicial de cultivo.....	68
Figura 39. Caracterização das relações existentes entre as variáveis aos 30 dias de cultivo....	70
Figura 40 Caracterização das relações existentes entre as variáveis aos 50 dias de cultivo.....	74
Figura 41. Caracterização das relações existentes entre as variáveis aos 120 dias de cultivo.	76
Figura 42. Caracterização das relações existentes entre as variáveis aos 220 dias após o cultivo.....	79
Figura 43. Biomassa remanescente do capim napier (<i>Pennisetum purpureum</i> Shum.).....	83
Figura 44. Lignina remanescente ao longo do tempo no material em decomposição.....	84
Figura 45. Celulose remanescente ao longo do tempo no material em decomposição.....	85
Figura 46. Dinâmica dos nutrientes durante a decomposição do material adicionado ao solo.	86
Figura 47. Percentual do conteúdo original dos nutrientes durante o processo de decomposição.....	88
Figura 48. Correlação entre os conteúdos de N e de Ca durante o período de decomposição.	89
Figura 49. Correlação entre os percentuais de N e lignina liberados durante o período de decomposição.....	89
Figura 50. Relação entre os percentuais de N e lignina liberados e o N do solo.....	91
Figura 51. Fluxo de C orgânico representativo do modelo proposto.....	93

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Caracterização Química do Composto e do Húmus Utilizados no Experimento.....	20
Tabela 2. Características Químicas do Material Orgânico Adicionado ao Solo (<i>Penissetun purpureun</i> Shun.).....	23
Tabela 3. Caracterização granulométrica do solo do experimento e do solo da mata adjacente.....	36
Tabela 4. Densidade do solo nas parcelas dos tratamentos e na área de mata adjacente.....	37
Tabela 5: Diâmetro Médio Ponderado (DMP) dos agregados dos tratamentos e na área de mata adjacente.....	38
Tabela 6: Resultados das primeiras análises químicas realizadas, visando a caracterização da fertilidade da área onde foi implantado o experimento.....	39
Tabela 7. Dinâmica dos micronutrientes nas camadas superficiais do solo.....	50
Tabela 8. Relação entre o C orgânico e o C microbiano nas camadas superficiais do solo.....	59

Tabela 9. Número de indivíduos dentro das categorias de função ambiental nos tratamentos testados.....	61
Tabela 10. Número médio de indivíduos e de espécies por parcela e o numero total de espécies por tratamento em cada tratamento estudado.....	62
Tabela 11. Número de espécies encontradas nos tratamentos	64
Tabela 12. Taxas de decomposição baseadas no modelo exponencial.....	85
Tabela 13. Características do solo em cada um dos sítios testados no momento da instalação do ensaio de decomposição.....	90
Tabela 14. Regressão em um modelo exponencial relacionando a constante de decomposição as propriedades do solo.....	90
Tabela 15. Características do solo em cada um dos sítios testados no momento da final do ensaio de decomposição.....	91
Tabela 16. Relação entre disponibilidade de nutrientes no complexo de trocas e perda.....	94
Tabela 17. Relação entre os mecanismos protetores dos nutrientes, a disponibilidade de nutrientes na superfície do solo e as perdas de nutrientes.....	95
Tabela 18. Relação entre o percentual de agregados e o C microbiano (% C _{org}) em cada um dos tratamentos.....	96

RESUMO

Neste trabalho foram relacionadas práticas agrícolas orgânicas e convencionais adotadas no cultivo de morango (*Fragaria X. anassa* Duch.) com a eficiência na ciclagem de nutrientes adicionados e com a produtividade desses sistemas. Utilizou-se como base a seguinte hipótese: os insumos orgânicos fornecem nutrientes de forma sincronizada com as demandas da planta cultivada, estimulam os mecanismos de retenção de nutrientes, permitem uma maior diversidade da fauna e uma melhor estruturação do solo, o que implicaria redução das perdas de nutrientes por lixiviação.

Para avaliação dessa hipótese, foi instalado, no município de São Roque (Estado de S. Paulo), em um solo Podzólico Vermelho-Amarelo, um experimento com os seguintes tratamentos: adubação orgânica sem cobertura, adubação orgânica e cobertura morta de Capim Napier (*Pennisetum purpureum* Shum.), adubação orgânica e cobertura plástica, adubação convencional e cobertura plástica, sendo a testemunha uma área de mata adjacente ao experimento. Foram tomadas variáveis relacionadas à produtividade do sistema, à física, à química e à biologia do solo. Para acompanhamento dos processos particulares que ocorrem no tratamento onde se utiliza cobertura morta, foi montado um ensaio de decomposição em suas parcelas e em parcelas da área de mata.

Os tratamentos que receberam insumos orgânicos mostraram uma maior vitalidade dos mecanismos biológicos de retenção de nutrientes, mostrando-se mais sincronizados com a demanda por nutrientes pela planta cultivada. A população de enquitreídeos, a taxa de infecção por fungos micorrízicos, a estabilidade dos agregados e a biomassa microbiana apresentaram-se como potenciais indicadores de sustentabilidade.

A área de mata apresentou uma ciclagem de nutrientes mais acelerada, com menores períodos de imobilização do que o tratamento sob cultivo, sendo a constante de decomposição relacionada a características do ambiente (pH do

solo, disponibilidade de P, N, Ca, Mg e ainda ao C microbiano) e à qualidade do material adicionado (teor de N, Ca e lignina).

Verificou-se por intermédio do modelo proposto que são determinantes na perda de nutrientes: a disponibilidade dos mesmos no complexo de trocas, os agregados maiores que 2 mm e a reserva de C microbiano existente. Os agregados maiores que 2 mm e a reserva de C microbiano, ainda que não possuam relação direta entre si, mostraram-se diretamente relacionados a retenção de nutrientes nas camadas superficiais do solo.

ABSTRACT

This work has as objective to contribute for the understanding of the of organic and conventional agroecosystems function, studying with major emphasis the theme of ecology of soils. It looked for to relate the organic and conventional agricultural practices adopted in the strawberry cultivation (*Fragaria X. anassa* Duch.) with the productivity of those systems and still to evaluate the efficiency in the nutrients cycle through the adopted input. For reach of the objectives and evaluation of the hypothesis proposal, an experiment was installed in the municipal district of São Roque (State of S. Paulo) with following treatments: organic input without covering, organic input and mulch of napiê grass (*Pennisetum purpureum* Shum.), organic input and plastic covering, conventional input and plastic covering. Being the witness a forest area adjacent to the experiment. The system productivity, soil physics, soil chemistry and soil biology were evaluated. For accompaniment of the particular processes in the organic treatment with mulch, a decomposition test was make. The treatments that received organic input showed a larger vitality of the biological mechanisms of nutrients retention, being shown more synchronized with the demand of nutrients of the cultivated plant. The enchytraeidae population, the infection rate for mycorrhizal fungi, the stability of the aggregate and the microbial biomass came as potential sustainability indicators. The forest area presented a more accelerated nutrients turnover, with smaller immobilization periods than the treatment under cultivation. The decomposition constant was related the characteristics of the environment (soil pH, P, N, Ca, Mg levels and microbial C) and the quality of the added material (N, Ca and lignin levels) . The proposed model showed that are decisive in the nutriment loss: nutriment level in the change complex, the largest aggregate than 2,00 mm and the pool of microbial C.

I. INTRODUÇÃO

Este trabalho é parte de um projeto integrado de pesquisa que vem se realizando na região de São Roque, Estado de São Paulo, por uma equipe multidisciplinar, que tem como objetivos gerais caracterizar a região e os sistemas de produção orgânica, além de fornecer informações básicas para orientar agricultores e subsidiar projetos de pesquisa em agroecologia, buscando enfoque interdisciplinar. Visa também, de forma específica, caracterizar os sistemas de produção orgânica quanto a seus componentes ecológicos, econômicos e socioculturais. Neste contexto, o presente trabalho estuda o solo como um dos componentes básicos do agroecossistema, abordando aspectos da ciclagem de nutrientes como indicadores de sustentabilidade.

Recentemente, as formas de agricultura alternativa (biológica ou orgânica) têm sido muito enfatizadas como possíveis respostas ao uso abusivo de fertilizantes minerais, pesticidas e outros insumos que causam fortes impactos ao agroecossistema e afetam toda uma rede de consumidores estabelecida dentro e fora dele. Os impactos são tanto de ordem sócio-econômica como ambientais. São muitos os produtores excluídos do mercado, em função dos altos custos dos insumos tradicionalmente usados, e muitos são os casos de excessos cometidos no uso de pesticidas e adubos minerais, provocando sérios danos a mananciais e ao solo.

A idéia de uma agricultura orgânica tem como prioridades o uso de fertilizantes naturais e controladores biológicos de pragas e patógenos, além da diversificação e rotação de culturas. Essas práticas tornam o ambiente mais estável e menos suscetível a danos e doenças. Com relação ao solo, são bem reconhecidos os danos causados pela agricultura convencional, com a redução da diversidade biológica e da atividade da fauna, além da perda da estrutura do solo e conseqüentes compactação e erosão.

Um importante fator que contribui para a avaliação da instabilidade do agroecossistema é a dependência de insumos externos, reflexo de um ciclo de nutrientes, energia e água abertos (ALTIERI, 1992), ou seja, com perdas para fora do sistema. Portanto, a sustentabilidade do agroecossistema ao longo do tempo pressupõe a redução das perdas de nutrientes, mediante utilização de insumos obtidos por práticas biológicas e orgânicas de reciclagem. Estes insumos possuem um ritmo de mineralização compatível com a capacidade de retenção dos nutrientes pelo solo e o poder de absorção e utilização dos mesmos pelas plantas, deixando-os menos vulneráveis à lixiviação, percolação e perda dos mesmos por erosão.

O suprimento de nutrientes às plantas, que é garantia de produtividade das culturas, depende, dentre outros fatores, da intensidade da mineralização da matéria orgânica e da conseqüente liberação e capacidade de retenção de nutrientes no solo. Depende, ainda, da estrutura dos solos, cuja distribuição de espaços vazios, ou ocupados com água, vai determinar o suprimento adequado de oxigênio e de nutrientes às raízes, aos microorganismos e à fauna a ela associados, além de influenciar o grau de resistência dos solos à erosão.

O solo, entretanto, a depender do seu material de origem e dos fatores climáticos (que imprimem a velocidade de pedogênese e evolução do solo), pode ser mais ou menos fértil ou sensível ao uso agrícola (LAVELLE et al., 1992). Com os sucessivos ciclos de cultivo e atividades de preparo, a sua condição original de estrutura e disponibilidade de nutrientes ficam afetadas. A manutenção da fertilidade passa a depender de insumos orgânicos de composição adequada, que promovam uma taxa de mineralização e que liberem nutrientes em quantidades suficientes e equilibradas para a nutrição das plantas, evitando, também, perdas por lixiviação, e ainda que estimulam a produção de substâncias agregantes que beneficiam a sua estruturação.

Em um sistema sustentável os fluxos de nutrientes comportam-se de forma que o nutriente permanece no solo (imobilizado ou na solução) o tempo suficiente para a absorção dos mesmos pela planta, minimizando as perdas. A harmonização desses fluxos ocorre quando os mecanismos de retenção de nutrientes são potencializados. Alguns destes mecanismos estão relacionados com o material de origem do solo, e não são facilmente alteráveis; entretanto, existem outros, como a velocidade de decomposição da cobertura morta introduzida, a biomassa de raízes, a biomassa microbiana, o estabelecimento de simbioses e a boa estruturação do solo, que são mais facilmente manejáveis, permitindo máximo aproveitamento, pelas plantas, dos nutrientes liberados, que seriam suficientes para o alcance de bons índices de produtividade e redução das perdas.

Mais recentemente, também a biodiversidade da fauna do solo e da flora que compõem o sistema têm sido apontadas como determinantes nos processos mencionados acima e como elementos do sistema bastante sensíveis às práticas de cultivo adotadas.

Este trabalho tem como hipótese que os insumos orgânicos fornecem nutrientes de forma sincronizada com as demandas da planta cultivada, estimulam os mecanismos de retenção de nutrientes, permitem uma maior diversidade da fauna e uma melhor estruturação do solo, o que implicaria redução das perdas de nutrientes por lixiviação.

Para comprovação desta hipótese foi avaliado um agroecossistema baseado em insumos orgânicos, por comparação com um agroecossistema convencional e uma mata natural, analisando os mecanismos de retenção de nutrientes citados anteriormente e a produtividade nestes diferentes ecossistemas, partindo-se do princípio de que a potencialização desses mecanismos reduziriam as perdas de nutrientes pelo sistema.

II. OBJETIVOS

Geral:

- Contribuir para a compreensão total do funcionamento dos agroecossistemas estudados.

Específico:

- Relacionar as características das práticas agrícolas orgânicas e convencionais adotadas com a produtividade e o grau de eficiência dos mecanismos de retenção avaliados, sendo eles: velocidade de decomposição e composição química da cobertura morta utilizada, biomassa de raízes, estabelecimento de simbioses com fungos micorrízicos, biomassa microbiana, mineralização do C e N, macrofauna e a estrutura do solo.

III. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1. Agroecossistemas, Definição e Importância

As áreas de habitações humanas ocupam menos de 2% da superfície terrestre; entretanto, as atividades humanas influenciam cerca de 40% da produtividade terrestre global. As áreas agrícolas somam 20% da produtividade primária terrestre e ocupam 30% das terras do globo, sendo 10% de áreas com culturas e 20% com pastagens (VITOUSEK et al., 1986). Os agroecossistemas exercem, portanto, grande influência sobre os ciclos biogeoquímicos globais.

ALTIERI (1989) define agroecossistemas como sistemas abertos que recebem insumos de fora e exportam produtos. Ressalta ainda que os agroecossistemas diferem dos ecossistemas naturais, pois estes reinvestem grande parte da sua produtividade para manter a estrutura física e biológica necessária para sustentar a fertilidade do solo e a estabilidade biótica. A exportação de alimentos e colheitas limitam esse reinvestimento nos agroecossistemas, fazendo-os altamente dependentes de insumos externos para completar a ciclagem de nutrientes e o equilíbrio das populações (fauna e flora) que nele habitam.

ODUM (1984) reconhece como principais diferenças entre os agroecossistemas e os ecossistemas naturais: 1) energia auxiliar, além da energia solar, como trabalho humano e animal, pesticidas, fertilizantes, maquinário, que são adicionados para o funcionamento do agroecossistema; 2) a diversidade biótica dos agroecossistemas é reduzida visando à maximização da produção; 3) a seleção artificial de espécies, tanto quanto a seleção natural atuam juntas, produzindo animais e plantas dominantes; 4) os agroecossistemas estão mais sob controle externo, do que sob controle interno.

A manipulação do agroecossistema tende a dissociar os componentes das interações e os processos aí ocorrentes (COLEMAN & HENDRIX, 1988). Essas dissociações aumentam a dependência do agroecossistema dos fatores de regulação externa, como os fertilizantes e os pesticidas.

2. Sustentabilidade

Agricultura sustentável tem sido definida como uma prática que envolve o manejo adequado dos recursos, visando à satisfação das necessidades do homem, mantendo ou realçando a qualidade do ambiente e conservando os recursos naturais (FAO, 1989). Portanto, a agricultura passa a ser vista mediante uma perspectiva sistêmica, na qual o agroecossistema interage com outros ecossistemas e com sistemas econômicos e sociais.

Em geral, as ciências agrícolas vêm se desenvolvendo separadamente da ecologia, tendo como objetivo o aumento da produção de alimentos, fibras e madeira. Para as ciências deste ramo os princípios de sustentabilidade fundamentam-se apenas na estabilidade da produção e na viabilidade econômica (SPENCER & SWIFT, 1992). Em contraste, o enfoque ecológico tem abordado o funcionamento de ecossistemas naturais, onde a sustentabilidade é vista em termos da manutenção e estabilidade da produção e da minimização das perdas nos ciclos de nutrientes.

CONWAY (1985) definiu como ecossistema sustentável aquele que mantém a produtividade mediante situações de estresse e distúrbios, incluindo aqueles causados por perturbações intensas ou de larga escala. SPENCER & SWIFT (1992) sugerem que verificar a probabilidade com que acontecem estes distúrbios é aconselhável para uma melhor avaliação da sustentabilidade dos ecossistemas. Não obstante, independentemente de pequenas discordâncias, os conceitos de sustentabilidade subtendem produção contínua, evitando a degradação ambiental e, além disso, o bem estar social.

Existe atualmente um consenso na miscigenação das abordagens descritas anteriormente, conferindo uma perspectiva ecossistêmica à agricultura, que passa a abrigar simultaneamente aspectos de produção e conservação. Dentro desse contexto, os países do chamado terceiro mundo estão em face de dois problemas interrelacionados: maximização da produção de alimentos com as tecnologias disponíveis e deterioração progressiva do ambiente.

Os ecossistemas naturais têm se deteriorado progressivamente nos últimos vinte anos, com o aumento da remoção da vegetação original, perda da biodiversidade e degradação do solo, com redução da fertilidade e aumento da erosão. A definição de um manejo adequado requer o melhor entendimento do funcionamento do ecossistema em resposta às práticas utilizadas, não apenas no que diz respeito à produção, mas também no que envolve o ambiente (SCHOLES et al. 1992).

De acordo com VITOUSEK & HOOPER (1994), o desenvolvimento de uma agricultura sustentável deve estar fundamentado no uso dos recursos dentro de limites renováveis e em mecanismos de controle da eficiência do uso desses recursos. Porém, deve se ter em mente que os limites renováveis dos recursos são características inerentes a cada ecossistema em particular. HOBBIIE et al. (1994) afirmam haver uma forte ligação entre a complexidade interna de um ecossistema e a eficiência do uso dos recursos, principalmente quando se trata da ciclagem de nutrientes.

3. Principais Processos dos Agroecossistemas e a Sua Sustentabilidade.

Jenny (1941) (*in* COLEMAN & HENDRIX 1988) argumenta que é usual considerar os ecossistemas terrestres como função dos fatores envolvidos no desenvolvimento do solo. Estes fatores caminham para vários sistemas de

propriedades, que são o resultado de processos-chave, como decomposição da matéria orgânica, mineralização, imobilização e lixiviação dos nutrientes.

Estes processos regem o ciclo de nutrientes e influenciam outros componentes do sistema. A erosão e a degradação da matéria orgânica são exemplos de processos que reduzem a fertilidade e o desenvolvimento das raízes das plantas, limitando sua área de exploração do solo. Estes processos acentuam-se na agricultura convencional devido às práticas de preparo de solo, cultivo e remoção dos resíduos da cultura (ANDERSON & COLLEMAN, 1985). Essas práticas tornam o agroecossistema ainda mais vulnerável a impactos e aumentam a sua dependência em insumos externos, reduzindo a sua sustentabilidade.

Sustentabilidade, então, determina a persistência ou durabilidade da produtividade do sistema sob condições conhecidas; os insumos introduzidos pelo homem têm a finalidade de conter esses distúrbios (CONWAY & BARBIER, 1988). Atenuantes, como as aplicações de fertilizantes, são utilizados para equilibrar o estresse das repetidas colheitas.

A fertilidade do solo é central para a sustentabilidade de sistemas naturais e manejados, visto que é o meio pelo qual é provida a produção terrestre. COLLEMAN et al. (1983) (*in* COLEMAN & HENDRIX, 1988) acreditam que os principais fatores que regem a fertilidade nos ecossistemas terrestres são os organismos, os nutrientes e os vários compostos orgânicos, visto que, dentre as principais atividades biológicas, estão a mineralização e a imobilização dos nutrientes. Ressaltam ainda que os agregados do solo constituem um microcosmo de estudo que reflete mudanças ocorridas no ecossistema.

Nos agroecossistemas, a reciclagem de nutrientes é mínima, e consideráveis quantidades são perdidas com a colheita, ou como resultado da lixiviação e erosão, devido à grande redução nos níveis de biomassa contida no

sistema (GLIESSMAN & AMADOR, 1980), sendo necessárias aplicações muito freqüentes de fertilizantes para a manutenção da produtividade.

LAVELLE et al. (1993) chamam a atenção para o fato de que a decomposição é um processo determinado pela interação de três componentes: organismos, parâmetros físicos e qualidade dos insumos a serem decompostos. Apontam como ambientes de maior atividade microbiana os sítios intra e interagregados; a proporção entre ambos os microhabitats depende da estrutura do solo. Ressaltam ainda que uma mineralização excessivamente rápida pode comprometer a eficiência da utilização dos nutrientes liberados pela matéria orgânica do solo; os nutrientes podem ser rapidamente liberados sem que haja uma sincronização com a demanda nutricional da planta. Citam como principais agentes biológicos reguladores a rizosfera e os processos de interações simbióticas que nela se desenvolvem, bem como a serapilheira que se estabelece sobre a superfície do solo.

BRUSSAARD et al. (1997) inserem o papel da biota do solo na forma de serviços prestados ao ecossistema dentro de processos de grande importância, tais como: decomposição da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes, bioturbação, controle de pragas e doenças. Concordam com LAVELLE et al. (1993), no que se refere ao processo de decomposição, que é facilitado pela fauna do solo, principalmente minhocas, milípedes e térmitas, que trituram os resíduos e dispersam propágulos dos microorganismos.

A ciclagem de nutrientes, fortemente associada com a decomposição da matéria orgânica, é regida pelos microorganismos (fungos e bactérias) e pela microfauna (protozoários e nematóides). Ainda as raízes das plantas, formigas, minhocas e térmitas e outras espécies da macrofauna do solo criam canais, poros e agregados, modificando a sua estrutura (bioturbação), criando microhabitats adequados à vida de organismos menores e permitindo ainda o transporte de gases e nutrientes das camadas mais profundas para as mais superficiais do solo.

A raízes superficiais estão sempre associadas com a serapilheira (CUEVAS & MEDINA, 1983). Estas raízes atuam absorvendo os nutrientes liberados na decomposição da matéria orgânica e também estimulando os macroorganismos e os decompositores (ANDERSON et al., 1985); atuam ainda por associações com fungos micorrízicos, que, em alguns ambientes, agem sobre a decomposição (TROJANOWSKI et al., 1984); esta associação simbiótica aumenta ainda o volume de solo explorado pelas raízes (COLEMAN et al., 1983).

Estes sistemas biológicos de regulação são removidos nos agroecossistemas convencionais devido à simplificação provocada com a remoção do ecossistema natural, ou em função do desaparecimento dos organismos que compunham o sistema por inabilidade destes em se adaptarem às novas condições ambientais. Essas mudanças provocam um aumento na amplitude de variação da temperatura e da disponibilidade de água, que afetam a atividade microbiana (BOTTLNER, 1985). Conseqüentemente, a mineralização provoca perda rápida da matéria orgânica, redução da biomassa microbiana e perda da estrutura do solo.

STARK & SPRATT (1977), em trabalho realizado em Oxissolos da Venezuela, confirmam que a absorção de nutrientes parece ser fortemente dependente da abundância de raízes menores que 6 mm na superfície e de fungos endomicorrízicos a elas associados.

KURLE & PFLEGER (1994) constataram que áreas que recebem poucos insumos ou apenas insumos orgânicos apresentam maior população de esporos de fungos micorrízicos e maior infecção de raízes. FRASER et al. (1988) confirmam que práticas orgânicas e aplicação de poucos insumos produzem microflora mais diversa e abundante, quando comparada ao cultivo tradicional.

A imobilização tem papel bastante relevante no processo de regulação da ciclagem de nutrientes, e a biomassa microbiana atua como "pool" de reserva, evitando a perda imediata dos nutrientes mineralizados, que permanecem na biomassa até a morte dos microorganismos. BONDE et al. (1988) acreditam que a biomassa microbiana atua como um compartimento de reserva de nutrientes no solo.

A biomassa microbiana é um bom indicador das mudanças ocorridas no C orgânico e no N, dando uma perspectiva do que acontecerá com a matéria orgânica do solo (POWLSON et al., 1987). INSAN et al. (1991) notaram que a relação C microbiano/ C orgânico é maior quando se utiliza adubação verde ou esterco.

Estas interações simbióticas encontradas entre organismos do solo são definidas por JANZEN (1985) como mutualismo digestivo, nos quais microorganismos geralmente se associam a macroorganismos (macroinvertebrados e raízes) para explorarem recursos orgânicos disponíveis.

LAVELLE et al. (1995) afirmam que os principais processos que ocorrem no solo (decomposição, ciclagem de nutrientes e conservação da sua estrutura) são determinadas pela eficiência e natureza dessas associações mutualísticas. Portanto, a alteração da composição da comunidade do solo, ou mesmo a supressão de algumas espécies, ou ainda sua substituição, podem comprometer a eficiência encontrada em ecossistemas naturais.

O funcionamento do solo, quando se consideram os seus processos fundamentais (decomposição da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes e conservação da estrutura do solo), está intimamente ligado à composição das espécies que nele habita.

4. Biodiversidade Nos Agroecossistemas

Historicamente o estudo da ecologia foi originado do estudo das populações e suas interações dentro da cadeia alimentar, desenvolvendo o conceito de estrutura de comunidade integrado ao fluxo de energia, carbono e nutrientes. Estes fluxos, por sua vez, encontram-se associados à produção primária, herbivoria e processos do solo, além dos conceitos que envolvem as relações dentro da cadeia alimentar (“bottom-up” e “top-down”) (SWIFT et al., 1979; SCHOLLES et al., 1994). Esta abordagem mais simplificada permite a divisão da comunidade dentro do ecossistema em compartimentos funcionais.

SWIFT & ANDERSON (1994), fundamentados neste princípio funcional, dividem a biota que compõe o agroecossistema em três categorias básicas:

- Biota produtiva: são as plantas cultivadas, deliberadamente escolhidas pelo homem, determinante para a diversidade e complexidade do sistema;
- Biota geradora de recursos: são os organismos que contribuem positivamente para a produtividade do sistema, porém que não geram um produto utilizado diretamente pelo homem. Estão neste grupo plantas utilizadas como cobertura, fauna e flora de decompositores, microflora de simbioses e predadores de insetos e parasitas;
- Biota destrutiva: são as plantas invasoras, pragas e patógenos;

Entretanto, avaliar a importância da diversidade de cada uma dessas categorias depende dos critérios adotados para sua definição, da habilidade em caracterizar a funcionalidade das espécies que compõem a comunidade e o ecossistema, e ainda da identificação dos fatores bióticos e abióticos que regulam os processos que regem o funcionamento do ecossistema (BEARE et al., 1995).

LAVELLE (1996) faz uma classificação em função da escala de estudo, e afirma que no nível de população tem-se diversidade genética e/ou espécies-chaves, no nível de comunidade tem-se riqueza de espécies e no nível de

ecossistemas tem-se riqueza funcional. TILMAN et al. (1997) simplificam esta classificação e fazem distinção entre número de espécies (diversidade de espécies), número de grupos funcionais (diversidade funcional) e natureza dos grupos funcionais (composição funcional).

Muitos autores chamam a atenção para a pouca contribuição conferida pela medida de riqueza de espécies para se entender o funcionamento dos ecossistemas, devido principalmente à redundância funcional¹ existente (Di CASTRI & YOUNES, 1990). Este fato poderia levar à conclusão de que a perda de espécies não seria necessariamente refletida em uma mudança nos processos mediados biologicamente ou nas transformações biogeoquímicas (FRANKLIN, 1993).

Embora seja possível a redundância de uma única função entre espécies da biota do solo, é pouco provável a redundância do conjunto de funções atribuídas a uma espécie. Ainda, deve se levar em consideração que organismos de mesma função possuem diferentes tolerâncias ambientais, necessidades fisiológicas e habitats preferenciais (PERRY et al., 1989). Portanto, organismos que possuem uma ou mais funções em comum podem desempenhar papéis diferentes no solo, e uma maior diversidade concederia ao ecossistema maior capacidade de absorver impactos.

Em oposição à idéia de diversidade de espécies, alguns autores têm defendido a abordagem fundamentada no conceito de espécies ou grupos chaves (*keystone groups*). Estas espécies ou grupos funcionais têm fundamental importância para a manutenção da organização e funcionamento do ecossistema. Entretanto, existem dúvidas sobre o papel determinante que os organismos ditos “chave” desempenhariam sobre os processos do solo (MILLS et al., 1993), e ainda esta abordagem vai ao encontro de diversos trabalhos realizados, que apontam a

¹ Entende-se por redundância funcional a existência de mais de uma espécie desempenhando o mesmo papel dentro do sistema

importância das interações bióticas na regulação desses processos (COLEMAN et al., 1983; De RUITER et al., 1993; LAVELLE et al., 1995).

Interações específicas, como simbioses micorrízicas, estão entre os exemplos bem conhecidos de interações planta/ microorganismos que desempenham papel chave na produtividade das plantas e regulação da ciclagem de nutrientes. ALLEN (1992) mostra que uma das mais complexas interações encontradas é aquela entre plantas, fungos micorrízicos e bactérias do tipo rizóbio, que estimulam a absorção de nutrientes pelas plantas. JHA et al. (1993) descrevem outra associação específica entre *Frankia* (bactérias fixadoras de nitrogênio), o fungo micorrízico vesicular arbuscular *Glomus* e árvores da espécie *Alnus*. Esta associação estimula a fixação de nitrogênio e a absorção de fósforo pelas plantas em solos pouco férteis.

Interações entre organismos que acontecem na rizosfera podem afetar indiretamente o crescimento das plantas e a absorção de nutrientes. Alguns efeitos entre as interações das raízes das plantas e os organismos do solo são bem conhecidos e têm papel determinante nos ciclos biogeoquímicos (ROVIRA et al., 1990).

Fatores como disponibilidade de recursos, microclima, solução e estrutura do solo influenciam de forma importante a composição e a distribuição das comunidades bióticas do solo (WOLTERS, 1991). Por outro lado, a estrutura da comunidade do solo afeta as taxas de transformações biogeoquímicas e a estruturação, que são fatores determinantes para as propriedades funcionais do ecossistema (ANDERSON, 1988).

A manutenção da fertilidade pode ser conseguida pelo restabelecimento dos sistemas biológicos de regulação, com a adoção de práticas que priorizam o uso de cobertura morta, que mantêm as reservas orgânicas (matéria orgânica em decomposição e a biomassa microbiana), que estimulam o aumento do volume de

raízes finas e o estabelecimento de simbioses e, por fim, que garantem a manutenção da estrutura do solo (LAVELLE et al.,1993).

FILSER et al. (1995) relatam haver inúmeros estudos que indicam haver relação entre abundância e composição de espécies de alguns grupos de animais e as mudanças ocorridas nas propriedades do solo sob diferentes práticas de manejo. KENNEDY & SMITH (1995) afirmam que a manutenção da diversidade da comunidade microbiana está intimamente relacionada à qualidade do solo e à prática de uma agricultura sustentável.

A melhoria do manejo do solo , por intermédio de práticas biológicas e orgânicas, é uma das alternativas para redução dos insumos energéticos nos sistemas de produção de alimentos (ALTIERI, 1992). Estas práticas, muitas delas acessíveis a produtores de baixa renda, proporcionam uma estabilidade mais duradoura aos agroecossistemas, por afetarem sistemas internos de regulação, como os mecanismos de retenção de nutrientes e a diversidade do sistema.

Os agroecossistemas baseados em práticas orgânicas de cultivo adotam uma série de procedimentos almejando um manejo mais sustentável e um agroecossistema mais estável; entretanto, pouco se sabe de concreto sobre o funcionamento da ciclagem de nutrientes em sistemas agrícolas sob práticas orgânicas de cultivo e do grau de adequação dos diferentes insumos utilizados pelos produtores.

VAN BEEMEN (1985) resumizou os fluxos de nutrientes mostrados na figura 1. Neste trabalho foram escolhidas as vias percorridas pelos nutrientes, que podem ser mais facilmente alteradas, visando minimizar as perdas. A biomassa de raízes e o estabelecimento de simbioses dependem das práticas de cultivo adotadas e ampliam a capacidade de absorção de nutrientes por parte das plantas (demonstrado na figura 1 pela letra **a**); a velocidade de mineralização da cobertura morta natural e daquela introduzida (fluxo apontado pela letra **c**); a biomassa

microbiana do solo, também dependente do manejo e das práticas adotadas (fluxo apontado pela letra **e**), além de uma avaliação do complexo de troca (letra **f**) e das perdas (letra **j**), que têm relação direta com a estrutura do solo, também a ser avaliada.

Os caminhos **a**, **c**, **e** e **f** serão referidos neste trabalho por mecanismos de retenção de nutrientes e, juntamente com a estrutura do solo, eles devem apontar práticas mais sustentáveis de cultivo quando forem confrontados agroecossistemas orgânicos, convencionais e ecossistemas naturais, entre si.

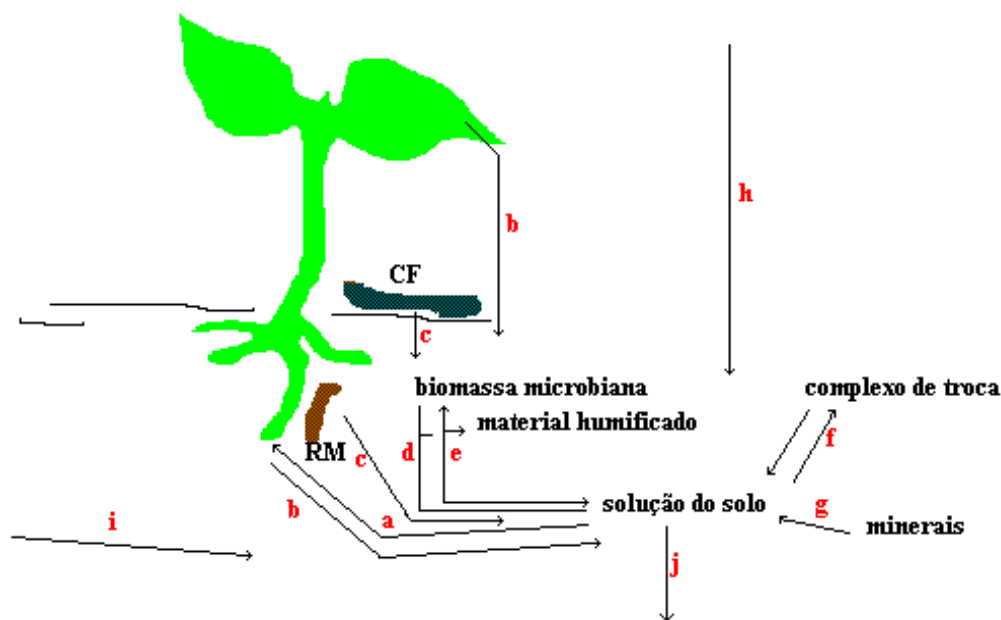


Figura 1: Síntese dos principais fluxos de nutrientes, adaptado de VAN BREEMEN (1995)

onde: CF: Cobertura de folhas, RM: Raízes mortas, a: Absorção de nutrientes pelas raízes, b: Refluxo de nutrientes para o solo por meio dos exudatos das raízes e/ou lavagem das plantas, c: Mineralização de nutrientes das folhas da cobertura e das raízes mortas, d: Decomposição da matéria orgânica do solo, e: Imobilização pela biomassa e pela quelação, f: Complexo de troca catiônica, g: Degradação de minerais primários, h: Suplementação atmosférica de nutrientes, i: Suplementação lateral pelo lençol freático, j: Lixiviação.

IV. MATERIAL E MÉTODOS

1. Área de Estudo

A área de estudo localiza-se no Município de São Roque (figura 2), no Estado de São Paulo, a 65 km da capital, entre as coordenadas 23°3'S e 47°08' W.

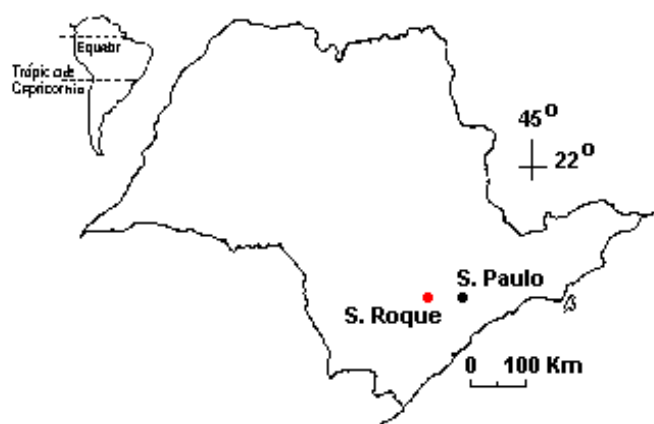


Figura 2. Mapa de localização do município de São Roque (SP)

Na região prevalecem os tipos climáticos Cwb, Cfb e Cfa da classificação universal de Köppen. De acordo com a EMBRAPA / SNLCS e o IAC (1988), os solos predominantes no município são o Cambissolo, o Podzólico Vermelho-Amarelo e o Litossolo, desenvolvidos sobre materiais de alteração do Pré Cabriano, no Planalto Atlântico. O referido experimento foi instalado em uma área onde domina a unidade de solo Podzólico Vermelho-Amarelo, textura franco argilo arenosa.

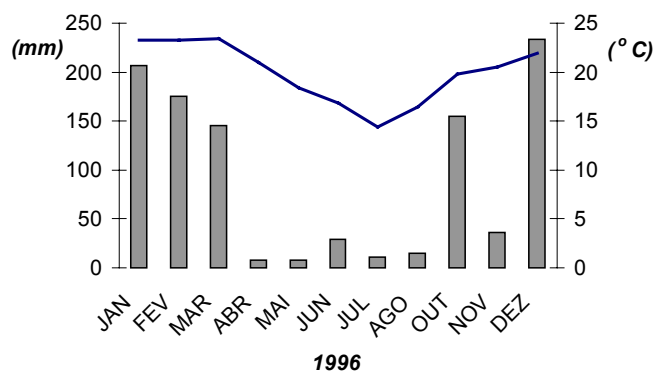


Figura 3. Medidas da precipitação e temperatura média mensal no Município de São Roque, no período do experimento. Dados fornecidos pela Instituto Agrônômico.

A formação vegetal da área faz parte do domínio da Floresta Ombrófila densa que compõe a Mata Atlântica, sendo caracterizada como Mata Mesófila Semidecídua (RIZINI, 1979). No município a área de mata ocupa 22% do total.

O experimento foi instalado em uma propriedade agrícola particular, cuja principal atividade é o cultivo do morango (*Fragaria x anassa* Duch.) sob práticas orgânicas.

2. Descrição do Experimento

Neste experimento foram testados os efeitos de práticas orgânicas e convencionais de cultivo sobre os diversos o solo. A planta utilizada no cultivo foi a *Fragaria x anassa* Duch variedade Toyonoca. Como parte deste mesmo experimento, foram realizadas amostragens em uma área de mata adjacente, de mesmo solo.

Foram avaliados três tratamentos sob adubação orgânica e um sob adubação convencional, sendo:

AO/SC: Adubação orgânica/ sem cobertura

AO/CO: Adubação orgânica/ com cobertura morta de Capim Napier (*Pennisetum purpureum* Shum.)

AO/CP: Adubação orgânica/ com cobertura plástica

AQ/CP: Adubação convencional/ com cobertura plástica

Estes tratamentos foram comparados com a área de mata natural alterada de mesmo solo.

Neste trabalho é considerada de adubação orgânica aquela que utiliza os fertilizantes permitidos pela Associação de Agricultores Orgânicos (AAO), e adubação convencional aquela que segue o comportamento tradicional dos agricultores para o cultivo do morango, ainda que façam parte deste tipo de fertilização adubos de origem orgânica, como a cama de frango.

A adubação foi definida em conformidade com a prática do agricultor e a partir da análise prévia do solo. A adubação orgânica utilizada em cada parcela consistiu-se de: 72 l de composto orgânico, 3 kg de farinha de osso e 3 kg de termofosfato magnesiano. Posteriormente, aos 30 e 60 dias do plantio, foram feitas adubações de cobertura, que consistiram da aplicação da 45 Kg de húmus de minhoca por parcela.

As parcelas convencionais receberam, cada uma, 15 kg de cama de frango, 750 g de termofosfato magnesiano e 7,5 kg de adubo composto NPK na formulação 4-14-8. As adubações de cobertura, realizadas na mesma época que nos tratamentos orgânicos, consistiram de 600 g de uréia por parcela.

O composto e o húmus utilizados estão quimicamente caracterizados na tabela 1, a seguir:

Tabela 1. Caracterização química do composto e do húmus utilizados no experimento

	Composto	Humus
pH (CaCl ₂)	6,1	6,7
M.O. (g.Kg ⁻¹)	103,7	133,4
N (g.Kg ⁻¹)	9,8	11,6
P (ug/cm ³)	1781,0	1088,0
K (meq/100g)	21,0	56,0
Ca (meq/100g)	280,0	305,0
Mg (meq/100g)	68,5	70,1
H+Al (meq/100g)	28,0	18,0
Cu (mg.Kg ⁻¹)	3,4	7,4
Fe (mg.Kg ⁻¹)	96,0	205,0
Mn (mg.Kg ⁻¹)	98,2	41,2
Zn (mg.Kg ⁻¹)	41,6	54,4
S (mg.Kg ⁻¹)	213,7	215,3

As parcelas do experimento eram de 12 m² (figura 4), distribuídas em blocos ao acaso (figura 5), sendo que na área de mata natural as parcelas foram estabelecidas de forma inteiramente casualizada. Tanto na mata como no cultivo os tratamentos possuíam 5 repetições.

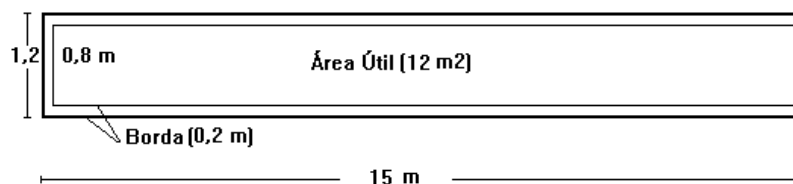


Figura 4. Parcela padrão do experimento

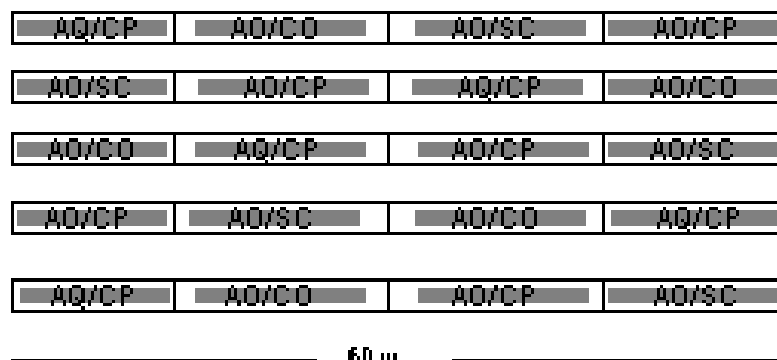


Figura 5 . Desenho descritivo do experimento onde AO/SC: Adubação orgânica/ sem cobertura, AO/CO: Adubação orgânica/ com cobertura morta de Capim Napier (*Pennisetum purpureum* Shum.), AO/CP: Adubação orgânica/ com cobertura plástica e AQ/CP: Adubação convencional/ com cobertura plástica

2.1. Instalação e condução do experimento

O plantio foi realizado em abril de 1996 e as práticas para manutenção do experimento foram adotadas de forma comum a todos os tratamentos. Estas práticas constituíram-se do seguinte:

- Capina, escarificação do solo do canteiro e desbaste das folhas velhas da planta do morango (27 de abril e 22 de agosto e 5 de novembro);
- Adubação de cobertura, sendo aplicados nos tratamentos orgânicos (AO/ SC, AO/ CO, AO/ CP) 3 Kg de húmus por parcela e no tratamento convencional (AQ/ CP) 600g de uréia por parcela (28 de maio e 12 de junho);

- Instalação da cobertura plástica (AO/ CP e AQ/ CP) e da cobertura morta (AO/ CM), sendo 1 m³ de material picado de capim Napier (*Pennisetum purpureum* Shum) por parcela (17 a 22 de junho);
- Reestabelecimento da cobertura morta do tratamento AO/ CO, que foi carregada pelas chuvas ou decomposta (2 de setembro, 1 de outubro e 10 de novembro), sendo colocado a cada vez 0,3 m³ por parcela.
- Colheita dos frutos (ocorreu quinzenalmente até a primeira semana de dezembro).

Visando à caracterização, comparação e monitoramento dos fenômenos estudados, foram adotados parâmetros físicos, químicos e biológicos do solo. Como parâmetros físicos foram adotados a composição granulométrica, a densidade do solo e a estabilidade dos agregados em água. Como parâmetros químicos foram adotadas avaliações químicas e bioquímicas ligadas à fertilidade do solo na superfície e a 60 cm de profundidade (índice de perda de nutrientes)

Os parâmetros biológicos escolhidos foram a biomassa e comprimento de raízes, a biomassa microbiana, a intensidade de infecção por fungos micorrízicos, levantamento sobre a diversidade da fauna do solo na área cultivada. Foram também avaliados aspectos relacionados à produção do sistema, como a fitomassa de invasoras e da planta cultivada, a produtividade dos tratamentos em cada um dos tratamentos e a avaliação da velocidade de decomposição da cobertura morta.

2.2. Ensaio de decomposição

Foi instalado no tratamento com adubação orgânica e cobertura orgânica (AO/ CO) do experimento descrito um ensaio de decomposição (2 de setembro) baseado no método descrito por GOSZ et al. (1973), visando quantificar a

velocidade de decomposição do material vegetal colocado como cobertura morta (*Pennisetum purpureum* Shum.).

Foram colocados 10 sacos telados por parcela, nos canteiros do tratamento com cobertura morta (AO/CO) e 10 sacos na área de mata visando avaliar a alteração do processo de decomposição em função do cultivo. As bolsas possuíam a dimensão de 20 x 25 cm, com uma malha de 3 mm e contendo 120g de material fresco, com 63% de umidade, em média. Na tabela 2 são apresentadas as características químicas do capim Napier adicionado ao solo.

Tabela 2. Características do material orgânico adicionado ao solo (*Penissetun purpureun* Shun.).

Concentração:	
N (%)	0,85
P (g.Kg⁻¹)	1,59
K (g.Kg⁻¹)	19,12
Ca (g.Kg⁻¹)	1,90
Mg (g.Kg⁻¹)	1,31
Lignina (%)	6,22
Celulose (%)	37,73
Hemicelulose (%)	28,71
Relação C/N	61,58

3. Amostragem

3.1. Tempos Amostrais

O período de amostragem teve início em fevereiro de 1996 e seguiu por onze meses, até o fim do ciclo de cultivo do morango, em janeiro de 1997.

Anteriormente à implantação do experimento (27 de fevereiro) foi realizada uma amostragem prévia, com o objetivo de caracterizar a fertilidade química do solo e auxiliar na definição da adubação a ser adotada na época da implantação

do experimento. Na **amostragem 1**, realizada no dia do plantio (23 de abril), foram coletadas amostras de solo para avaliação de granulometria, densidade do solo, estabilidade de agregados, análises químicas e biomassa microbiana.

Na **amostragem 2**, cerca de 30 dias após o plantio, foram retiradas amostras para avaliação de biomassa de raízes, infecção por fungos micorrízicos, biomassa microbiana, capacidade de troca catiônica, bases trocáveis, macro e micronutrientes, C orgânico, N total, fitomassa de plantas invasoras e das plantas cultivadas.

Na **amostragem 3**, 50 dias após o plantio, foram coletadas amostras de solo com os mesmos objetivos da amostragem anterior, além de amostras a 60 cm, visando avaliação do índice de perdas de nutrientes. Na **amostragem 4**, 120 dias após o plantio, as amostras retiradas objetivavam avaliar estabilidade de agregados, além de todos os parâmetros de solo e vegetação avaliados nas amostragens 2 e 3, exceto as análises químicas e bioquímicas.

Na **amostragem 5**, 220 dias após o plantio, foram coletadas amostras de solo visando à avaliação de biomassa de raízes, infecção por fungos micorrízicos, biomassa microbiana, capacidade de troca catiônica, bases trocáveis, macro e micronutrientes, C orgânico, N total, índice de perdas, estabilidade de agregados, macrofauna e fitomassa de plantas invasoras e das plantas cultivadas.

Embora as coletas de amostras para densidade do solo e macrofauna estivessem programadas para o mesmo período, fazendo parte da amostra de número 5, o excesso de umidade no solo, devido às fortes chuvas, não permitiram a coleta. As amostragens para avaliação destes parâmetros foram retiradas em 6 de janeiro de 1997, 22 dias depois da data prevista.

As amostragens referentes ao ensaio de decomposição foram realizadas a 15, 30, 60 e 90 dias a partir da instalação do ensaio de decomposição (nos dias 14

de setembro , 2 de outubro, 4 de novembro e 6 de dezembro), compondo, assim, 5 tempos amostrais.

3.2. Métodos de Amostragem

Todas as amostras de solo foram coletadas entre 0 a 10 e 10 a 20 cm de profundidade. As amostras de densidade, retiradas com o auxílio do anel volumétrico, e as amostras destinadas a avaliação da estabilidade dos agregados em água, retiradas com uma pá, foram compostas de 5 subamostras por parcela.

Para as análises químicas nas camadas superficiais e para biomassa microbiana, as amostras foram tomadas com um trado holandês, sendo 8 subamostras por parcela.

Para o índice de perdas a amostragem foi realizada pelo método de WATSON et al. (1994), que consiste na coleta de amostras a 60 cm de profundidade. Foram coletadas 8 subamostras por parcela, com um trado holandês pequeno, formando uma amostra composta.

Para a avaliação da biomassa e do comprimento de raízes foram retiradas amostras com um trado cilíndrico de 5 cm de diâmetro, compostas de 5 subamostras por parcela.

Para amostragem da macrofauna foi utilizado o método proposto pela Tropical Soil Biology and Fertility (ANDERSON, 1993), coletando-se uma amostra por parcela, sendo a mesma um monolito de solo, com dimensão de 25 X 25 cm de lado e 30 cm de profundidade. Depois de demarcados os lados do monolito a ser amostrado , o solo foi retirado por camadas de 10 cm e levado para o laboratório para separação manual.

Para avaliação da fitomassa do morangueiro foram coletadas 3 plantas por parcela, escolhidas ao acaso. As raízes dessas mesmas plantas foram utilizadas para avaliação do percentual de infecção por fungos micorrízicos. A estimativa da fitomassa das invasoras foi realizada a partir de amostras retiradas com um quadrado de 25 cm de lado, atirado ao acaso 3 vezes por parcela, formando uma amostra composta (área total amostrada 1875 cm²). Também foi quantificada a produção de cada parcela do experimento, a partir do peso fresco dos seus frutos.

Para confecção das lâminas de solo foram coletadas amostras com saboneteiras plásticas apenas na primeira camada do solo, sendo 2 amostras em cada parcela. Essas amostras foram posteriormente encaminhadas para impregnação com resina em laboratório.

As amostras do ensaio de decomposição consistiram no recolhimento de 2 sacos de material por parcela, a cada tempo amostral, colocando-se-os em sacos outros plásticos, para evitar perdas do material a ser analisado.

4. Métodos de Análise

4.1. Granulometria

A granulometria foi determinada no Laboratório de Solos da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI/UNICAMP), utilizando-se do método da pipeta, descrito pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)/ Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (SNLCS, 1979) onde o procedimento de dispersão adotado foi a agitação rotacional por 16 horas com hexametáfosfato de Na + NaOH como dispersante.

4.2. Densidade do Solo

A densidade do Solo foi determinada pelo método do anel volumétrico, descrito em BLAKE & HARTGE (1986), no Laboratório de Solos da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI/UNICAMP).

4.3. Estabilidade dos agregados em água

A estabilidade dos agregados foi medida a partir do seu diâmetro médio ponderado (DMP), conforme o método descrito em CAMARGO et al. (1986). Esta análise baseia-se no princípio de que o umedecimento da amostra causa-lhe uma expansibilidade diferencial interna, podendo provocar rupturas nos locais de força de união menos intensa entre as partículas, dependendo da sua estabilidade.

As amostras foram passadas por peneiras de 7 e 2 mm. Da fração retida entre as peneiras foram pesados 20 g, colocados em um béquer e adicionada água para um total umedecimento. Esperados 5min. foram despejados 200 ml de água e a amostra foi colocada para agitar por 30 min. a 40 rpm, em água, no topo de um jogo de peneiras com malha de 4,0, 2,0, 1,0, 0,5, 0,25, 0,105 mm. Foram obtidos, então, agregados com diâmetros entre 6,35 e 2mm; 2,00 e 1,00mm; 1,00 e 0,50mm; 0,25 e 0,125mm e menores que 0,125 mm. O conteúdo de cada peneira foi posto a secar a 105°C, e então pesado. A fração que passa pela última peneira é obtida por diferença.

O índice de estabilidade em água foi obtido da seguinte forma:

$CC \times P_i = X$, para cada peneira

onde:

CC: centro de classe ou diâmetro médio do agregado retido entre duas peneiras (4, 2, 1, 0,5, 0,25, 0,105 mm)

P_i: peso da fração que ficou na peneira

Índice de Estabilidade : $\Sigma X_i = (X_4 + X_2 + X_1 + X_{0,5} + X_{0,25} + X_{0,105})$

4.4.Determinações Químicas e Bioquímicas

As análises químicas e bioquímicas foram realizadas no Laboratório de Química do Solo do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), onde as amostras foram postas a secar ao ar, peneiradas a 2mm e moídas a 100 meshes, utilizado-se a seguinte base metodológica:

- RAIJ & QUAGGIO (1983) para determinação do pH em CaCl_2 (0,01 M); determinação do Al + H em solução tampão SMP; P e bases trocáveis através da extração com resina.

- WILLIAMS & STEMBERG (1959) para a extração dos sulfatos com CaCl_2 (0,15%) e VITTI (1988) para determinação por turbidimetria.

- A CTC foi obtida de forma indireta, pela soma de bases mais Al + H.

Nas análises bioquímicas, também realizadas no Laboratório de Fertilidade de Solos do CENA, utilizou-se o método de digestão com Ácido Sulfúrico e NaCr_2O_7 , para determinação do C orgânico, e o método de Kjeldahl, para determinação do N total, ambos descritos em BREMMER (1965).

Para o cálculo da quantidade de C orgânico e N total das camadas de 0 a 10 e 10 a 20 cm do solo, foram utilizadas as densidade do solo determinadas no

dia do plantio e 220 dias depois dele, sendo a primeira medida utilizada para o cálculo do C orgânico aos 0, 30 e 50 dias após o cultivo e a última medida para a determinação do C orgânico 220 dias após o plantio.

4.5. Índice de Perdas de Nutrientes

Foi tomado como índice de perdas a caracterização química e bioquímica da camada de solo a 60 cm de profundidade, visto que as raízes da planta cultivada não atingem mais essa profundidade, e esses nutrientes foram, então, considerados perdidos para fora do sistema, conforme metodologia proposta por WATSON et al. (1994). As amostras para avaliação deste índice foram processadas nas dependências do laboratório de Fertilidade do Solo no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP), seguindo os mesmos métodos descritos no item anterior.

4.7. Biomassa e Comprimento de Raízes

A biomassa de raízes foi determinada a partir de uma modificação do método do trado descrito por FUJIAWARA et al. (1994), no Laboratório de Solos da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI/UNICAMP).

Depois de coletadas as amostras em campo, com trado de volume conhecido, conforme descrito anteriormente, a separação das raízes foi feita manualmente por meio da suspensão e peneiramento das raízes. Para tanto, a amostra, ainda embalada em saco plástico, recebeu uma solução diluída de água com 10% de álcool, sendo deixada 24 em repouso.

Posteriormente a amostra foi homogeneizada manualmente e passada para um recipiente com capacidade para 10 l, com água até metade da sua capacidade. Neste recipiente a amostra foi agitada e o sobrenadante passado em uma peneira 0,5 mm de malha. Depois de repetida essa operação até a lavagem

total da amostra, todo o conteúdo da peneira foi lavado em um filtro de papel e colocado para secar à sombra. A secagem foi completada em estufa a 60°C, até peso constante.

O comprimento de raízes foi quantificado pelo software SIARCS - Sistema Integrado Para Análise de Raízes e Cobertura do Solo desenvolvido pelo Centro Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento de Instrumentação Agropecuária (CNPDIA/EMBRAPA), que utiliza como base a metodologia descrita por JORGE et al. (1995).

A aquisição de imagens foi realizada colocando-se as raízes de cada amostra, seccionadas em partes de aproximadamente 5 cm, sobre um papel de transparência, sobre um "scanner" de mesa de resolução espacial de 1200 dpi. As imagens foram, então, obtidas com resolução espacial de 150 dpi, ou seja 59,17 pixels/ cm e em 256 tons de cinza.

Visando à redução dos efeitos de sombra nas imagens obtidas, o papel de transparência recebeu uma moldura de isopor e as raízes foram distribuídas com o auxílio de uma pinça, buscando evitar a sobreposição.

As imagens assim adquiridas foram tratadas pelo programa SIARCS de forma a realçar as raízes e eliminar as bordas, possibilitando que o programa contabilizasse apenas os pixels referentes ao comprimento das raízes.

O comprimento de raízes é calculado pelo SIARCS pela fórmula:

$$L = D * ((H + V) + 2^{0,5} * X)$$

Onde :

L: Longitude, ou comprimento;

D: Distância entre pontos horizontalmente e verticalmente adjacentes, referente a resolução de 150 dpi utilizada;

H, V e X: Números pares de pontos com raízes adjacentes aos eixos estabelecidos pelo programa na horizontal, vertical e diagonal, respectivamente.

4.7. Biomassa Microbiana

A biomassa microbiana foi avaliada no Laboratório de Química do Solo do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/ USP), pelo método do nitrogênio reativo da Ninidrina, descrito por JÖRGENSEN & BROOKES (1990). Este método baseia-se no princípio da fumigação e extração (por K_2SO_4 , 0,5M).

Para o início da análise, cada amostra composta foi representada por seis subamostras de 10 g cada e três delas foram fumigadas, enquanto que as outras três prestaram-se como testemunhas. A fumigação foi feita em dessecadores fechados a vácuo, contendo 25 ml de etanol ($CHCl_3$), no escuro, por 24 horas.

Completado o tempo da fumigação, as amostras (fumigadas e não fumigadas) foram passadas para frascos de 300ml e receberam 40 ml de K_2SO_4 (0,5 M), sendo, então, levadas ao agitador por 30 min. Após 8 horas de repouso foram filtradas, colocadas em frascos de 20 ml, e levadas para o congelador, prontas para serem efetuadas as medidas de C microbiano. O N reativo da Ninidrina foi, então, mensurado e, a partir dessa medida, o C microbiano foi calculado.

Do extrato filtrado retirou-se 0,6 ml e, em tubo de ensaio, foram adicionados 1,4 ml de ácido cítrico, 1,0 ml de reagente de ninidrina, que foram levados para o banho-maria por 20 min, a 100°C. Depois de esfriar, foram adicionados 4 ml de etanol

Paralelamente ao preparo da solução descrita anteriormente foi feita uma curva padrão de leucina para calibração do espectrofotômetro, variando a concentração de 0 a 500 μM , que foi levada ao banho-maria, juntamente com a solução preparada de cada amostra. Posteriormente foi feita a leitura no espectrofotômetro, com o comprimento de onda de 570 nm.

O cálculo do N da ninidrina, considerando o solo seco (105°C, 24h), foi feito utilizando-se a seguinte relação:

$$N_{\text{nin}} [\mu\text{g Nnin/g solo}] = (DA \times E \times M \times 100) / (C \times P \times \%ms)$$

Onde :

DA: diferença entre a média da absorbância dos tratamentos fumigados e a média da absorbância das testemunhas.

E: quantidade de extrator = 40 ml (0,5 M K_2SO_4)

M: peso molecular do nitrogênio = 14

C: coeficiente de absorbância, obtido através da média aritmética das medidas de absorbância da curva padrão de Leucina multiplicada por 1000 (nM)

P: peso da amostra de solo 10 g

100/%ms: fator de conversão em matéria seca

Para o cálculo da biomassa C : $N_{\text{nin}} (\mu\text{g Nnin/g solo}) \times K_{\text{eC}} = \mu\text{g C mic/ g de solo}$

Onde:

K_{eN} : Eficiência da extração do nitrogênio microbiano (6,5)

K_{eC} : Eficiência da extração do carbono microbiano (40,0)

Estes coeficientes foram propostos por SPARLING & ZHU (trabalho inédito), como os mais adequados para fumigações com duração de 24 h.

4.8. Taxa de Infecção Por Fungos Micorrízicos Vesículo-Arbuscular

A taxa de infecção das raízes por fungos micorrízico vesículo-arbuscular foi avaliada pelo método de colorimento com Azul de Tripano, de PHILIPS & HAYMAM (1970), no Laboratório de Microbiologia do Solo da Escola Superior Luiz de Queiroz (ESALQ/USP).

Este método consiste no clareamento das raízes, pelo seu cozimento em KOH (10%) por 10 min em banho-maria (60 a 70° C), seguido de lavagem com água destilada e aplicação de Cloro (10%), para neutralização do KOH. As raízes são lavadas uma vez mais com água destilada e é aplicado o azul de tripano a 0,1% em lactofenol. Posteriormente, o corante é filtrado e adicionado mais lactofenol para extração do excesso de corante.

A avaliação da infecção foi realizada em placas de petri e contabilizados os seguimentos de raízes infectados e calculado o seu percentual em relação ao total observado. Foram observadas e calculadas os pontos de infecção de 3 subamostras de cada amostra de campo.

4.9. Fauna do Solo

Os indivíduos da macrofauna do solo, maiores que 2mm, e indivíduos da família das Enquitreidae, pertencentes à mesofauna (com tamanho entre 100 μ e 2mm), foram separados manualmente e classificados, segundo suas características morfológicas, em morfoespécies. Posteriormente foi determinada sua função ecológica, conforme o método proposto pela Tropical Soil Biology and Fertility (ANDERSON, 1993), nas seguintes grupos funcionais:

- Epigeícos : espécies que vivem e se alimentam na superfície e que possuem atuação sobre a liberação dos nutrientes;

- Anecicos : são transportadores por excelência, redistribuindo solo e material da liteira da superfície para seus habitats, a partir de suas atividades;
- Endogeicos : vivem dentro do solo e alimentam-se de raízes mortas.

Entretanto, em função do comportamento dos indivíduos da macrofauna, estes grupos funcionais podem possuir um comportamento misto, como os epigeícos/anecicos, que redistribuem na superfície material da liteira, e os endogeicos/anecicos, que transportam material das porções mais internas do perfil para a superfície.

4.10. Fitomassa e produtividade dos agroecossistemas

A fitomassa da planta cultivada e das plantas invasoras foram avaliadas a partir da secagem do material a 60°C, até peso constante e posterior pesagem, na FEAGRI/UNICAMP.

A produtividade de frutos viáveis foi mensurada a partir do peso fresco dos frutos colhidos durante todo o ciclo de cultivo.

4.11. Composição química e velocidade de decomposição do *Pennisetum purpureum* Shum como cobertura morta

O material coletado no ensaio de decomposição foi separado do solo e de outros contaminantes e seco a 60°C, até peso constante, conforme descrito por KELLY & BEAUCHAMP (1987).

Posteriormente, foram avaliados os conteúdos de C, N, P, K, Ca, Mg, K, lignina e tanino, nas dependências dos laboratórios de bromatologia e de nutrição mineral de plantas da Escola Superior Luiz de Queiroz/ USP.

O N foi determinado pelo método macro-Kejeldahl, descrito por WILDE et al. (1972); a lignina e a celulose foram determinadas pelo método descrito por VAN SOEST (1963), modificado por CROMACK (1973).

O cálculo da constante de decomposição fundamentou-se em uma equação cinética de primeira ordem, proposta por FAASSEN & SMILDE (1985):

$$dy/dt = Ky,$$

onde y é a quantidade de material em um tempo t , e K é a taxa constante de decomposição. Seguindo a integração da equação anterior, é produzida a seguinte equação:

$$Y_t / Y_0 = e^{-Kt},$$

onde Y_0 é a massa do material orgânico inicialmente adicionado (tempo 0) e Y_t é a massa remanescente no final do período de avaliação, sendo o tempo em dias.

4.12. Tratamento Estatísticos

Para comparação de cada parâmetro, individualmente, entre os tratamentos, foi utilizada a análise de variância e a comparação entre médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A Análise dos Componentes Principais (ACP), método de análise multivariada, tem como objetivos descrever as principais fontes de heterogeneidade entre os parâmetros pedológicos e estimar as relações entre eles e as perdas de nutrientes também avaliadas. Por intermédio dessa análise foi possível verificar a interação entre todos os parâmetros avaliados e a montagem de cenários para cada um dos momentos avaliados. Ainda, para o estudo de duplas de variáveis que apresentavam maior grau de interação, foram adotados testes de correlação.

V. RESULTADOS

1. Parâmetros Físicos

1.1. Características Granulométricas

Os dados da análise granulométrica do solo onde foi realizado o experimento constam na tabela 3 e indicam que o solo é de classe textural franco argilo arenosa, entretanto o solo da mata apresenta teores de areia ligeiramente mais altos.

Tabela 3. Caracterização granulométrica do solo do experimento e do solo da mata adjacente.

Prof. (cm)	ARGILA		SILTE FINO		SILTE GROSSO		AREIA TOTAL	
	0 - 10	10 - 20	0 - 10	10 - 20	0 - 10	10 - 20	0 - 10	10 - 20
	(g.Kg ⁻¹)							
AO/ SC	256	270	86	76	90	86	568	568
AO/ CO	252	248	82	86	92	90	574	576
AO/ CP	256	250	80	80	94	90	570	580
AQ/ CP	246	246	86	92	92	90	576	572
MATA	208	196	86	88	98	84	608	632

AO/SC: Adubação orgânica/ sem cobertura, AO/CO: Adubação orgânica/ com cobertura morta de Capim Napier (*Pennisetum purpureum* Shum.), AO/CP: Adubação orgânica/ com cobertura plástica e AQ/CP: Adubação convencional/ com cobertura plástica

1.2. Densidade do Solo

Os valores referentes à densidade do solo, apresentados na tabela 4, relativos a área sob cultivo refletem um comportamento de adensamento na camada mais superficial do solo (0 a 10 cm), no primeiro momento de avaliação do experimento (no dia do plantio), quando comparada à área de mata. Entretanto, quando se observa a camada entre 10 e 20 cm, percebe-se que o fenômeno oposto ocorre e o solo cultivado do experimento mostra-se levemente menos denso que o solo sob mata.

Este fato pode ser atribuído à grande quantidade de raízes encontrada na área de mata (dados apresentados posteriormente), que pode ter provocado uma compressão no interior do anel volumétrico, no momento da retirada da amostra para realização da análise.

No final do ciclo de cultivo (220 dias após o plantio) este fenômeno já não é mais notado, ocorrendo uma redução na densidade do solo da área de mata e um aumento na densidade do solo cultivado do experimento.

Os tratamentos orgânicos de forma geral apresentaram valores mais baixos de densidade do que o tratamento convencional (adubação química e cobertura plástica – AQ/ CP), sendo o tratamento com cobertura orgânica (AO/ CO) o que apresentou menor densidade na camada entre 0 e 10 cm em relação aos demais. Este fato deve-se a uma influência do composto orgânico utilizado nos tratamentos com adubação orgânica, na parte coloidal, na qual se encontra a fração argila.

Tabela 4. Densidade do solo nas parcelas dos tratamentos e na área de mata adjacente.

Densidade do Solo	0 dias		220 dias	
	Profundidade (cm)			
	0 - 10	10 - 20	0 - 10	10 - 20
Tratamentos:				
AO/ SC	1,15 ^{ab}	1,27 ^b	1,31 ^a	1,35 ^c
AO/ CO	1,18 ^{ab}	1,31 ^{ab}	1,28 ^a	1,34 ^c
AO/ CP	1,13 ^a	1,25 ^b	1,31 ^a	1,34 ^c
AQ/ CP	1,56 ^a	1,27 ^b	1,37 ^a	1,39 ^a
Mata	1,08 ^b	1,39 ^a	1,11 ^a	1,26 ^b

AO/SC: Adubação orgânica/ sem cobertura, AO/CO: Adubação orgânica/ com cobertura morta de Capim Napier (*Pennisetum purpureum* Shum.), AO/CP: Adubação orgânica/ com cobertura plástica e AQ/CP: Adubação convencional/ com cobertura plástica

O tratamento AQ/ CP apresentou maiores valores de densidade do solo e ainda uma redução da mesma com o tempo de cultivo. A qualidade da matéria orgânica adicionada neste tratamento (esterco de frango) pode ter atuado de forma determinante no aumento da densidade, no início do período de cultivo, visto que a amônia é um poderoso agente dispersante.

1.3. Distribuição de Agregados em Água

Os dados de diâmetro médio ponderado apresentados na tabela 5 indicam a pulverização sofrida pelos agregados em função do preparo do solo para o plantio. Na primeira avaliação, encontra-se na área sob cultivo do experimento uma variação da ordem de 0,6 para 0,8 mm, em ambas as camadas avaliadas, enquanto que na mata o diâmetro médio ponderado gira em torno de 2,7 mm, havendo pouca variação entre as camadas estudadas.

Tabela 5. Diâmetro Médio Ponderado (DMP) dos agregados dos tratamentos e na área de mata adjacente. As letras em seguida dos resultados indicam as diferenças estatísticas entre os tratamentos, nos respectivos tempos amostrais.

entre os tratamentos, nos respectivos tempos amostrais.						
Tratamentos:	DMP (mm)					
	0 dias		120 dias		220 dias	
	Profundidade (cm)					
	0 - 10	10 - 20	0 - 10	10 - 20	0 - 10	10 - 20
AO/ SC	0,86 ^b	0,74 ^b	1,49 ^{bc}	1,33 ^b	0,63 ^a	0,60 ^b
AO/ CO	0,66 ^b	0,75 ^b	1,51 ^c	0,85 ^c	0,82 ^a	0,60 ^b
AO/ CP	0,86 ^b	0,83 ^b	1,25 ^{bc}	0,92 ^c	0,98 ^a	0,69 ^b
AQ/ CP	0,62 ^b	0,68 ^b	1,12 ^b	1,07 ^{bc}	0,77 ^a	0,72 ^b
Mata	2,73 ^a	2,70 ^a	3,65 ^a	3,52 ^a	2,43 ^a	2,61 ^a

Agregados > 2,00 mm (%)						
Tratamentos:	0 dias		120 dias		220 dias	
	Profundidade (cm)					
	0 - 10	10 - 20	0 - 10	10 - 20	0 - 10	10 - 20
	AO/ SC	23,7 ^b	19,9 ^b	39,1 ^b	36,6 ^b	16,2 ^b
AO/ CO	17,0 ^b	19,7 ^b	37,8 ^b	20,3 ^c	21,6 ^b	15,0 ^b
AO/ CP	23,0 ^b	21,5 ^b	30,1 ^b	22,8 ^c	25,3 ^b	16,4 ^b
AQ/ CP	15,0 ^b	17,1 ^b	29,7 ^b	27,2 ^{bc}	20,4 ^b	17,8 ^b
Mata	72,0 ^a	71,3 ^a	91,9 ^a	88,5 ^a	67,4 ^a	72,3 ^a

AO/SC: Adubação orgânica/ sem cobertura, AO/CO: Adubação orgânica/ com cobertura morta de Capim Napier (*Pennisetum purpureum* Shum.), AO/CP: Adubação orgânica/ com cobertura plástica e AQ/CP: Adubação convencional/ com cobertura plástica

Apesar de a primeira amostragem ter sido realizada no dia do plantio, apenas 10 dias após o preparo e adubação, e não haverem diferenças significativas nos solos sob cultivo, já se pode perceber o efeito agregante da adubação orgânica sobre a estrutura do solo, visto que os tratamentos onde ela foi utilizada apresentam maiores valores de diâmetro médio e maiores percentuais de agregados maiores que 2,00 mm.

Na amostragem realizada 120 dias após o início do cultivo nota-se que houve um pronunciado aumento no DMP dos agregados, principalmente nos

primeiros centímetros do solo, em todos os tratamentos. Nesta mesma amostragem pode se notar que os tratamentos orgânicos sem cobertura e com cobertura morta (AO/ SC e AO/ CO, respectivamente) apresentam os maiores valores de DMP, quando comparados aos demais tratamentos.

Entretanto, na camada entre 10 e 20 cm os tratamentos orgânicos com cobertura morta e plástica apresentam valores de DMP e de agregados maiores que 2,00 mm bastante reduzidos, em comparação aos tratamentos convencional e orgânico sem cobertura, superior a todos os demais.

Na amostragem realizada aos 220 dias após o plantio fica bastante nítida a queda na estabilidade dos agregados, em todos os tratamentos, inclusive na mata, devido ao início da época das chuvas. Nos tratamentos sob cultivo, os tratamentos mais afetados pelo impacto da chuva foram os tratamentos sem cobertura e com cobertura orgânica. Estas tendências não foram refletidas na análise estatística.

2. Parâmetros Químicos

2.1. Caracterização inicial do solo

A tabela 6 mostra as características iniciais do solo onde foram implantados os tratamentos sob cultivo de morango. Os dados apresentados revelam que o solo apresentava baixos valores de pH, e valores de cálcio e potássio considerados médios. Quando avaliada a relação desses dois elementos com o magnésio, percebeu-se que este estava desequilibrado, em relação aos dois anteriores sendo necessária uma suplementação que permitisse uma relação de K:Ca:Mg de 3:9:1.

Tabela 6: Resultados das primeiras análises químicas realizadas, visando a caracterização da fertilidade da área onde foi implantado o experimento.

	Profundidade (cm)	
	0 / 10	10 / 20
pH (CaCl ₂)	4,90	4,70
M.O. (%)	3,10	2,35
P (ug/cm ³)	23,00	7,00
K (meq/100g)	0,12	0,12
Ca (meq/100g)	1,95	1,60
Mg (meq/100g)	0,60	0,50
H+Al (meq/100g)	3,40	3,60
Soma de Bases (meq/100g)	2,67	2,22
CTC (meq/100g)	6,07	5,82
V (%)	37,00	36,00

AO/SC: Adubação orgânica/ sem cobertura, AO/CO: Adubação orgânica/ com cobertura morta de Capim Napier (*Pennisetum purpureum* Shum.), AO/CP: Adubação orgânica/ com cobertura plástica e AQ/CP: Adubação convencional/ com cobertura plástica

2.2. Dinâmica dos Nutrientes Nas Camadas Superficiais do Solo

O padrão de comportamento apresentado pela área de mata no que se refere à dinâmica dos nutrientes, é bastante diferenciado dos tratamentos sob cultivo (figuras 6 a 19), apresentando sempre uma maior constância dos valores encontrados nos tempos amostrais, em função de uma entrada gradual de nutrientes oriundos da própria mata.

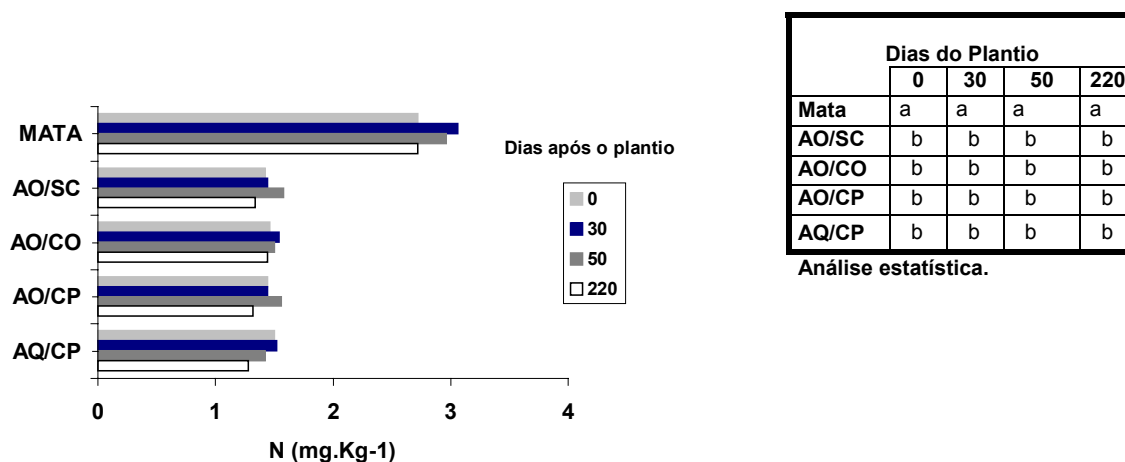


Figura 6. Dinâmica do nitrogênio na camada entre 0 e 10 cm. Onde AO/SC: Adubação orgânica/ sem cobertura, AO/CO: Adubação orgânica/ com cobertura morta de Capim Napier (*Pennisetum purpureum* Shum.), AO/CP: Adubação orgânica/ com cobertura plástica e AQ/CP: Adubação convencional/ com cobertura plástica

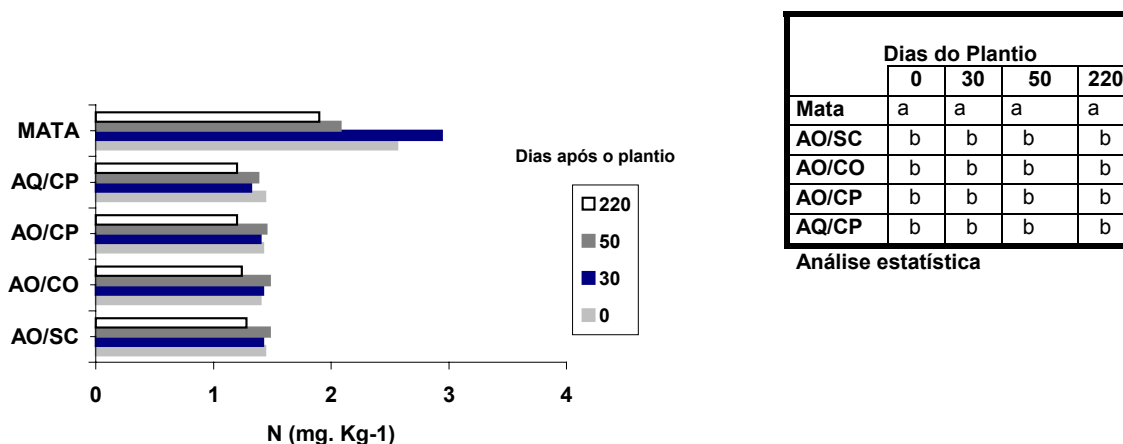


Figura 7. Dinâmica do nitrogênio na camada entre 10 e 20 cm. Onde AO/SC: Adubação orgânica/ sem cobertura, AO/CO: Adubação orgânica/ com cobertura morta de Capim Napier (*Pennisetum purpureum* Shum.), AO/CP: Adubação orgânica/ com cobertura plástica e AQ/CP: Adubação convencional/ com cobertura plástica

Os tratamentos sob cultivo, por sua vez, apresentaram uma dinâmica bastante instável. O tratamento convencional (AQ/ CP), que, a princípio (entre 0 e 30 dias de cultivo) apresentou os teores de nitrogênio (N) ligeiramente maiores, aos 50 dias de cultivo apresentava teores deste nutriente semelhante àqueles apresentados pelos demais tratamentos, mostrando uma maior tendência de perda de N por este tratamento, ou uma menor eficiência em retê-lo nas camadas superficiais do solo (figuras 6 e 7).

Os tratamentos orgânicos sem cobertura e com cobertura plástica (AO/ SC e AO/ CP) apresentaram, aos 50 dias de cultivo, uma tendência de aumento do teor de N, enquanto o tratamento orgânico com cobertura morta (AO/ CO), em contraste com os anteriores, apresentou uma tendência de perda deste nutriente. As tendências apresentadas pela dinâmica do N na área sob cultivo não foram estatisticamente significativas.

No primeiro momento de avaliação os teores de P (figuras 8 e 9) mostraram-se maiores nos tratamentos com cobertura plástica (orgânico e químico). Entretanto, este nutriente apresentou uma dinâmica bastante intensa

durante todo o período de cultivo, havendo uma tendência de perda para as camadas inferiores.

Aos 30 dias de cultivo os níveis de P dos tratamentos sob cultivo apresentaram uma redução bastante nítida, e estes tratamentos passaram a apresentar níveis de P bastante próximos, sendo os tratamentos sem cobertura e convencional aqueles com níveis ligeiramente mais elevados do que os demais.

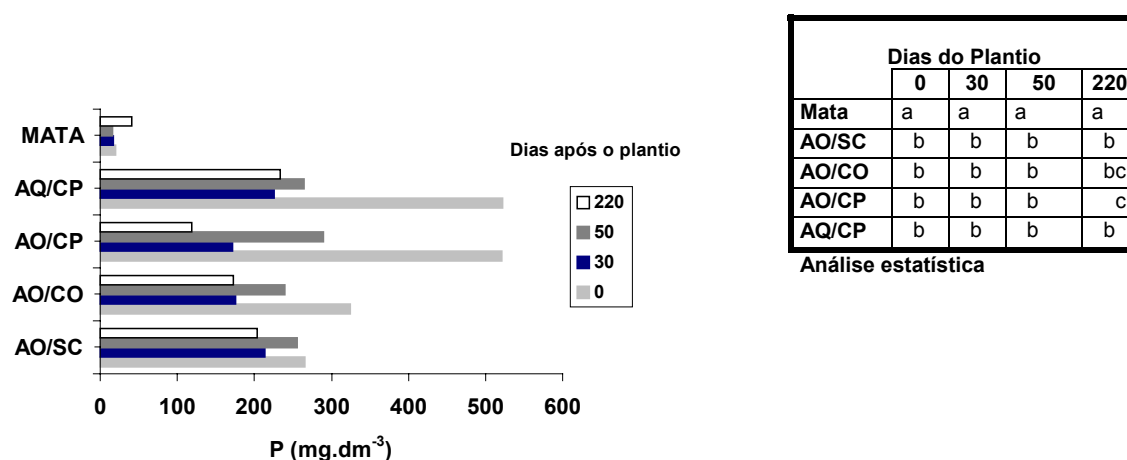


Figura 8. Dinâmica do fósforo na camada entre 0 e 10 cm. Onde AO/SC: Adubação orgânica/ sem cobertura, AO/CO: Adubação orgânica/ com cobertura morta de Capim Napier (*Pennisetum purpureum* Shum.), AO/CP: Adubação orgânica/ com cobertura plástica e AQ/CP: Adubação convencional/ com cobertura plástica.

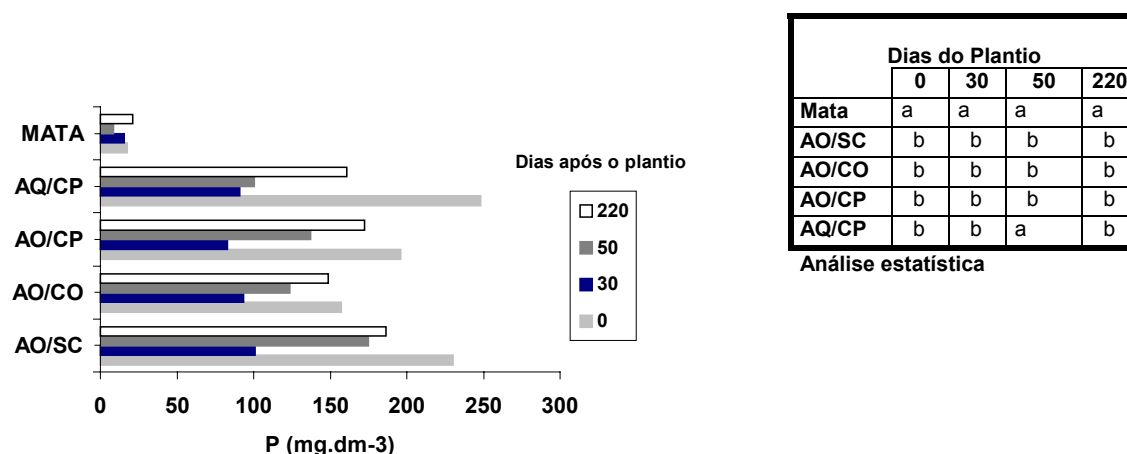


Figura 9. Dinâmica do fósforo na camada entre 10 e 20 cm. Onde AO/SC: Adubação orgânica/ sem cobertura, AO/CO: Adubação orgânica/ com cobertura morta de Capim Napier (*Pennisetum purpureum* Shum.), AO/CP: Adubação orgânica/ com cobertura plástica e AQ/CP: Adubação convencional/ com cobertura plástica.

Aos 50 dias de cultivo os níveis de P apresentaram um aumento e tornaram-se semelhantes para todas os tratamentos sob cultivo, na camada entre 0 a 10 cm. Na camada inferior (10 a 20 cm) os níveis desse nutriente apresentaram-se maiores, principalmente no tratamento convencional.

O último período de cultivo foi marcado por perdas na camada superficial do solo em todos os tratamentos, principalmente para o tratamento orgânico com cobertura plástica. Neste período os tratamentos convencional e orgânico sem cobertura apresentaram os maiores níveis de P na camada entre 0 e 10 cm.

Na camada entre 10 e 20 cm houve uma tendência ao aumento deste nutriente para todos os tratamentos, sendo o sem cobertura aquele que apresentou níveis menores.

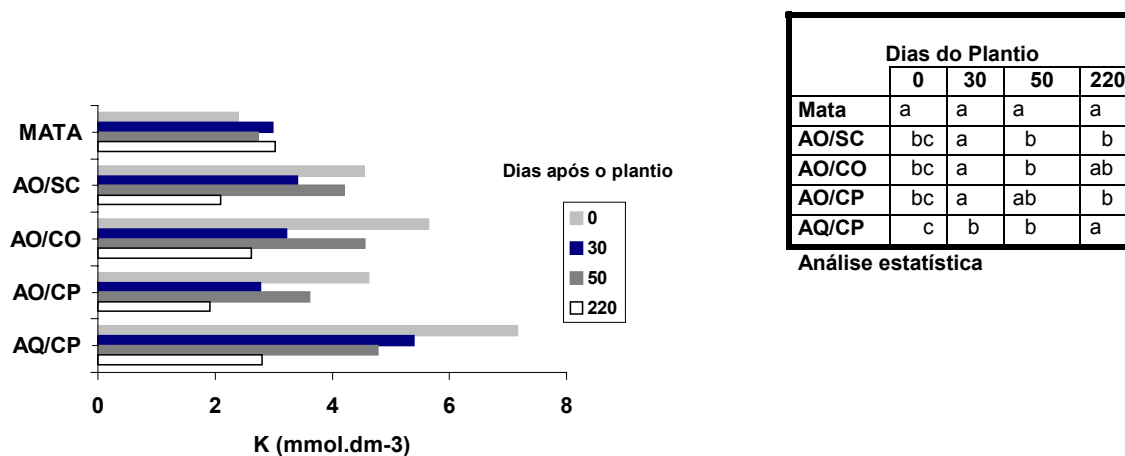


Figura 10. Dinâmica do potássio na camada entre 0 e 10 cm. Onde AO/SC: Adubação orgânica/ sem cobertura, AO/CO: Adubação orgânica/ com cobertura morta de Capim Napier (*Pennisetum purpureum* Shum.), AO/CP: Adubação orgânica/ com cobertura plástica e AQ/CP: Adubação convencional/ com cobertura plástica

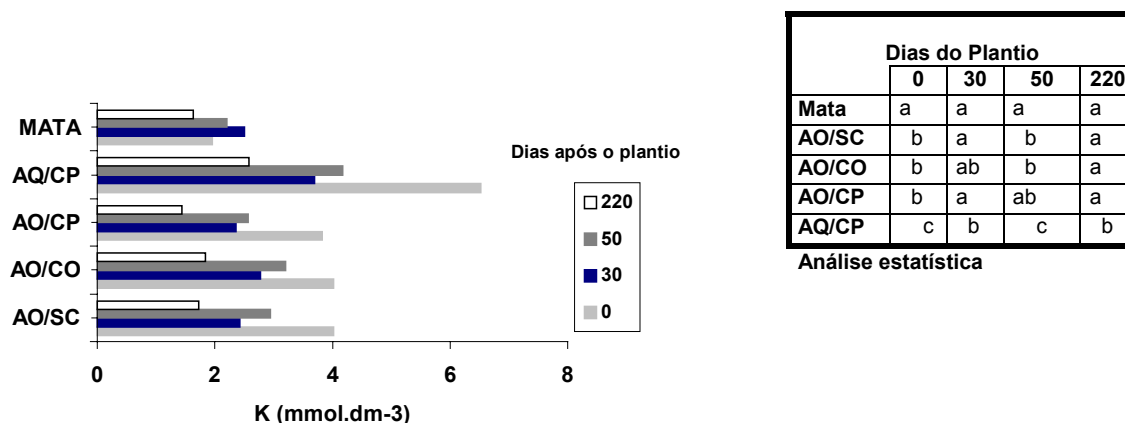


Figura 11. Dinâmica do potássio na camada entre 10 e 20 cm. Onde AO/SC: Adubação orgânica/ sem cobertura, AO/CO: Adubação orgânica/ com cobertura morta de Capim Napier (*Pennisetum purpureum* Shum.), AO/CP: Adubação orgânica/ com cobertura plástica e AQ/CP: Adubação convencional/ com cobertura plástica

Quando se observam os teores de potássio, magnésio e enxofre (figuras 10 a 15), nota-se que o tratamentos sob cultivo, de forma geral, tenderam a sofrer perdas destes nutrientes, ao longo do cultivo, sendo estas mais acentuadas nos tratamentos com cobertura plástica, quando comparados aos demais.

Devido à grande mobilidade destes nutrientes, os resultados apresentados na camada entre 10 e 20 cm refletem a mesma dinâmica de perdas anteriormente descrita.

O tratamento convencional acumula as maiores reduções referentes ao potássio e ao enxofre, e o tratamento orgânico com cobertura plástica apresenta maiores perdas de magnésio. Os tratamentos sem cobertura e com cobertura orgânica, diferentemente dos anteriores, mostram-se mais capazes de reter estes nutrientes no solo.

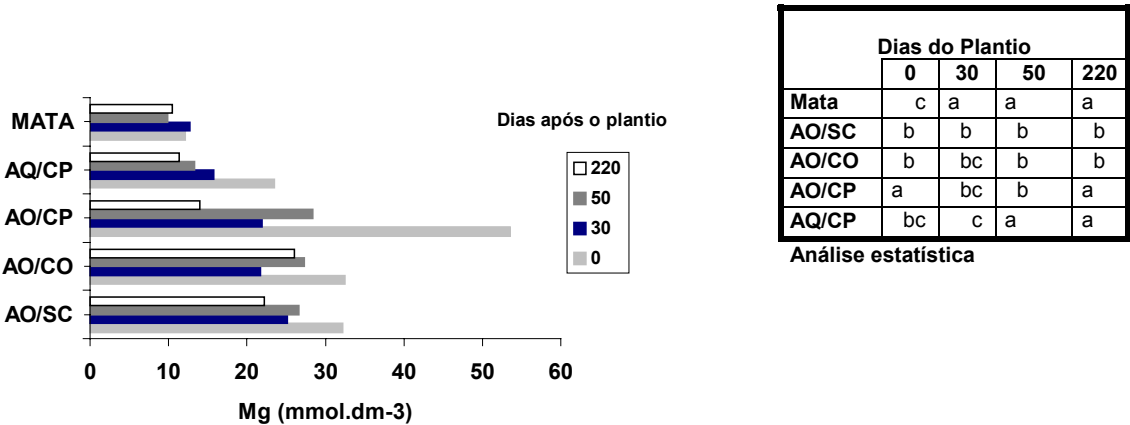


Figura 12. Dinâmica do Magnésio na camada entre 0 e 10 cm. Onde AO/SC: Adubação orgânica/ sem cobertura, AO/CO: Adubação orgânica/ com cobertura morta de Capim Napier (*Pennisetum purpureum* Shum.), AO/CP: Adubação orgânica/ com cobertura plástica e AQ/CP: Adubação convencional/ com cobertura plástica.

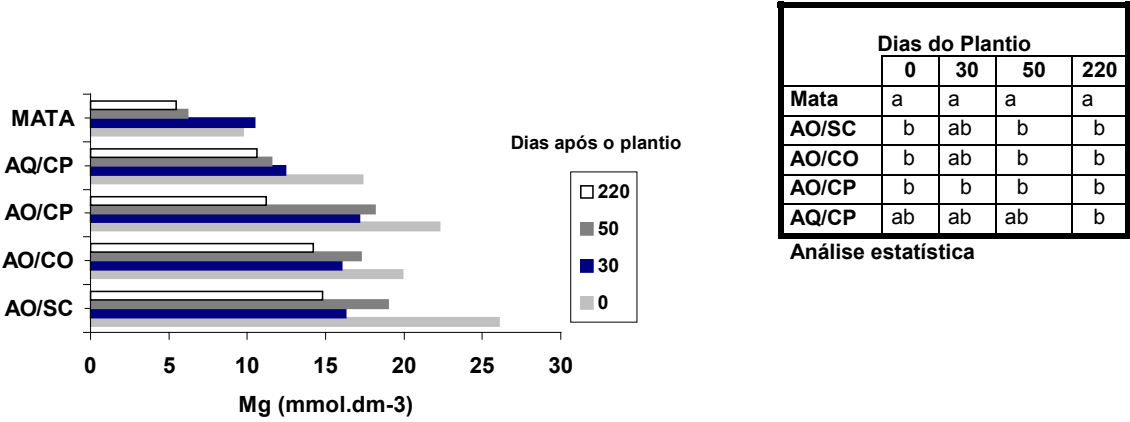
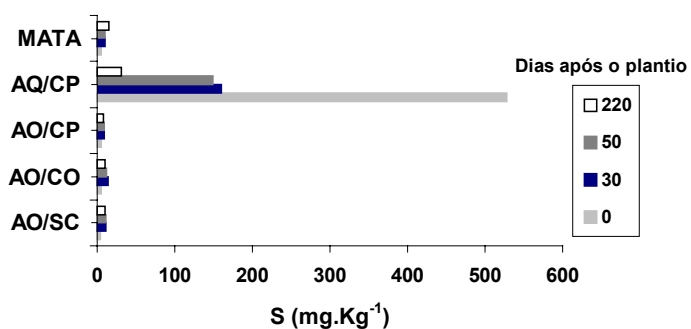


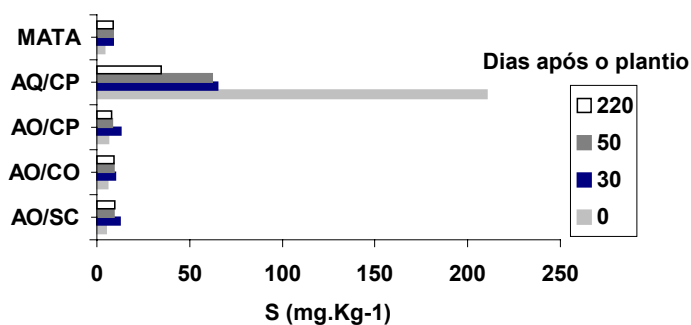
Figura 13. Dinâmica do Magnésio na camada entre 10 e 20 cm. Onde AO/SC: Adubação orgânica/ sem cobertura, AO/CO: Adubação orgânica/ com cobertura morta de Capim Napier (*Pennisetum purpureum* Shum.), AO/CP: Adubação orgânica/ com cobertura plástica e AQ/CP: Adubação convencional/ com cobertura plástica.



	Dias do Plantio			
	0	30	50	220
Mata	b	b	a	a
AO/SC	b	b	a	a
AO/CO	b	b	a	a
AO/CP	b	b	a	a
AQ/CP	a	a	b	b

Análise estatística

Figura 14. Dinâmica do enxofre na entre 0 e 10 cm. Onde AO/SC: Adubação orgânica/ sem cobertura, AO/CO: Adubação orgânica/ com cobertura morta de Capim Napier (*Pennisetum purpureum* Shum.), AO/CP: Adubação orgânica/ com cobertura plástica e AQ/CP: Adubação convencional/ com cobertura plástica.



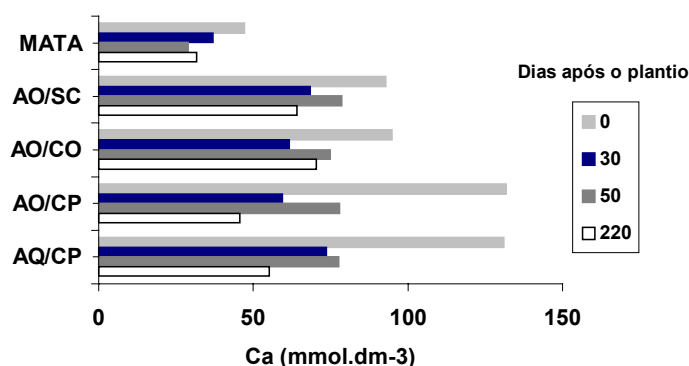
	Dias do Plantio			
	0	30	50	220
Mata	a	a	a	a
AO/SC	b	a	a	a
AO/CO	b	a	a	a
AO/CP	b	a	a	a
AQ/CP	b	b	b	b

Análise estatística

Figura 15. Dinâmica do enxofre na camada entre 10 e 20 cm. Onde AO/SC: Adubação orgânica/ sem cobertura, AO/CO: Adubação orgânica/ com cobertura morta de Capim Napier (*Pennisetum purpureum* Shum.), AO/CP: Adubação orgânica/ com cobertura plástica e AQ/CP: Adubação convencional/ com cobertura plástica.

Com relação ao cálcio (figuras 16 e 17), todos os tratamentos apresentaram uma tendência de perda nos primeiros 30 dias de cultivo. Entretanto, devido às adubações de cobertura, os teores de Ca voltaram a aumentar aos 50 dias de cultivo.

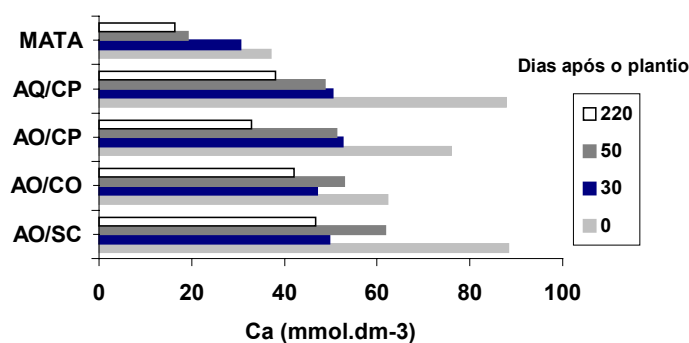
O tratamento convencional e o tratamento orgânico com cobertura plástica apresentaram as maiores perdas entre 0 e 30 dias de cultivo, igualando-se aos demais aos 50 dias. No período final do experimento, os tratamentos orgânicos sem cobertura e com cobertura morta apresentaram maiores teores de cálcio do que os demais.



	Dias do Plantio			
	0	30	50	220
Mata	a	a	a	a
AO/SC	b	b	b	b
AO/CO	b	b	b	b
AO/CP	b	b	b	a
AQ/CP	b	b	b	a

Análise estatística

Figura 16. Dinâmica do cálcio na camadas entre 0 e 10 cm. Onde AO/SC: Adubação orgânica/ sem cobertura, AO/CO: Adubação orgânica/ com cobertura morta de Capim Napier (*Pennisetum purpureum* Shum.), AO/CP: Adubação orgânica/ com cobertura plástica e AQ/CP: Adubação convencional/ com cobertura plástica.



	Dias do Plantio			
	0	30	50	220
Mata	a	a	a	a
AO/SC	b	ab	b	b
AO/CO	ab	ab	b	bc
AO/CP	b	b	b	c
AQ/CP	b	b	b	bc

Análise estatística

Figura 17. Dinâmica do cálcio na camada entre 10 e 20 cm. Onde AO/SC: Adubação orgânica/ sem cobertura, AO/CO: Adubação orgânica/ com cobertura morta de Capim Napier (*Pennisetum purpureum* Shum.), AO/CP: Adubação orgânica/ com cobertura plástica e AQ/CP: Adubação convencional/ com cobertura plástica.

O esterco de frango adicionado ao tratamento convencional, elevou o nível do C orgânico do solo (figura 18) na camada entre 0 e 10 cm, para níveis próximos aos da área de mata. Entretanto, os teores de C orgânico de todos os tratamentos sob cultivo, bem como a mata, apresentaram reduções no nível do C orgânico com o tempo.

Os tratamentos orgânicos sem cobertura e com cobertura morta chegaram ao final do experimento com teores de C orgânico mais elevados do que aqueles apresentados pelos demais tratamentos, sendo que o com cobertura orgânica apresentou um acúmulo de C orgânico durante o cultivo. Na camada entre 10 e 20 cm (figura 19) podem se ver confirmadas as mesmas tendências notadas na camada entre 0 e 10 cm.

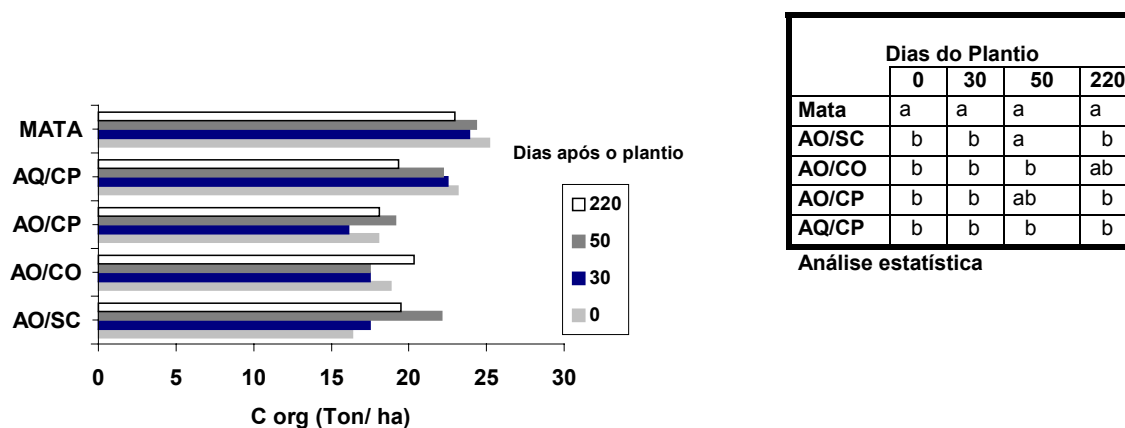


Figura 18. Dinâmica do C orgânico na camada entre 0 e 10 cm. Onde AO/SC: Adubação orgânica/ sem cobertura, AO/CO: Adubação orgânica/ com cobertura morta de Capim Napier (*Pennisetum purpureum* Shum.), AO/CP: Adubação orgânica/ com cobertura plástica e AQ/CP: Adubação convencional/ com cobertura plástica.

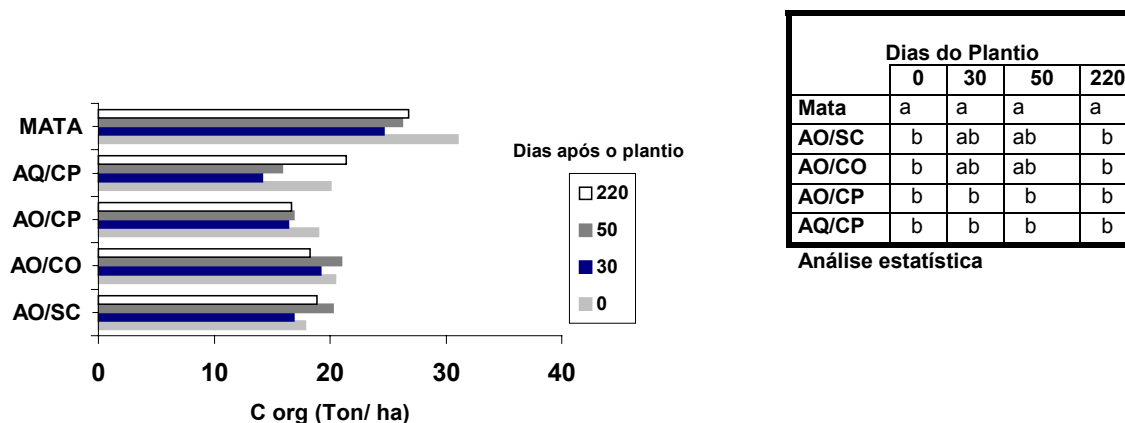


Figura 19. Dinâmica do C orgânico na camada entre 10 e 20 cm. Onde AO/SC: Adubação orgânica/ sem cobertura, AO/CO: Adubação orgânica/ com cobertura morta de Capim Napier (*Pennisetum purpureum* Shum.), AO/CP: Adubação orgânica/ com cobertura plástica e AQ/CP: Adubação convencional/ com cobertura plástica.

Na tabela 7 estão apresentados os teores dos micronutrientes encontrados nas camadas entre 0 e 10 cm e 10 e 20 cm, devendo se notar que a mata apresentou teores de ferro e manganês sempre significativamente maiores do que os tratamentos sob cultivo. Entretanto, no que se refere ao cobre e ao zinco, os níveis da área de mata são iguais ou menores do que aqueles apresentados pela área de cultivo.

De forma geral nota-se que os tratamentos orgânicos apresentaram valores de cobre, ferro e zinco maiores do que aqueles mostrados pelo tratamento convencional (AQ/ CP).

Os tratamentos sob cultivo mostraram tendência de aumento dos teores de micronutrientes com o tempo de cultivo, sendo que essas tendências modificaram-se no caso do zinco, com a chegada do período de chuva, entre 120 e 220 dias de cultivo. A camada entre 10 e 20 cm confirma as tendências encontradas na camada superior.

Tabela 7. Dinâmica dos micronutrientes nas camadas superficiais do solo.

	<u>Dia do plantio</u>							
	0 / 10 cm				10 / 20 cm			
	Cu	Fe	Mn	Zn	Cu	Fe	Mn	Zn
	mg.Kg ⁻¹							
AO/ SC	2,34 ^b	53,00 ^b	14,96 ^b	7,44 ^b	2,30 ^b	84,20 ^b	17,12 ^b	7,08 ^a
AO/ CO	2,34 ^b	41,12 ^b	16,88 ^b	8,32 ^{ab}	2,20 ^b	68,24 ^b	21,12 ^b	5,68 ^a
AO/ CP	2,40 ^b	45,52 ^b	14,84 ^b	14,24 ^a	2,32 ^b	59,12 ^b	18,44 ^b	6,64 ^a
AQ/ CP	1,98 ^{ab}	30,04 ^b	18,72 ^b	6,92 ^b	1,96 ^{ab}	55,96 ^b	21,28 ^b	6,24 ^a
MATA	1,56 ^a	126,60 ^a	73,80 ^a	7,88 ^b	1,48 ^a	142,16 ^a	63,04 ^a	7,08 ^a
	<u>30 dias após o plantio</u>							
	0 / 10 cm				10 / 20 cm			
	Cu	Fe	Mn	Zn	Cu	Fe	Mn	Zn
	mg.Kg ⁻¹							
AO/ SC	2,62 ^a	42,72 ^b	19,28 ^b	7,44 ^{ab}	2,50 ^a	55,00 ^b	23,68 ^b	4,76 ^b
AO/ CO	2,52 ^{ab}	64,60 ^b	23,68 ^b	6,08 ^a	2,32 ^a	58,08 ^b	25,32 ^b	4,64 ^b
AO/ CP	2,56 ^{ab}	57,48 ^b	20,48 ^b	6,40 ^{ab}	2,38 ^a	68,52 ^b	22,40 ^b	4,12 ^b
AQ/ CP	2,02 ^{bc}	36,36 ^b	26,88 ^b	5,92 ^a	1,80 ^{ab}	39,88 ^b	22,68 ^b	3,68 ^b
MATA	1,56 ^{bc}	126,5 ^a	79,16 ^a	7,92 ^b	1,50 ^b	134,28 ^a	68,64 ^a	7,24 ^a
	<u>50 dias após o plantio</u>							
	0 / 10 cm				10 / 20 cm			
	Cu	Fe	Mn	Zn	Cu	Fe	Mn	Zn
	mg.Kg ⁻¹							
AO/ SC	2,66 ^a	54,84 ^b	22,80 ^b	7,64 ^a	2,52 ^a	57,44 ^{bc}	26,40 ^b	5,96 ^a
AO/ CO	2,72 ^a	50,44 ^b	21,68 ^b	7,92 ^a	2,44 ^a	77,36 ^b	23,28 ^b	5,36 ^{ab}
AO/ CP	2,68 ^a	56,36 ^b	21,84 ^b	8,56 ^a	2,50 ^a	64,00 ^{bc}	24,20 ^b	5,45 ^{ab}
AQ/ CP	2,24 ^{ab}	41,96 ^b	25,36 ^b	5,40 ^b	2,00 ^{ab}	41,76 ^{bc}	26,48 ^b	3,88 ^b
MATA	1,62 ^b	145,12 ^a	69,28 ^a	7,80 ^a	1,36 ^b	142,5 ^a	46,24 ^a	5,20 ^{ab}
	<u>220 dias após o plantio</u>							
	0 / 10 cm				10 / 20 cm			
	Cu	Fe	Mn	Zn	Cu	Fe	Mn	Zn
	mg.Kg ⁻¹							
AO/ SC	2,40 ^b	40,06 ^b	25,00 ^b	5,94 ^{ab}	2,42 ^a	43,86 ^b	29,46 ^b	4,74 ^a
AO/ CO	2,62 ^b	41,10 ^b	24,86 ^b	8,04 ^a	2,58 ^a	46,88 ^b	29,40 ^b	4,64 ^a
AO/ CP	2,54 ^b	51,24 ^b	25,74 ^b	4,42 ^b	2,26 ^a	47,74 ^b	25,16 ^b	3,42 ^{ab}
AQ/ CP	2,26 ^b	46,30 ^b	32,58 ^b	4,50 ^b	1,90 ^{ab}	40,62 ^b	29,08 ^b	3,08 ^b
MATA	1,46 ^a	128,20 ^a	85,20 ^a	7,44 ^a	1,18 ^b	122,52 ^a	46,72 ^a	3,98 ^{ab}

AO/SC: Adubação orgânica/ sem cobertura, AO/CO: Adubação orgânica/ com cobertura morta de Capim Napier (*Pennisetum purpureum* Shum.), AO/CP: Adubação orgânica/ com cobertura plástica e AQ/CP: Adubação convencional/ com cobertura plástica

2.3. Dinâmica dos Nutrientes a 60 cm de Profundidade (Índice de Perdas de Nutrientes)

Nas figuras 20 a 25 encontram-se apresentados os dados das análises químicas realizadas do solo na profundidade de 60 cm. Observando a figura 20, nota-se que os teores de N seguiram dinâmicas e valores bastante semelhantes em todos os tratamentos sob cultivo.

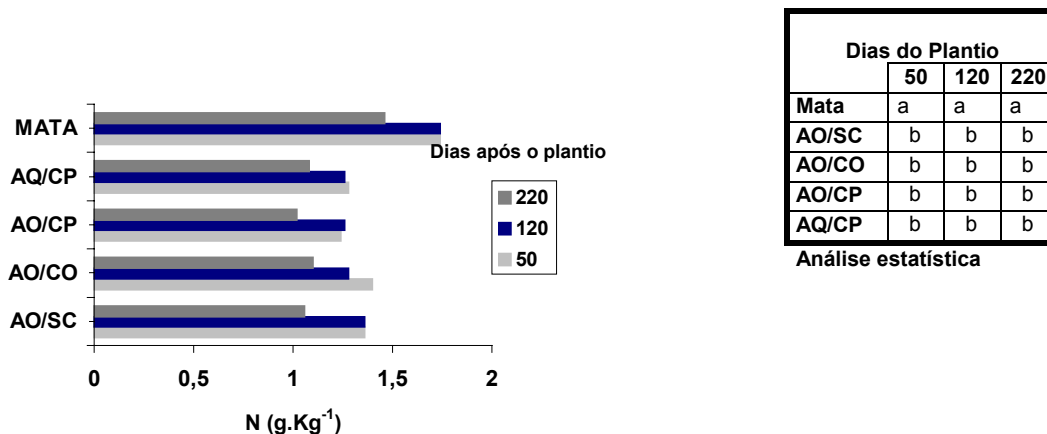


Figura 20. Dinâmica do Nitrogênio 60 cm de profundidade. Onde AO/SC: Adubação orgânica/ sem cobertura, AO/CO: Adubação orgânica/ com cobertura morta de Capim Napier (*Pennisetum purpureum* Shum.), AO/CP: Adubação orgânica/ com cobertura plástica e AQ/CP: Adubação convencional/ com cobertura plástica.

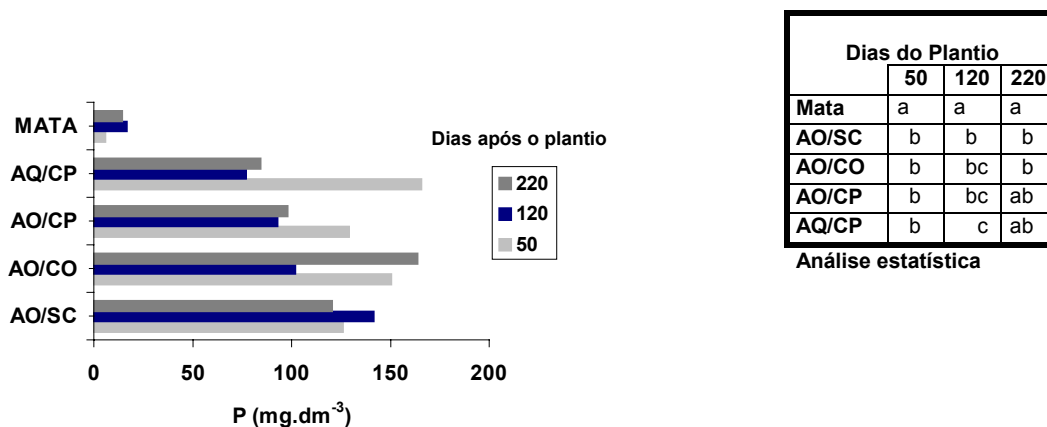
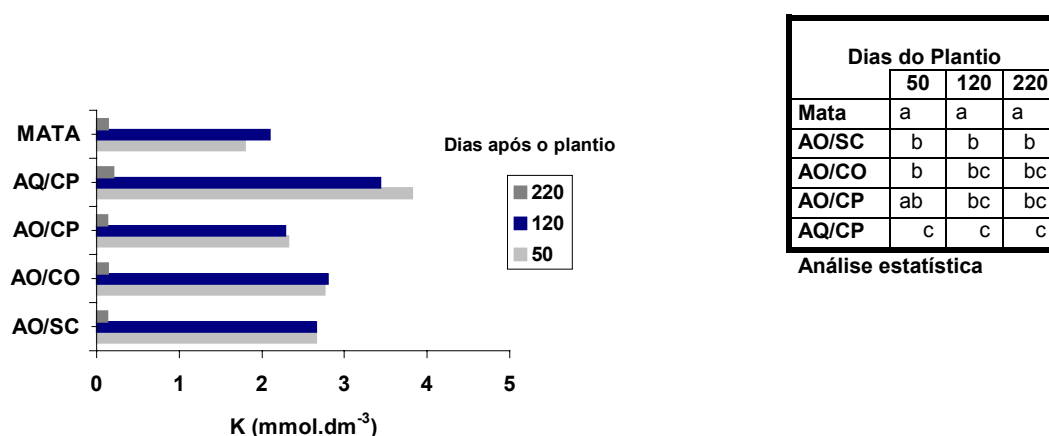


Figura 21. Dinâmica do Fósforo a 60 cm de profundidade. Onde AO/SC: Adubação orgânica/ sem cobertura, AO/CO: Adubação orgânica/ com cobertura morta de Capim Napier (*Pennisetum purpureum* Shum.), AO/CP: Adubação orgânica/ com cobertura plástica e AQ/CP: Adubação convencional/ com cobertura plástica.

Os teores de P (figura 21) em profundidade apresentaram-se maiores aos 50 dias de cultivo no tratamento convencional (AQ/ CP), devido às maiores cargas fornecidas deste nutriente ao referido tratamento sob forma mais disponível.

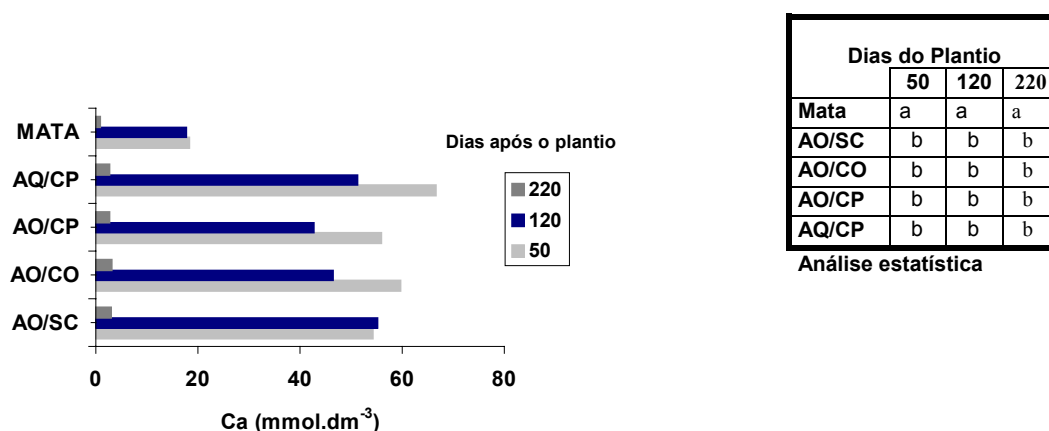
Aos 120 dias de cultivo as coberturas implantadas nos tratamentos sob cultivo pareceram minimizar as perdas deste nutriente; entretanto, com a intensificação das chuvas no último período de cultivo, o tratamento com cobertura morta apresentou níveis de perda de P significativamente maiores.



Dias do Plantio			
	50	120	220
Mata	a	a	a
AO/SC	b	b	b
AO/CO	b	bc	bc
AO/CP	ab	bc	bc
AQ/CP	c	c	c

Análise estatística

Figura 22. Dinâmica do Potássio a 60 cm de profundidade. Onde AO/SC: Adubação orgânica/ sem cobertura, AO/CO: Adubação orgânica/ com cobertura morta de Capim Napier (*Pennisetum purpureum* Shum.), AO/CP: Adubação orgânica/ com cobertura plástica e AQ/CP: Adubação convencional/ com cobertura plástica.



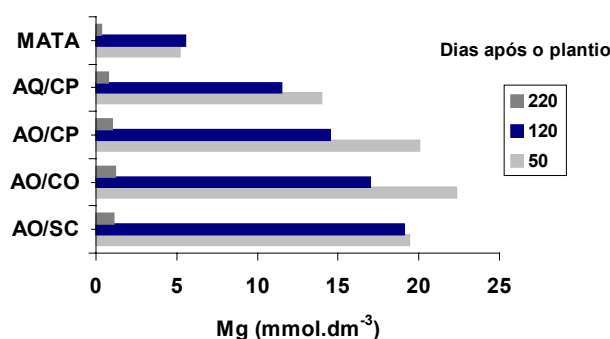
Dias do Plantio			
	50	120	220
Mata	a	a	a
AO/SC	b	b	b
AO/CO	b	b	b
AO/CP	b	b	b
AQ/CP	b	b	b

Análise estatística

Figura 23. Dinâmica do Cálcio a 60 cm de profundidade. Onde AO/SC: Adubação orgânica/ sem cobertura, AO/CO: Adubação orgânica/ com cobertura morta de Capim Napier (*Pennisetum purpureum* Shum.), AO/CP: Adubação orgânica/ com cobertura plástica e AQ/CP: Adubação convencional/ com cobertura plástica.

As perdas de potássio e cálcio (figuras 22 e 23) apresentadas pelo tratamento convencional foram maiores do que aquelas apresentadas pelos demais tratamentos, sendo que estas diferenças mostraram-se significativas apenas para os resultados apresentados pelo potássio. Devido à grande mobilidade destes nutrientes, essas diferenças já não são encontradas no último período de cultivo.

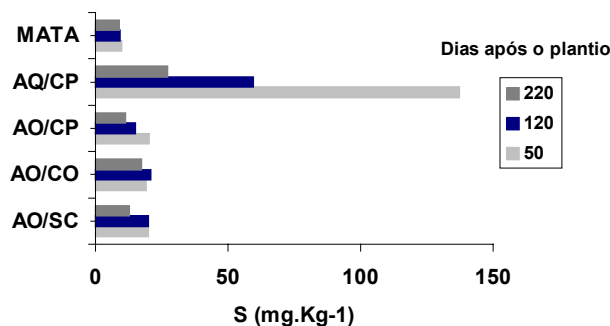
Observa-se que os tratamentos orgânicos apresentaram, a 60 cm, valores de magnésio (figura 24) sempre maiores do que os do tratamento convencional (AQ/ CP), sendo o tratamento orgânico com cobertura morta (AO/CO) aquele que apresentou maiores níveis de magnésio em profundidade.



Dias do Plantio			
	50	120	220
Mata	a	a	a
AO/SC	bc	b	b
AO/CO	b	b	b
AO/CP	b	bc	b
AQ/CP	c	c	b

Análise estatística

Figura 24. Dinâmica do Magnésio a 60 cm de profundidade. Onde AO/SC: Adubação orgânica/ sem cobertura, AO/CO: Adubação orgânica/ com cobertura morta de Capim Napier (*Pennisetum purpureum* Shum.), AO/CP: Adubação orgânica/ com cobertura plástica e AQ/CP: Adubação convencional/ com cobertura plástica.



Dias do Plantio			
	50	120	220
Mata	a	a	a
AO/SC	a	b	b
AO/CO	a	ab	b
AO/CP	a	ab	bc
AQ/CP	b	ab	c

Análise estatística

Figura 25. Dinâmica do Enxofre a 60 cm de profundidade. Onde AO/SC: Adubação orgânica/ sem cobertura, AO/CO: Adubação orgânica/ com cobertura morta de Capim Napier (*Pennisetum*

purpureum Shum.), AO/CP: Adubação orgânica/ com cobertura plástica e AQ/CP: Adubação convencional/ com cobertura plástica.

Os teores de enxofre encontrados a 60 cm de profundidade (figura 25) foram significativamente maiores no tratamento convencional, confirmando as grandes perdas notadas nas camadas superiores (0-10 e 10-20 cm).

3. Parâmetros Biológicos

3.1. Biomassa e comprimento de raízes

Comparando os resultados apresentados nas figuras 26 e 27, é possível notar que existe uma diferença bastante acentuada na biomassa de raízes entre as camadas de 0 - 10 e de 10 - 20 cm na área de mata. Esta diferença mostra-se bem menos acentuada na área sob cultivo, não havendo diferenças estatísticas entre estes tratamentos, possivelmente devido à menor diferença existente na quantidade de matéria orgânica entre essas duas camadas nos tratamentos sob cultivo.

Na camada de 0 - 10 cm, a mata apresentou uma biomassa de raízes cerca de 3 vezes maior do que aquela apresentada pelas parcelas dos tratamentos sob cultivo, em todos os tempos amostrais (figura 26).

Entre os tratamentos com adubação orgânica pôde se notar, inicialmente, uma tendência de aumento da biomassa de raízes, seguida de uma forte redução dessa biomassa e uma posterior recuperação, que se deu com maior intensidade no tratamento com cobertura morta (AO/ CO).

O tratamento convencional (AQ/ CP), desde o 1º mês após o plantio, mostra uma biomassa de raízes inferior aos demais tratamentos, apresentando uma curva estável de tendência decrescente.

Os resultados apresentados na figura 27 indicam que houve maior estabilidade entre os tratamentos orgânicos na camada entre 10 e 20 cm, quando comparada à camada superior (0 e 10 cm), apresentando um pequeno declínio da biomassa de raízes no último período. Entretanto, o tratamento convencional nessa camada apresentou uma biomassa de raízes superior à dos demais tratamentos, aos 120 dias de cultivo.

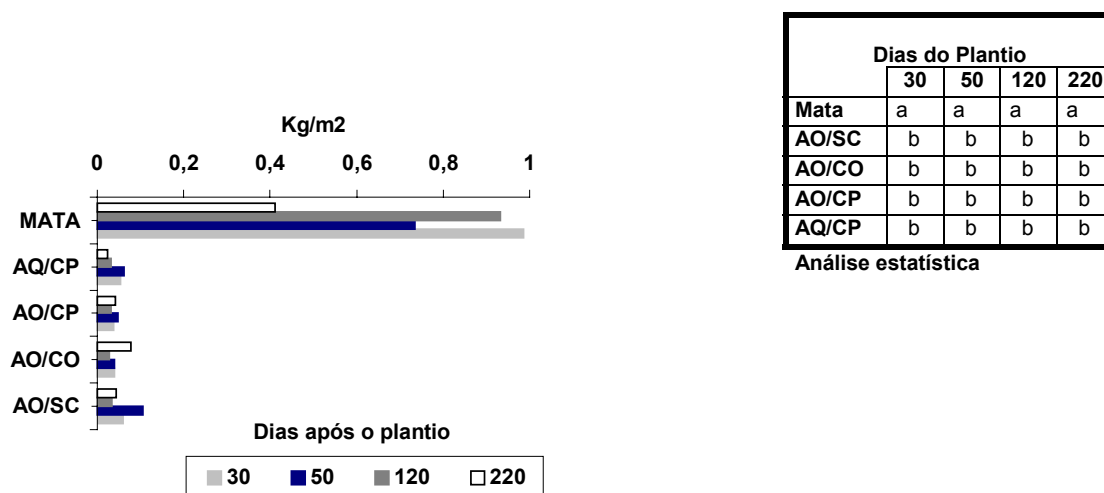


Figura 26. Dinâmica da biomassa de raízes na camada entre 0 e 10 cm. Onde AO/SC: Adubação orgânica/ sem cobertura, AO/CO: Adubação orgânica/ com cobertura morta de Capim Napier (*Pennisetum purpureum* Shum.), AO/CP: Adubação orgânica/ com cobertura plástica e AQ/CP: Adubação convencional/ com cobertura plástica.

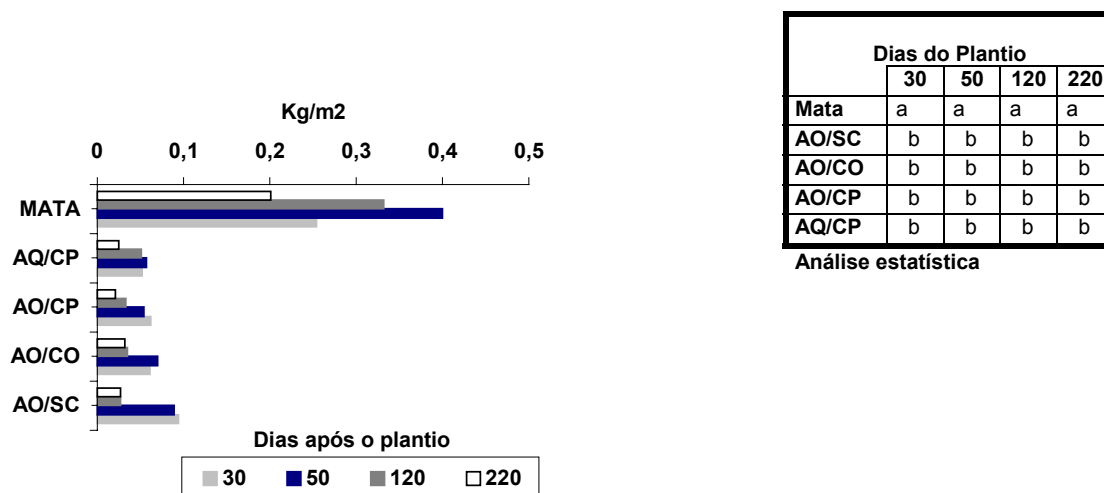


Figura 27. Dinâmica da biomassa de raízes na camada entre 10 e 20 cm . Onde AO/SC: Adubação orgânica/ sem cobertura, AO/CO: Adubação orgânica/ com cobertura morta de Capim Napier (*Pennisetum purpureum* Shum.), AO/CP: Adubação orgânica/ com cobertura plástica e AQ/CP: Adubação convencional/ com cobertura plástica.

A dinâmica seguida pelo comprimento de raízes (figuras 28 e 29) acompanhou a dinâmica da biomassa relatada anteriormente, exceto na camada entre 10 e 20 cm da área de mata, onde o comprimento de raízes apresentou um aumento, enquanto a biomassa apresentou uma redução, indicando um aumento na quantidade de raízes finas neste período.

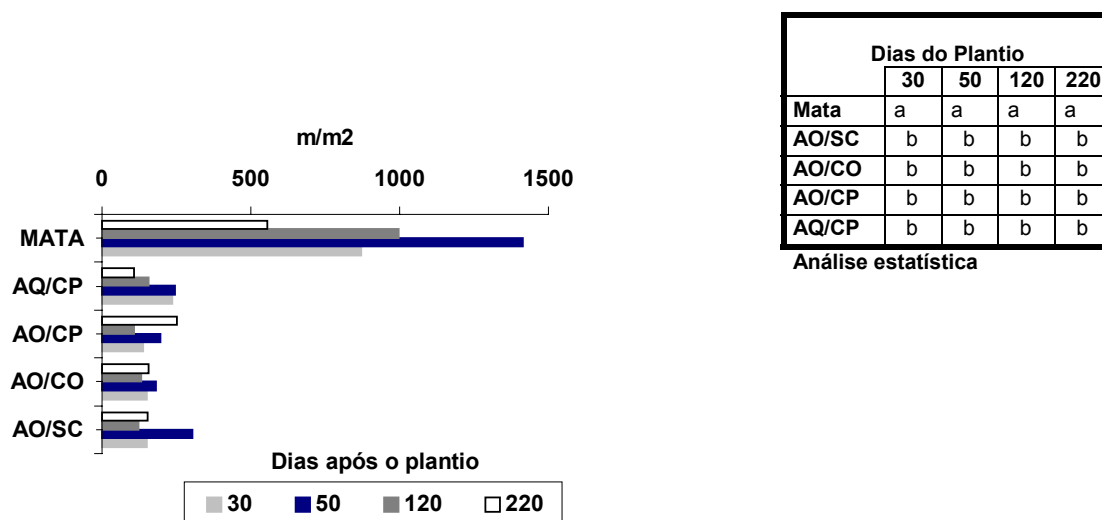


Figura 28. Dinâmica do comprimento de raízes na camada entre 0 e 10 cm. Onde AO/SC: Adubação orgânica/ sem cobertura, AO/CO: Adubação orgânica/ com cobertura morta de Capim Napier (*Pennisetum purpureum* Shum.), AO/CP: Adubação orgânica/ com cobertura plástica e AQ/CP: Adubação convencional/ com cobertura plástica.

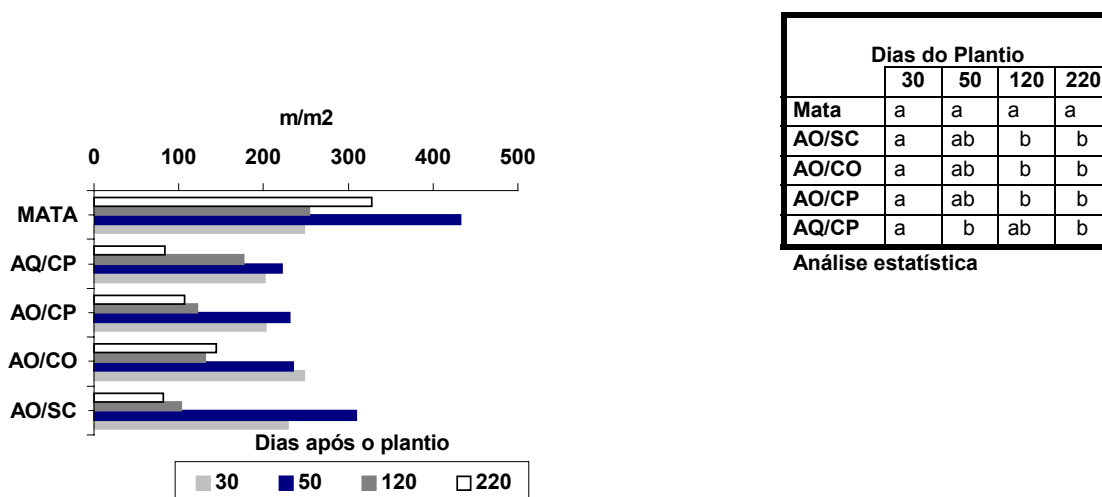


Figura 29. Dinâmica do comprimento de raízes na camada entre 10 e 20 cm. Onde AO/SC: Adubação orgânica/ sem cobertura, AO/CO: Adubação orgânica/ com cobertura morta de Capim Napier (*Pennisetum purpureum* Shum.), AO/CP: Adubação orgânica/ com cobertura plástica e AQ/CP: Adubação convencional/ com cobertura plástica.

Ainda seguindo a mesma tendência da biomassa de raízes apresentada anteriormente, o tratamento convencional apresentou valores maiores e estatisticamente diferentes para o comprimento de raízes aos 120 dias de cultivo.

3.2. Biomassa Microbiana

Na figura 30 e 31 estão apresentados os dados de biomassa microbiana, podendo se notar que a mata sempre apresentou valores de C microbiano maiores do que aqueles encontrados nos tratamentos sob cultivo.

A dinâmica do C microbiano na área de mata foi também bastante particular e completamente distinta dos tratamentos sob cultivo. Na camada entre 0 e 10 cm (figura 30) a área de mata apresentou uma tendência a decrescer nos primeiros meses, voltando a crescer entre 120 e 220 dias do plantio (entre agosto e dezembro), possivelmente acompanhando a disponibilidade de água no solo.

Entre os tratamentos sob cultivo, percebe-se que os tratamentos orgânicos apresentaram C microbiano um pouco superior ao do tratamento convencional, sendo que os tratamentos orgânicos sem cobertura e com cobertura plástica foram estatisticamente superiores ao do tratamento convencional.

O tratamento orgânico com cobertura morta (AO/ CO), inferior aos demais no primeiro momento de avaliação, apresenta a tendência de decréscimo da biomassa microbiana no período entre 50 e 120 dias após o plantio, voltando a crescer no período seguinte, entre 120 e 220 dias de cultivo.

Os tratamentos orgânicos sem cobertura e com cobertura plástica AO/ SC e AO/ CP, respectivamente) apresentaram tendências semelhantes, no que se refere à curva da biomassa microbiana, embora o tratamento sem cobertura, no

geral, tenha mostrado valores maiores do que o tratamento com cobertura plástica.

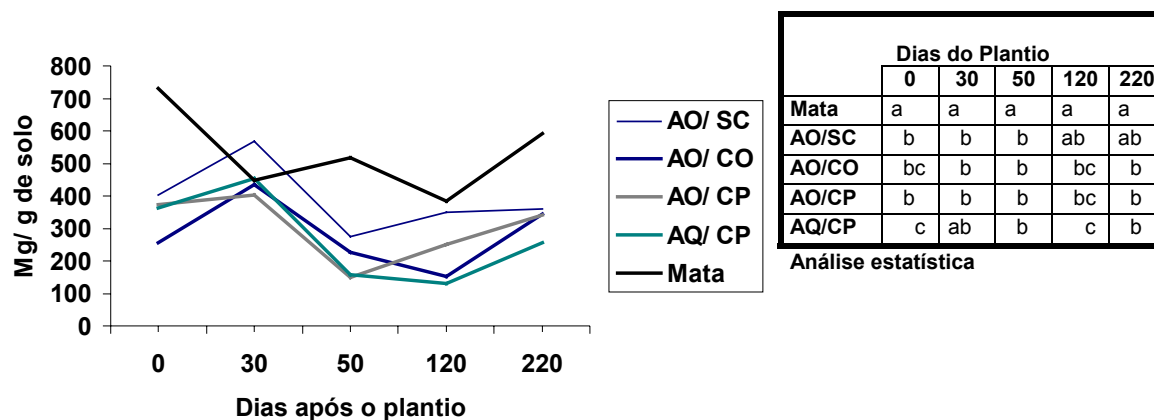


Figura 30. Dinâmica da biomassa microbiana na camada entre 0 a 10 cm. Onde AO/SC: Adubação orgânica/ sem cobertura, AO/CO: Adubação orgânica/ com cobertura morta de Capim Napier (*Pennisetum purpureum* Shum.), AO/CP: Adubação orgânica/ com cobertura plástica e AQ/CP: Adubação convencional/ com cobertura plástica.

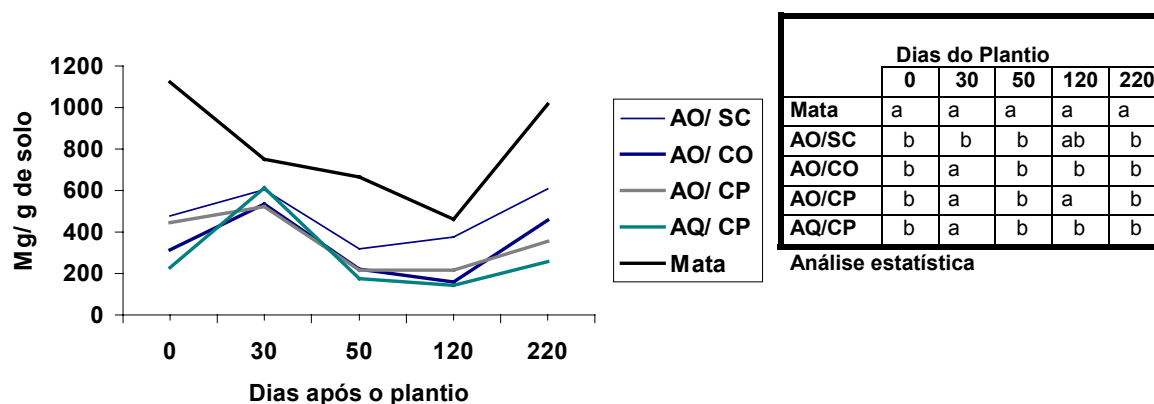


Figura 30. Dinâmica da biomassa microbiana na camada entre 10 a 20 cm . Onde AO/SC: Adubação orgânica/ sem cobertura, AO/CO: Adubação orgânica/ com cobertura morta de Capim Napier (*Pennisetum purpureum* Shum.), AO/CP: Adubação orgânica/ com cobertura plástica e AQ/CP: Adubação convencional/ com cobertura plástica.

A curva da biomassa microbiana ao longo do ciclo de cultivo na camada entre 10 e 20 cm (figura 31) segue tendências semelhantes àsquelas da camada entre 0 e 10 cm (figura 30), muito embora a camada inferior apresente valores de biomassa menores do que aqueles apresentados pela camada superior.

A tabela 8 apresenta os valores de C microbiano relativos ao C orgânico do solo. O percentual do C orgânico ocupado pelo C microbiano segue uma dinâmica semelhante à dos valores absolutos de biomassa, indicando que as variações sofridas pelo C orgânico, observadas em item anterior, são oriundas do estoque de C microbiano, mais lábil e, portanto, refletindo as alterações no ambiente do solo de forma mais rápida.

Tabela 8. Relação entre o C orgânico e o C microbiano nas camadas superficiais do solo.

(0 - 10 cm)	C microb./ C org. X 100 (%)				
	Dias após o plantio				
	0	30	50	120	220
AO/ SC	3,35 ^b	3,59 ^b	1,72 ^{ab}	1,75 ^a	4,53 ^a
AO/ CO	1,99 ^c	3,62 ^b	1,32 ^{ab}	1,11 ^{ab}	3,15 ^b
AO/ CP	2,76 ^{bc}	3,70 ^{ab}	1,09 ^b	1,32 ^{ab}	3,00 ^b
AQ/ CP	1,57 ^c	4,25 ^{ab}	2,95 ^a	0,98 ^b	1,51 ^c
Mata	4,90 ^a	5,32 ^a	3,08 ^a	2,05 ^a	4,51 ^a

(10 - 20 cm)	Dias após o plantio				
	Dias após o plantio				
	0	30	50	120	220
AO/ SC	2,90 ^{ab}	4,34 ^a	1,72 ^b	2,17 ^{bc}	2,73 ^{ab}
AO/ CO	1,63 ^b	2,98 ^{ab}	1,52 ^b	0,95 ^c	2,17 ^{ab}
AO/ CP	2,47 ^{ab}	3,09 ^{ab}	1,47 ^b	3,93 ^a	3,36 ^a
AQ/ CP	2,29 ^{ab}	4,19 ^a	1,36 ^b	1,04 ^c	2,08 ^b
Mata	3,37 ^a	2,83 ^b	2,68 ^a	2,85 ^b	2,62 ^{ab}

AO/SC: Adubação orgânica/ sem cobertura, AO/CO: Adubação orgânica/ com cobertura morta de Capim Napier (*Pennisetum purpureum* Shum.), AO/CP: Adubação orgânica/ com cobertura plástica e AQ/CP: Adubação convencional/ com cobertura plástica

Entretanto, aos 50 dias de cultivo os valores relativos da biomassa diferenciam-se dos valores absolutos, e o tratamento convencional, mesmo apresentando uma redução, segue sendo superior aos dos demais tratamentos. Posteriormente, aos 120 dias de cultivo, apresenta uma forte redução, passando a apresentar os mais baixos valores entre os tratamentos.

No último período do cultivo é possível notar que o percentual de C microbiano no tratamento sem cobertura ganha importância semelhante à da área de mata, sendo o tratamento sob cultivo o que apresenta os maiores valores percentuais de C microbiano.

3.3. Infecção por Fungos micorrízicos Vesiculares Arbusculares (MVA)

Analisando os dados apresentados na figura 32, percebe-se que taxa de infecção por fungos micorrízicos apresentou-se sempre mais alta nos tratamentos orgânicos do que no tratamento convencional. Entretanto, todos os tratamentos apresentaram curvas semelhantes, de tendência ascendente até 120 dias após o plantio, quando os tratamentos orgânicos convencional mostraram reduções nas suas taxas de infecção, exceto o tratamento orgânico com cobertura plástica, que seguiu com tendência ascendente.

Pode se notar ainda que a cobertura morta pareceu estimular a ocorrência de infecções, exatamente no pico de produção, no período entre 120 e 220 dias após o plantio.

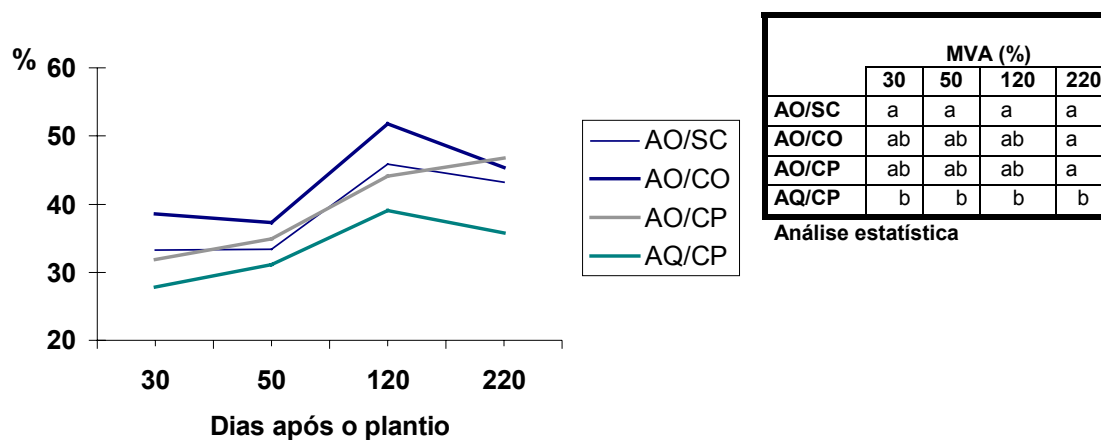


Figura 32. Taxa de infecção por Fungos Micorrízicos. Onde AO/SC: Adubação orgânica/ sem cobertura, AO/CO: Adubação orgânica/ com cobertura morta de Capim Napier (*Pennisetum purpureum* Shum.), AO/CP: Adubação orgânica/ com cobertura plástica e AQ/CP: Adubação convencional/ com cobertura plástica.

3.4. Macrofauna do Solo

Observando a tabela 9, é possível notar que apenas a área de mata possui indivíduos em todas as categorias de função ecológica, mostrando haver um maior equilíbrio entre as funções desempenhadas, ainda que o número médio de indivíduos seja menor. Nas áreas cultivadas algumas morfoespécies são privilegiadas em relação às demais, por haver uma maior uniformidade ambiental, bem como de recursos alimentares.

Tabela 9. Número de indivíduos dentro das categorias de função ambiental nos tratamentos testados. Onde End: Endogeicos; End/A: Endogeicos/ Anécicos; Epi: Epigeicos; Epi/A: Epigeicos/ Anecicos.

	0 a 10 cm				10 a 20 cm		
	End	End/ A	Epi	Epi/A	End	Epi/ A	Epi
AO/SC	12,5	0	0,3	39,0	6,8	4,5	0,8
AO/CO	13,8	0	6,8	20,0	12,8	5,8	0
AO/CP	1,8	0	3,8	7,3	5,8	15,0	0,5
AQ/CP	1,5	0	0,8	1,3	2,5	1,3	0,5
Mata	1,0	1,5	2,3	2,8	0,75	0,3	1,3

AO/SC: Adubação orgânica/ sem cobertura, AO/CO: Adubação orgânica/ com cobertura morta de Capim Napier (*Pennisetum purpureum* Shum.), AO/CP: Adubação orgânica/ com cobertura plástica e AQ/CP: Adubação convencional/ com cobertura plástica

Comparando os diferentes sistemas de cultivo na profundidade entre 0 e 10 cm, é possível notar que os tratamentos com cobertura plástica sofreram uma forte redução no número de indivíduos, dentro de cada categoria de função ecológica, quando comparados aos demais. O tratamento orgânico com cobertura morta (AO/ CO), por sua vez, destacou-se por apresentar um forte aumento no número de indivíduos epigeicos, possivelmente em função da cobertura morta, que torna mais adequado o ambiente (temperatura e umidade) e fornece alimento a estes indivíduos.

Na camada subsuperficial, entre 10 e 20 cm, não são encontrados indivíduos endogeicos/ anécicos em nenhum dos tratamentos sob cultivo. Comparando ainda os tratamentos orgânicos (AO/SC, AO/CO, AO/CP) com o

convencional (AQ/CP), nota-se uma queda bastante acentuada do número de indivíduos presentes neste último.

Ainda entre 10 e 20 cm percebe-se um forte aumento no número de indivíduos epigeicos/ anécicos nos tratamentos sob cultivo. Provavelmente encontra-se refugiada nesta camada parte da população da camada superior (0 a 10 cm), que pode ter sido afugentada pelas altas temperaturas provocadas pelo plástico preto utilizado nesse tratamento.

Tabela 10. Número médio de indivíduos (N° ind/parc) e de morfoespécies por parcela (N° mfsp /parc) e o numero total de morfoespécies por tratamento (N°mfsp/trat) em cada tratamento estudado.

	0 a 10cm			10 a 20cm		
	N° ind/parc	N° sp /parc	N° sp/trat	N° ind/parc	N° sp /parc	N° sp/trat
AO/SC	53,5	4,5	13,0	12,3	3,0	8,0
AO/CO	43,0	5,0	14,0	19,0	3,0	8,0
AO/CP	14,0	4,8	14,0	21,8	3,0	7,0
AQ/CP	3,8	3,3	9,0	4,0	3,0	7,0
Mata	9,3	4,0	12,0	4,0	2,3	6,0

AO/SC: Adubação orgânica/ sem cobertura, AO/CO: Adubação orgânica/ com cobertura morta de Capim Napier (*Pennisetum purpureum* Shum.), AO/CP: Adubação orgânica/ com cobertura plástica e AQ/CP: Adubação convencional/ com cobertura plástica

Na tabela 10 é possível perceber que, embora os tratamentos apresentem número médio de morfoespécies semelhante por parcela, os tratamentos com cobertura plástica mostram-se bastante inferiores aos demais. Esta diferença é mantida na camada seguinte, com relação ao tratamento convencional, destacando o efeito da adubação.

Observando as figuras apresentadas a seguir (figuras 33 e 34) é possível perceber a inexistência de formigas na área de mata, bem como no tratamento convencional. Nos tratamentos onde elas são encontradas, de forma geral concentraram-se na camada entre 10 e 20 cm (figura 34), exceto no tratamento com cobertura morta, onde o número de indivíduos apresenta-se maior na camada entre 0 e 10 cm (figura 33).

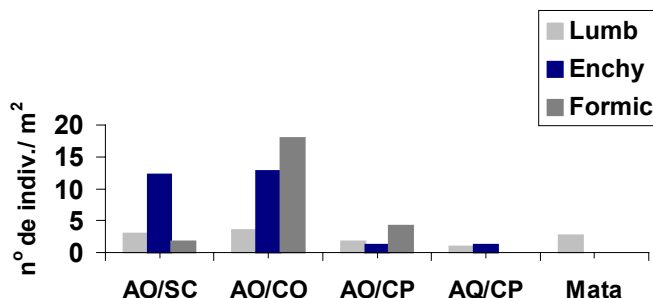


Figura 33. Número indivíduos/m² de Minhocas (Lumb), Enchytraeidae (Enchy) e Formigas (Formic), na camada entre 0 e 10 cm. Onde AO/SC: Adubação orgânica/ sem cobertura, AO/CO: Adubação orgânica/ com cobertura morta de Capim Napier (*Pennisetum purpureum* Shum.), AO/CP: Adubação orgânica/ com cobertura plástica e AQ/CP: Adubação convencional/ com cobertura plástica.

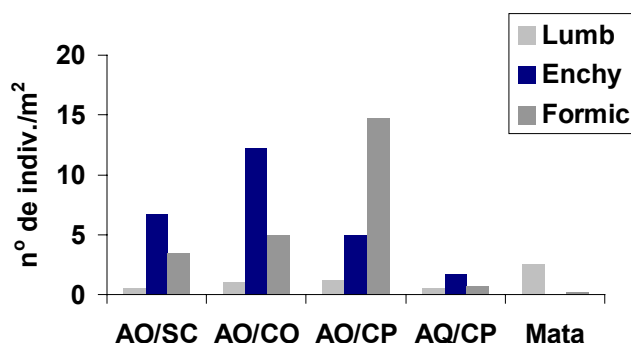


Figura 34. Número indivíduos/m² de Minhocas (Lumb), Enchytraeidae (Enchy) e Formigas (Formic), na camada entre 10 a 20 cm. Onde AO/SC: Adubação orgânica/ sem cobertura, AO/CO: Adubação orgânica/ com cobertura morta de Capim Napier (*Pennisetum purpureum* Shum.), AO/CP: Adubação orgânica/ com cobertura plástica e AQ/CP: Adubação convencional/ com cobertura plástica.

A população de minhocas concentrou-se principalmente na camada entre 0 e 10 cm (figura 33), nos tratamentos orgânicos e na área de mata. Os tratamentos com cobertura plástica, diferente dos demais, exibem maior número de indivíduos na camada inferior (entre 10 e 20 cm, figura 34).

As enchytraeidae apresentam-se em número superior nos tratamentos orgânicos sem cobertura e com cobertura morta, sendo que na camada entre 10 e 20 cm (figura 34) dos tratamentos orgânicos com cobertura morta e plástica é possível observar um aumento significativo do número de indivíduos. Na área de mata não foram encontrados indivíduos dessa família.

Portanto, no tratamento orgânico com cobertura morta é encontrada uma maior população de minhocas, formigas e enquitreídeos na camada mais superficial. Este fato pode estar relacionado à redução e à menor variação da temperatura do solo, bem como ao fornecimento de matéria orgânica pela cobertura morta.

Tabela 11. Número de morfoespécies de Minhocas (Lumb), Enquitreídeos (Enchy) e Formigas encontradas nos tratamentos

	Nº de morfoespécies					
	0 a 10 cm			10 a 20 cm		
	Lumb	Enchy	Formic	Lumb	Enchy	Formi
AO/SC	3	1	1	1	1	2
AO/CO	1	1	1	1	1	3
AO/CP	1	1	3	1	1	3
AQ/CP	2	1	0	1	1	1
Mata	1	0	0	1	0	1

AO/SC: Adubação orgânica/ sem cobertura, AO/CO: Adubação orgânica/ com cobertura morta de Capim Napier (*Pennisetum purpureum* Shum.), AO/CP: Adubação orgânica/ com cobertura plástica e AQ/CP: Adubação convencional/ com cobertura plástica

No que se refere à riqueza de morfoespécies (tabela 11), não foi encontrada uma diferença significativa entre os tratamentos, devido à grande variabilidade existente entre as parcelas.

4. Produção Vegetal do Sistema

4.1. Fitomassa da Planta de Morango

Todos os tratamentos apresentaram padrões semelhantes para o desenvolvimento da fitomassa das plantas de morango (figura 35), onde se vê um desenvolvimento máximo da parte aérea após o período do pico produtivo, em que maior energia é alocada para a produção de frutos. Entretanto, pode-se notar que no tratamento orgânico com cobertura morta esta cobertura favoreceu o aumento da parte aérea da planta.

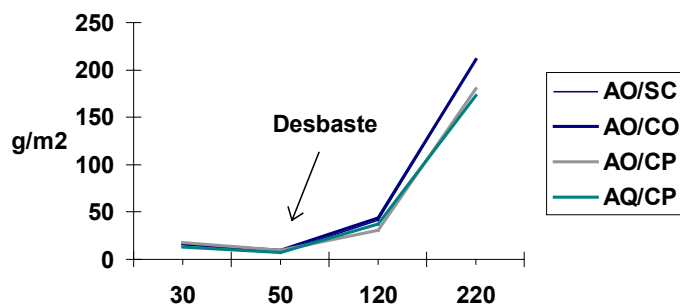


Figura 35. Fitomassa da planta de morango. Onde AO/SC: Adubação orgânica/ sem cobertura, AO/CO: Adubação orgânica/ com cobertura morta de Capim Napier (*Pennisetum purpureum* Shum.), AO/CP: Adubação orgânica/ com cobertura plástica e AQ/CP: Adubação convencional/ com cobertura plástica.

4.2. Fitomassa das plantas invasoras

Na figura 36 são apresentados os dados referentes à fitomassa de plantas invasoras. O tratamento convencional, que, a princípio, mostrou-se mais suscetível às invasoras, com o decorrer do ciclo de cultivo foi o que apresentou menores valores de fitomassa. Neste aspecto, os tratamentos orgânicos mostraram uma dinâmica oposta à do tratamento convencional, tornando-se mais suscetíveis às invasoras com a aproximação do término do ciclo do cultivo.

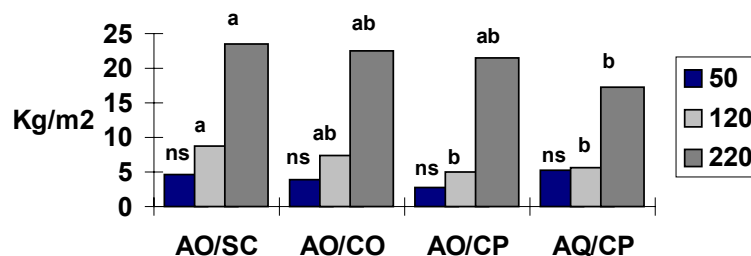


Figura 36. Fitomassa de Invasoras, aos 50, 120 e 220 dias de cultivo. Onde AO/SC: Adubação orgânica/ sem cobertura, AO/CO: Adubação orgânica/ com cobertura morta de Capim Napier (*Pennisetum purpureum* Shum.), AO/CP: Adubação orgânica/ com cobertura plástica e AQ/CP: Adubação convencional/ com cobertura plástica.

4.3. Produção de frutos economicamente viáveis

Os tratamentos com cobertura plástica mostraram-se mais produtivos do que os demais (figura 37), havendo apenas uma diferença de 8% na produtividade média por planta no tratamento orgânico com cobertura plástica, em comparação com o tratamento convencional. Os tratamentos orgânicos sem cobertura e com cobertura morta apresentaram uma perda bastante grande de frutos - produção 61 e 74% menor do que o tratamento convencional, respectivamente), devido às aves e aos insetos terem maior comodidade para deles se alimentarem na ausência do plástico, provocando muitas perdas.

Nesses mesmos tratamentos (AO/SC e AO/CO) foi observada perda de frutos por podridão cinzenta e antracnose, principalmente após o início das chuvas, quando eles permanecem em contato com o solo molhado. Este problema foi mais evidente no tratamento com cobertura morta, sendo que esta representa uma fonte de inóculo para essas doenças.

A maior produção de frutos dos tratamentos com cobertura plástica também pode ser devida às maiores temperaturas e outros tipos de “stresses” a que a planta é submetida quando se utiliza o plástico, induzindo uma maior produção de frutos.

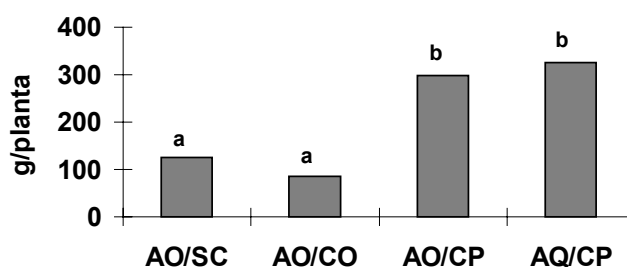


Figura 37. Produção de frutos por planta. Onde AO/SC: Adubação orgânica/ sem cobertura, AO/CO: Adubação orgânica/ com cobertura morta de Capim Napier (*Pennisetum purpureum* Shum.), AO/CP: Adubação orgânica/ com cobertura plástica e AQ/CP: Adubação convencional/ com cobertura plástica.

VI. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A seguir os resultados obtidos nos tratamentos sob cultivo são analisados buscando-se as relações existentes entre os parâmetros avaliados em cada período. Os resultados obtidos na área de mata não foram incluídos nesta análise por possuírem escalas de valores muito discrepantes, quando comparados aos tratamentos sob cultivo, o que não permitiria uma melhor avaliação das diferenças entre os demais tratamentos.

Período Inicial do Cultivo

Neste período inicial os tratamentos diferenciam-se apenas em função da adubação, visto que as coberturas (orgânica e plástica) ainda não haviam sido instaladas. Este momento é caracterizado por uma reduzida estabilidade da estrutura do solo sob cultivo, que apresentou reduzido diâmetro médio ponderado de agregados e baixo percentual de agregados maiores que 2,00 mm, sendo que os tratamentos orgânicos mostraram-se superiores ao tratamento convencional.

Os tratamentos orgânicos mostraram-se ainda superiores ao tratamento convencional nos valores absolutos e relativos de C microbiano. O tratamento convencional, por sua vez, mostrou-se superior aos demais nos teores de fósforo, potássio, enxofre e C orgânico.

A figura 38A relaciona as variáveis avaliadas no momento do plantio. O eixo 1 (horizontal) é responsável por 54,6% da variância total e reflete a biomassa microbiana na primeira camada do solo (0 a 10 cm) e os parâmetros diretamente relacionados a ela, em oposição aos altos teores de nutrientes. Na figura 38B estão representados os tratamentos em função dos parâmetros apresentados na figura 38A, onde se pode notar que o tratamento convencional está localizado em posição correspondente àquela dos maiores teores de nutrientes, enquanto que os

demais tratamentos estão em oposição a ele, respondendo aos maiores teores de biomassa microbiana.

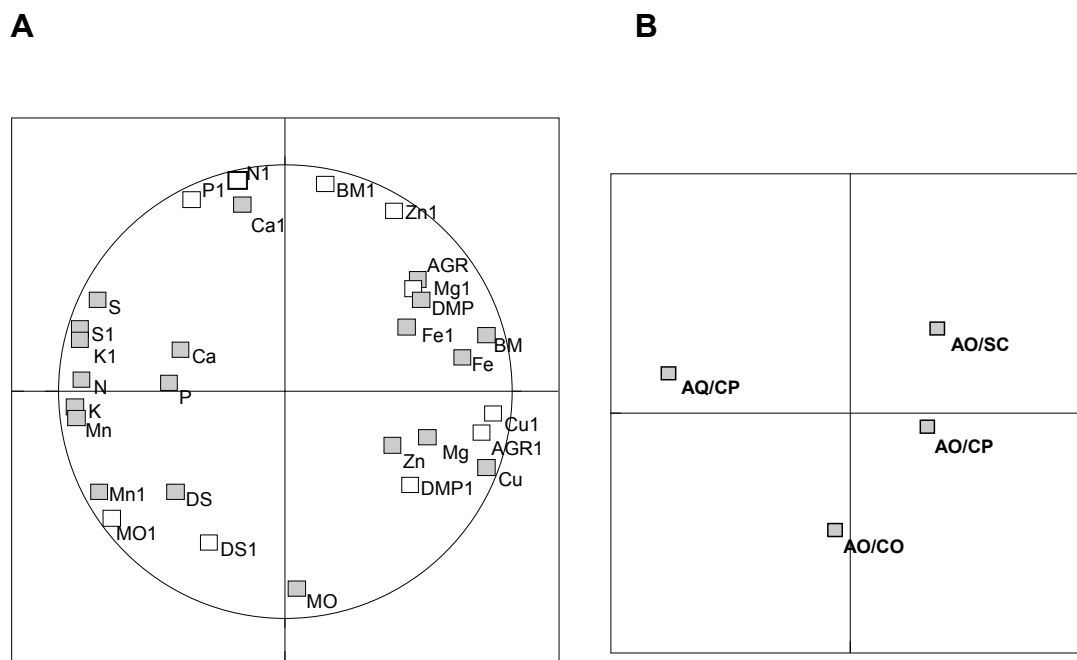


Figura 38. Caracterização das relações existentes entre as variáveis no período inicial de cultivo. Onde: N _ nitrogênio; MO _ C orgânico; Ca _ cálcio; Mg _ magnésio; K _ potássio; Fe _ ferro; Zn _ Zinco; Cu _ cobre; P _ fósforo; S _ enxofre; Mn _ Manganês; DS _ densidade do solo; AGR_ % de agregados maiores que 2,00 mm; DMP_ diâmetro médio ponderado dos agregados; BM_ biomassa microbiana; AO/SC_ adubo orgânico sem cobertura; AO/CO_ adubação orgânica com cobertura orgânica; AO/CP_ adubação orgânica com cobertura plástica; AQ/CP_ adubação química com cobertura plástica; 1_ referente a camada entre 10 a 20 cm.

Encontram-se relacionados à biomassa microbiana o diâmetro médio ponderado de agregados, os agregados maiores que 2 mm e o teor mais alto de determinados nutrientes como o magnésio, ferro, cobre e zinco. Em oposição à biomassa microbiana, diretamente relacionados com o teor de nitrogênio, ligeiramente mais altos da primeira camada do tratamento convencional, encontram-se o fósforo, o cálcio, o manganês, o potássio e o enxofre.

Estes resultados indicam que o aumento do C microbiano, devido à adubação orgânica, levou ao aumento da estabilidade de agregados. ANWARZAY et al. (1990) afirmam que solos adubados organicamente possuem biomassa microbiana maior e mais ativa do que solos adubados com fertilizantes químicos. LYNCH & BRAGG (1985) afirmam que a incorporação de resíduos orgânicos ao solo fornece o substrato necessário para ativação da biomassa microbiana, que passa a produzir polissacarídeos, que são reconhecidamente poderosos agentes cimentantes.

Estes resultados confirmam ainda aqueles encontrados por DRURY et al. (1991), que observaram haver uma forte relação entre o C microbiano e a estabilidade dos agregados, em um experimento onde, durante os 3 anos de cultivo de capim, foram encontrados altos valores de biomassa microbiana e grande estabilidade dos agregados, e nos 3 anos subsequentes, durante o cultivo de milho e soja, os valores de ambos os parâmetros avaliados baixaram de forma significativa.

O eixo 2 (vertical) é responsável por 25,5 % da variância total e reflete a oposição da biomassa microbiana à densidade do solo na camada entre 10 e 20 cm. Diretamente relacionados à biomassa estão o nitrogênio, o fósforo, o cálcio e o zinco. Possivelmente, a maior disponibilidade de matéria orgânica nessa camada, oriunda das raízes da vegetação anterior, levam a uma resposta mais rápida da biomassa microbiana à adição de fertilizante químico do tratamento convencional. INSAN et al. (1991) confirmam esses resultados, afirmando haver um efeito mais pronunciado da adubação química em solos pobres em nutrientes, quando essa adubação estava aliada a um maior conteúdo de matéria orgânica.

O carbono orgânico encontra-se, em ambos os eixos, em oposição à biomassa. Entretanto, o C orgânico avaliado neste período reflete não apenas o estoque existente anteriormente, bem como aquele adicionado com a fertilização

recebida pelo tratamento convencional, que aliou fontes inorgânicas ao esterco de frango.

Aos Trinta Dias de Cultivo

No segundo período de amostragem (30 dias após o plantio) os tratamentos seguem sem as coberturas (orgânica e plástica), diferenciando-se, portanto, apenas com relação à adubação. Foram caracterizados, a partir desse momento, outros parâmetros biológicos do solo, como o comprimento e biomassa de raízes e a infecção por fungos micorrízicos.

Caracteriza este período do experimento o forte aumento da biomassa microbiana (valores absolutos e relativos) no tratamento convencional, aliado a uma ligeira redução do C orgânico e a um maior comprimento de raízes. Este tratamento apresenta ainda índices mais altos de fósforo, potássio, cálcio e enxofre, muito embora os níveis desses nutrientes tenham se apresentado menores do que aqueles apresentados no período anterior.

Os tratamentos orgânicos, ainda que revelem valores absolutos de biomassa bastante próximos ao do tratamento convencional, apresentam valores relativos da contribuição do C microbiano no C orgânico do solo bastante inferiores àqueles apresentados pelo tratamento convencional. Estes tratamentos apresentam ainda valores mais altos de biomassa de raízes, maior percentual de infecção por fungos micorrízicos e índices mais elevados de magnésio, cobre e zinco.

Na figura 39A encontram-se relacionadas as variáveis analisadas nesse período do cultivo. O eixo 1(horizantal) é responsável por 61% da variância e reflete o comportamento de parâmetros biológicos como a biomassa de raízes e percentual de infecção por fungos micorrízicos, em oposição aos altos níveis da biomassa microbiana, comprimento de raízes e altos teores de nutrientes .

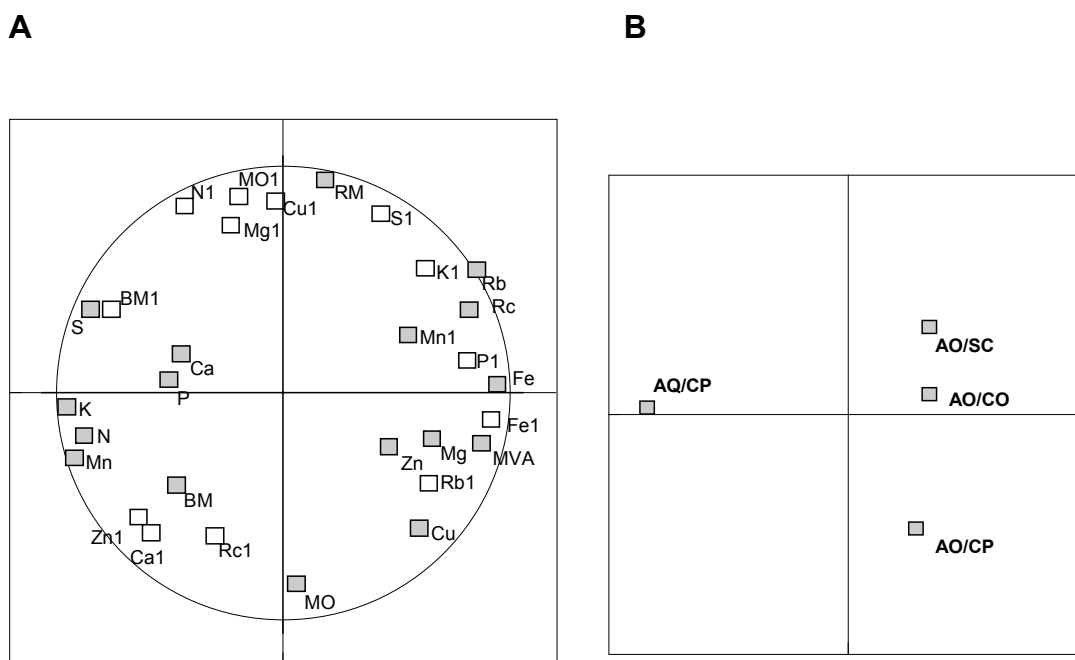


Figura 39. Caracterização das relações existentes entre as variáveis aos 30 dias de cultivo. Onde: N _ nitrogênio; MO _ C orgânico; Ca _ cálcio; Mg _ magnésio; K _ potássio; Fe _ ferro; Zn _ Zinco; Cu _ cobre; P _ fósforo; S _ enxofre; Mn _ Manganês; Rc _ comprimento de raízes do sistema; Rb _ biomassa de raízes do sistema; BM _ biomassa microbiana; MVA _ % de infecção por fungos micorrízicos; RM _ raízes de morango; AO/SC _ adubo orgânico sem cobertura; AO/CO _ adubação orgânica com cobertura orgânica; AO/CP _ adubação orgânica com cobertura plástica; AQ/CP _ adubação química com cobertura plástica; 1 _ referente a camada entre 10 a 20 cm.

Estes resultados apontam as formas de atuação dos diferentes tipos de insumos adotados (orgânico e químico) sobre as variáveis biológicas do solo. De acordo com FAUCI & DICK (1994), as adições inorgânicas de N no solo não têm um efeito direto significativo sobre o C microbiano em um curto prazo. Entretanto, estes insumos químicos estimulam o crescimento em comprimento das raízes e, conforme INSAN et al. (1991), estimulam de forma indireta a biomassa microbiana, pelo do aumento de exudatos radiculares. Portanto, os insumos químicos estimularam o crescimento de raízes no tratamento convencional e, em consequência, houve um aumento dos exudatos radiculares e da biomassa microbiana.

Em função do aumento da biomassa microbiana nos tratamentos sob cultivo, e principalmente no tratamento convencional, pode se notar uma redução no teor de C orgânico. Nos solos sob cultivo a biomassa microbiana processa mais rapidamente a matéria orgânica disponível, alterando a reserva de C orgânico existente no solo (WOOMER et al., 1994).

THENG et al. (1989) afirmam que raramente o estoque de C vivo raramente ultrapassa 4% do C orgânico do solo. Entretanto, no tratamento convencional esta reserva chegou a 4,25%, indicando um valor bastante alto para uma área cultivada. Este aumento, segundo DUXBURY et al. (1989), tem fundamental relevância na ciclagem de nutrientes que foram disponibilizados pela mineralização, e então imobilizados pelos próprios microorganismos, evitando maiores perdas por lixiviação. Portanto, parte dos nutrientes liberados no intervalo de tempo entre o período avaliado na amostragem anterior e este foram preservados da lixiviação, devido à imobilização na biomassa microbiana.

A simbiose com fungos micorrízicos é outro importante aspecto, que possui efeito determinante sobre a ciclagem de nutrientes (LAVELLE et al., 1993). Neste período de amostragem a taxa de infecção por fungos micorrízicos mostrou-se superior nos tratamentos orgânicos, confirmando os resultados obtidos por KURLE & PFLEGER (1994), que encontraram maior população de esporos e infecção por fungos micorrízicos em áreas que receberam poucos insumos ou apenas insumos orgânicos.

O percentual de infecção por fungos micorrízicos encontra-se ainda, neste período relacionado à maior biomassa de raízes nos tratamentos orgânicos, em ambas as camadas superficiais estudadas (0 a 10 e 10 a 20 cm). Entretanto, no tratamento orgânico com cobertura plástica essa relação acontece de forma mais nítida na camada entre 10 e 20 cm.

A figura 39B apresenta o posicionamento dos tratamentos em função das variáveis analisadas anteriormente, e distingue de forma bastante nítida o relacionamento do tratamento convencional à maior biomassa microbiana e aos maiores teores de nutrientes.

O eixo 2 (vertical) explica 23% do total da variância apresentada e reflete a dinâmica da matéria orgânica exógena, adicionada recentemente ao sistema, na camada superior, em oposição à matéria orgânica do próprio sistema dominante, na camada entre 10 e 20 cm. Aliada à matéria orgânica na camada entre 10 e 20 centímetros, está a biomassa de raízes de morango e teores de magnésio, nitrogênio, cobre e enxofre. A adubação orgânica é considerada a base fundamental para o sucesso da cultura do morangueiro, sendo de extrema importância a qualidade e quantidade da matéria orgânica disponível (ALBREGTS & HOWARD, 1981).

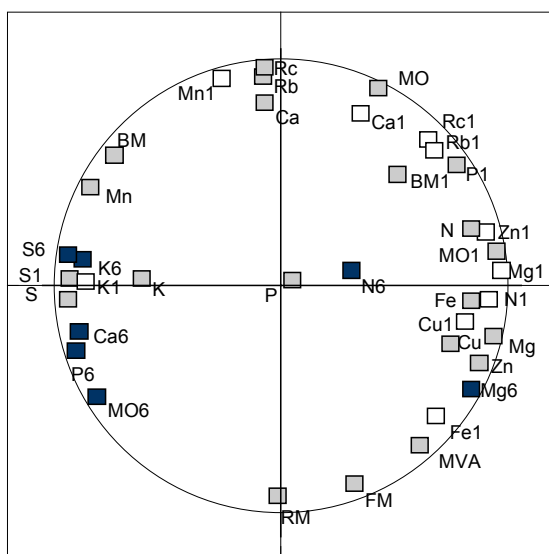
Aos Cinquenta Dias de Cultivo

A partir dos 50 dias após o plantio (figura 40) os tratamentos orgânicos passam a diferenciar-se em função da instalação das coberturas plástica e morta, permanecendo um dos tratamentos sem cobertura. Neste período os níveis de nutrientes do tratamento convencional apresenta-se bastante semelhante aos dos demais tratamentos, sendo este apenas levemente superior.

Na Análise de Componentes Principais (ACP), representativa deste período (figura 40 A), o eixo 1 (horizontal) explica 63,6% da variabilidade ocorrida e reflete a oposição dos maiores teores de nutrientes perdidos para a camada de 60 cm, onde o tratamento convencional apresenta os maiores valores de perdas fósforo (P6), potássio (K6) e Ca (Ca6), enquanto que os tratamentos orgânicos apenas neste momento começam a liberar nutrientes para o ambiente, apresentando maiores teores de cálcio (Ca), fósforo (P), nitrogênio (N) nas camadas de 0 a 10 cm e de 10 a 20 cm.

Observa-se também, ligada aos tratamentos orgânicos, a indicação de perdas de nitrogênio (N6). No tratamento convencional a perda de N (N6) possivelmente ocorreu anteriormente, visto que as ACPs dos períodos anteriores mostram que a concentração de N neste tratamento mostrava-se bem mais acentuada no momento do plantio.

A



B

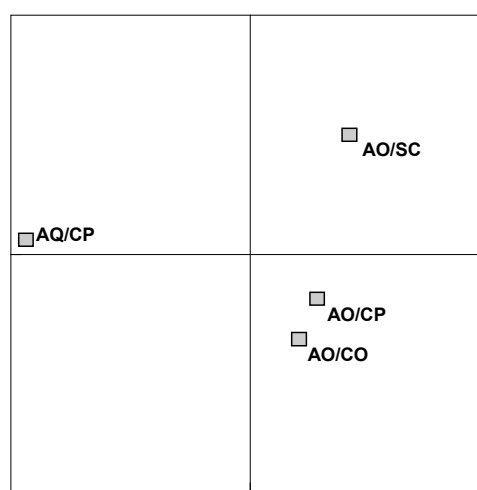


Figura 40. Caracterização das relações existentes entre as variáveis aos 50 dias de cultivo. Onde: N _ nitrogênio; MO _ C orgânico; Ca _ cálcio; Mg _ magnésio; K _ potássio; Fe _ ferro; Zn _ Zinco; Cu _ cobre; P _ fósforo; S _ enxofre; Mn _ Manganês; Rc _ comprimento de raízes do sistema; Rb _ biomassa de raízes do sistema; BM _ biomassa microbiana; MVA _ % de infecção por fungos micorrízicos; FM _ fitomassa de morango; RM _ raiz de morango; AO/SC _ adubo orgânico sem cobertura; AO/CO _ adubação orgânica com cobertura orgânica; AO/CP _ adubação orgânica com cobertura plástica; AQ/CP _ adubação química com cobertura plástica; 1_ referente a camada entre 10 a 20 cm; 6_ referente a 60 cm de profundidade.

Ainda em oposição às perdas apresentadas pelo tratamento convencional, encontra-se a matéria orgânica, a biomassa e o comprimento de raízes e a biomassa microbiana na camada entre 10 e 20 cm. WANDER et al. (1994) classificam a matéria orgânica ativa como uma mescla de material morto e material vivo, sendo que o balanço entre a decomposição e a sua renovação são

um grande reservatório de nutrientes, responsáveis pela manutenção dos níveis de C orgânico no solo. Neste trabalho o reservatório ativo da matéria orgânica presente na camada entre 10 e 20 cm atua regulando a ciclagem dos nutrientes, visto que sofre, de forma mais amena, a influência da adubação adicionada a cada um dos tratamentos.

O eixo 2 (vertical) explica 23,4% da variabilidade e reflete a oposição das raízes do sistema, como um todo, na camada superficial, biomassa e comprimento, à fitomassa aérea e de raízes da planta de morango. Essa oposição indica haver um processo competitivo entre as plantas invasoras e as plantas de morango, que, por sua vez, têm seu aumento de fitomassa aérea e de raízes relacionados ao aumento da infecção por fungos micorrízicos nos tratamentos orgânicos.

Esses resultados são confirmados por SATTELMACHER et al. (1991) e por DOUDS et al. (1993), que afirmam haver maior população de esporos e maior colonização por fungos micorrízicos em cultivos onde são adicionados poucos insumos. NOYOD et al. (1996) acrescentam que solos adubados organicamente apresentaram aumento no inóculo de fungos micorrízicos e no número de esporos quando comparados a solos adubados de forma convencional.

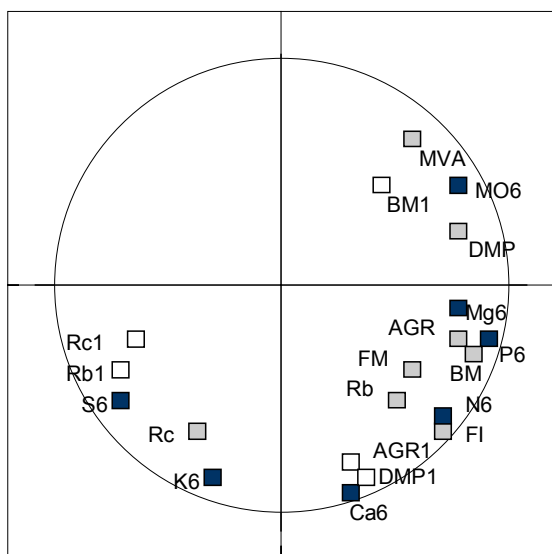
A figura 40 B confirma aquela apresentada aos 30 dias do plantio, cujos tratamentos orgânicos seguem em oposição ao tratamento químico. Esta oposição neste período é determinada pelas perdas de nutrientes.

Aos Cento e Vinte Dias de Cultivo

Aos 120 dias de cultivo, momento representado nas figuras 41A e 41B, são nítidas as diferenças entre os tratamentos, em consequência da adoção das diferentes coberturas (plástico preto e cobertura morta). Os tratamentos orgânicos apresentam neste período maiores valores de biomassa microbiana, maior

percentual de infecção por fungos micorrízicos, maior percentual de agregados maiores que 2mm e maior diâmetro médio ponderado. Apresentam também maiores índices de perdas de alguns nutrientes, principalmente no que se refere ao tratamento orgânico sem cobertura, devido ao início do período chuvoso.

A



B

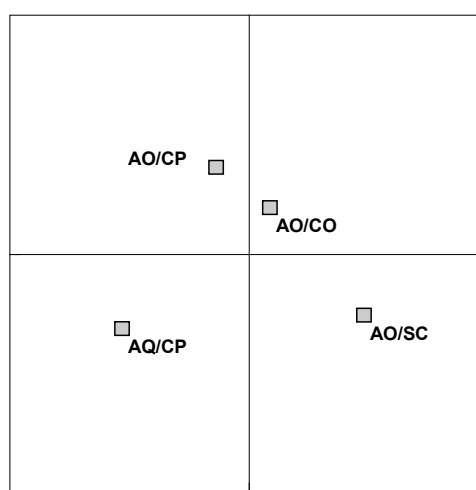


Figura 41. Caracterização das relações existentes entre as variáveis aos 120 dias de cultivo. Onde: N _ nitrogênio; MO _ C orgânico; Ca _ cálcio; Mg _ magnésio; K _ potássio; Fe _ ferro; Zn _ Zinco; Cu _ cobre; P _ fósforo; S _ enxofre; Mn _ Manganês; AGR_ % de agregados maiores que 2,00 mm; DMP_ diâmetro médio ponderado dos agregados; Rc _ comprimento de raízes do sistema; Rb_ biomassa de raízes do sistema; BM_ biomassa microbiana; MVA_ % de infecção por fungos micorrízicos; FM_ fitomassa de morango; RM _ raiz de morango; AO/SC_ adubo orgânico sem cobertura; AO/CO_ adubação orgânica com cobertura orgânica; AO/CP_ adubação orgânica com cobertura plástica; AQ/CP_ adubação química com cobertura plástica; 1_ referente a camada entre 10 a 20 cm; 6_ referente a 60 cm de profundidade.

Nota-se ainda neste período que a dinâmica da biomassa de raízes, na camada superior, passa a ter um comportamento diferenciado da dinâmica do comprimento, onde o segundo passa a apresentar um crescimento em maiores proporções que o primeiro, indicando o surgimento de raízes de menor diâmetro com o início do período chuvoso, principalmente no tratamento convencional.

Entretanto HAYNES & FRANCIS (1993) e PERFECT et al. (1990) afirmam que esta dinâmica está mais relacionada com as características da planta do que com características ambientais.

O eixo 1 (horizontal) da figura 41 A explica 55,12% da variabilidade encontrada e reflete à maior estabilidade estrutural, diretamente ligada aos agregados maiores que 2,00 mm, a maior biomassa microbiana, à maior fitomassa e a maior biomassa de raízes presentes no tratamento orgânico sem cobertura (figura 41B). Também neste tratamento, e associadas aos fatores anteriormente citados, estão os maiores índices de perda de magnésio e fósforo.

WHIPPS (1990) afirma que a biomassa de raízes está mais relacionada ao C orgânico do solo que o comprimento de raízes. Devido a este incremento em C no solo, ocorre um aumento da biomassa microbiana no ambiente próximo às raízes, aumentando também os polissacarídeos produzidos pelas próprias raízes e pela atividade microbiana, resultando uma maior estabilidade estrutural do solo (LYNCH & BRAGG, 1985).

O quadrante direito superior da figura 41 A indica a relação existente entre a biomassa microbiana na camada entre 10 e 20 cm, o percentual de infecção por fungos micorrízicos e o diâmetro médio ponderado dos agregados. HAYNES & FRANCIS (1993) destacam a importância da simbiose com fungos micorrízicos na formação de um suporte tridimensional que aglutina finas partículas de solo dentro dos agregados, aumentando a estabilidade. O eixo 2 explica 26,3% da variabilidade restante e reflete as maiores perdas de potássio e cálcio, também no tratamento orgânico sem cobertura.

Aos Duzentos e Vinte Dias de Cultivo

Nos 220 dias após o início do cultivo (figuras 42A e 42B) foram também avaliados parâmetros referentes à macrofauna do solo (número de indivíduos - InM, número de indivíduos de Enchytreidae – Enchy, número de indivíduos de minhoca – M e total de morfoespécies encontradas - SP) e produção de frutos.

O eixo1 (horizontal, figura 42A), explicando 56,9% da variabilidade total, é determinado pelos parâmetros ligados à macrofauna, tais como: número de enchytreidae, número total de indivíduos da macrofauna, total de morfoespécies encontradas e número de minhocas. Estes parâmetros encontram-se diretamente relacionados a outros parâmetros biológicos e de produção do sistema, tais como: a biomassa microbiana (BM), a matéria orgânica (MO), a biomassa de raízes de morango, a biomassa e comprimento de raízes do sistema e a fitomassa de invasoras. LAVELLE (1996) destaca que a atividade dos invertebrados do solo possui efeito significativo sobre a dinâmica da matéria orgânica, sobre a organização da estrutura do solo e sobre o crescimento das plantas.

FAVRETTO et al. (1992), comparando solos cultivados com cobertura verde e solos sem cobertura, encontraram maior biomassa da fauna do solo nos solos com cobertura morta, devida à maior entrada de matéria orgânica no sistema, tanto oriunda da superfície como das raízes.

Estas relações encontradas no eixo 1 indicam haver uma forte ligação entre as reservas de matéria orgânica lábil e tempo de decomposição intermediário que estão intimamente ligados à macrofauna nos tratamentos que receberam adubação orgânica. BRUSAARD et al. (1997) confirmam os resultados obtidos, atribuindo à macrofauna papel de destaque em inúmeras funções vitais do solo, como na decomposição da matéria orgânica, na ciclagem de nutrientes e na transformação da estrutura do solo.

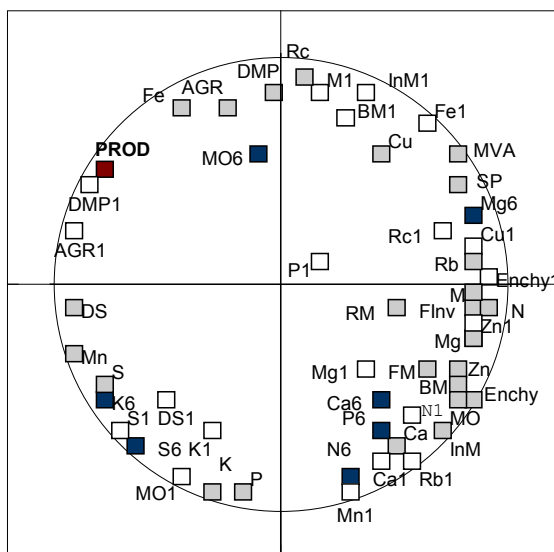
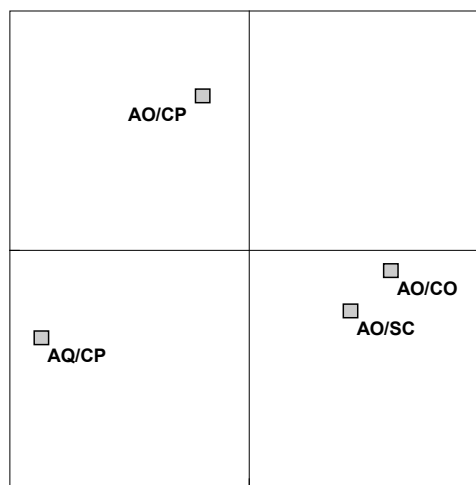
A**B**

Figura 42. Caracterização das relações existentes entre as variáveis aos 220 dias após o cultivo. Onde: N _ nitrogênio; MO _ C orgânico; Ca _ cálcio; Mg _ magnésio; K _ potássio; Fe_ ferro; Zn _ Zinco; Cu _ cobre; P_ fósforo; S _ enxofre; Mn_ Manganês; AGR_ % de agregados maiores que 2,00 mm; DMP_ diâmetro médio ponderado dos agregados; Rc _ comprimento de raízes do sistema; Rb_ biomassa de raízes do sistema; BM_ biomassa microbiana; MVA_ % de infecção por fungos micorrízicos; FM_ fitomassa de morango; RM _ raiz de morango; InM_ número de indivíduos; Enchy_ número de indivíduos de Enchytreidae; M_ número de indivíduos de minhoca; SP_ total de morfoespécies encontradas; AO/SC_ adubo orgânico sem cobertura; AO/CO_ adubação orgânica com cobertura orgânica; AO/CP_ adubação orgânica com cobertura plástica; AQ/CP_ adubação química com cobertura plástica; 1_ referente a camada entre 10 a 20 cm; 6_ referente a 60 cm de profundidade.

Dentre os indivíduos da macrofauna identificados, a família dos Enchytreidae surgem como possíveis indicadores da estado geral do solo, estando diretamente ligados as reservas de matéria orgânica do solo e do sistema como um todo (fitomassa de invasoras e de morangos), sendo menos abundantes no tratamento convencional. GRAEFE (1993) encontrou resultados semelhantes, ressaltando haver solos que se tornam inabitáveis para determinadas comunidades de Enchytreidae.

VAN VLIET et al. (1995) destaca a grande importância das enquitreídeas para a estrutura do solo e para a ciclagem de nutrientes, tendo encontrado forte relação entre a sua densidade, o teor de C orgânico do solo e a biomassa microbiana. O eixo 2, explicando 28,7% da variabilidade total, confirma as relações existentes entre a macrofauna e o C microbiano, e a influência de ambos sobre a estrutura do solo.

LAVELLE (1996) classifica um grupo da macrofauna como engenheiros do ecossistema. Caracteriza estes invertebrados (minhocas, cupins e formigas) como extremamente hábeis para a produção de estruturas organo-minerais, agregados de grande resistência e uma grande variedade de poros, além de estabelecerem simbioses com microorganismos, quebrando a dormência da comunidade microbiana.

As perdas de nutrientes, também relacionadas a este eixo, referem-se principalmente ao tratamento sem cobertura, o que destaca a ação das coberturas como uma forma de impedir uma maior taxa de percolação e, conseqüente, aumento da lixiviação com o início das chuvas.

No tratamento com cobertura orgânica ocorre um aumento no tempo de ciclagem de nutrientes, devido à introdução de um material orgânico de alta relação C/N, reduzindo a mineralização e permitindo a maior liberação de nutrientes a partir dos 50 dias de cultivo. Dessa forma, a lixiviação de nutrientes passou a acontecer de forma mais intensa no momento posterior ao pico produtivo da planta. WOOMER et al. (1994) afirmam que a adição de resíduos com uma alta relação lignina/N, pobre em nutrientes e/ou com alto teor de polifenol, resulta em um material quimicamente recalcitrante, que leva a uma decomposição mais lenta e a uma imobilização de nutrientes do solo na biomassa microbiana. Esses

nutrientes, apesar de estarem em uma reserva muito lábil de matéria orgânica, estão protegidos da lixiviação devido à imobilização (DUXBURY et al. 1989).

A preservação desses nutrientes no solo, de uma forma lábil, permitiu que eles fossem mais bem utilizados pelas plantas de morango, que, de acordo com vários autores (SOUZA et al., 1977; MORARD & LACROIX-RAYNAL, 1989), têm seu período de maior absorção de nutrientes no início da sua floração.

A produção de frutos no tratamento orgânico com cobertura plástica não diferiu estatisticamente daquela do tratamento convencional, embora ambas estivessem abaixo da média de 800 g/planta mencionada por PASSOS et al. (1995); provavelmente isto esteja relacionado à não utilização do controle químico de pragas e doenças no experimento.

É importante salientar que, nessa análise de componentes principais, a produção faz com que os tratamentos de maior produção (aqueles com cobertura plástica), que possuem características muito diversas, estejam opostos aos demais tratamentos (orgânico com cobertura orgânica e orgânico sem cobertura). Entretanto, é possível observar que existe uma relação da produção com parâmetros da estrutura do solo (diâmetro médio ponderado de agregados e agregados maiores que 2,00mm).

DRINKWATER et al. (1995) e VAN BRUGGEN (1995), comparando um cultivo orgânico de tomate a um cultivo convencional, encontraram produções semelhantes. Entretanto, relataram haver nítidas diferenças nos processos ecológicos do solo, determinantes da produção, principalmente na mineralização potencial de N, na biomassa microbiana e na diversidade da macrofauna, que demonstraram ser maiores no cultivo orgânico.

A maior intensidade dos mecanismos biológicos do solo, encontrada nos cultivos orgânicos pelos autores citados, e também neste trabalho, sugerem que estes mecanismos, inibidos no cultivo convencional, desde que reativados por insumos corretos substituem plenamente os adubos químicos, visto que a redução na produção é de apenas 8%. LEE & PANKHURST (1992) concluíram que a adoção de tecnologias e práticas de manejo que preservem os mecanismos biológicos e a biodiversidade do solo podem promover grandes benefícios no que se refere à sua sustentabilidade, como recurso natural a longo prazo.

VII. ENSAIO DE DECOMPOSIÇÃO

Este ensaio teve como objetivo avaliar as taxas de decomposição do material orgânico adicionado ao solo e, assim, obter um indicativo da dinâmica de ciclagem de nutrientes nos ambientes testados (agroecossistema e no ecossistema natural), bem como as alterações do solo resultantes do material adicionado. Entre os tratamentos sob cultivo, aquele sem cobertura (AO/SC) foi tomado como testemunha para avaliação das alterações sofridas a partir do tratamento com cobertura morta (AO/CO).

De acordo com DAY (1982), o processo de decomposição reflete tanto as características do material orgânico adicionado ao solo, como as características do meio onde esse material foi adicionado. Destaca como características do solo determinantes da decomposição, o pH, a disponibilidade de nutrientes e a atividade biológica (microorganismos e fauna do solo).

Observando a figura 43, nota-se que inicialmente houve uma grande perda de peso do material em decomposição, e, em seguida, o ritmo de perda torna-se bem mais lento na mata, estabilizando-se no tratamento sob cultivo.

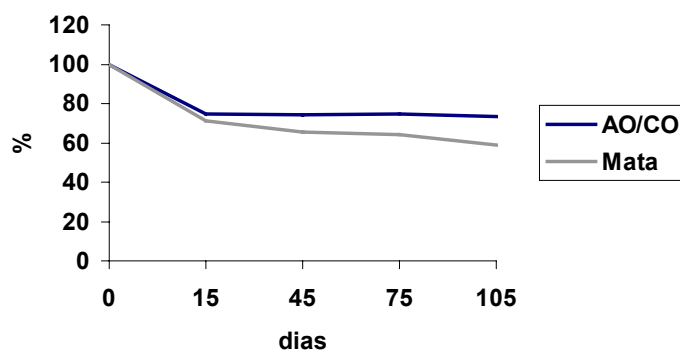


Figura 43. Biomassa remanescente do capim napier (*Pennisetum purpureum* Shum.).

Este fato possivelmente está relacionado à maior disponibilidade do nitrogênio (N) no solo da mata, quando comparado ao do solo do experimento. Outra possível explicação para este fato é a diferença nas comunidades microbianas e da macrofauna entre os dois ambientes, mata e agroecossistemas. As áreas de matas tendem a uma maior quantidade de fungos celulolíticos e a uma maior diversidade de grupos funcionais de invertebrados do que os agroecossistemas, permitindo um continuado processo de decomposição.

Nos gráficos que se seguem pode-se observar que a decomposição da lignina (figura 44) e da celulose (figura 45) ocorre de forma mais acentuada no solo cultivado do que no solo sob mata, ainda que as curvas de ambos os ecossistemas apresentem traçados similares.

A taxa de decomposição da serrapilheira é fortemente influenciada por inúmeros fatores, dentre os quais a qualidade do material depositado sobre o solo,

a temperatura, a umidade, a natureza dos microorganismos e da fauna do solo ativa no processo (MELILLO et al. 1982)

WARDLE & LAVELLE (1997) sugerem que a composição das espécies de fungos da liteira está entre os principais responsáveis pelas mudanças ocorridas no material em decomposição, e mencionam a hipótese de sucessão de espécies de fungos proposta por Garrete (1963), em que os fungos decompositores de açúcares são seguidos por aqueles decompositores de celulose e lignina, dando-se assim, as mudanças encontradas na liteira. Mesmo admitindo que é sabido, atualmente, que o mecanismo de sucessão das espécies fúngicas é bem mais complexo do que o proposto por Garrete, é apontada aqui a grande importância da composição da microflora do solo no momento da disponibilização do material a ser decomposto.

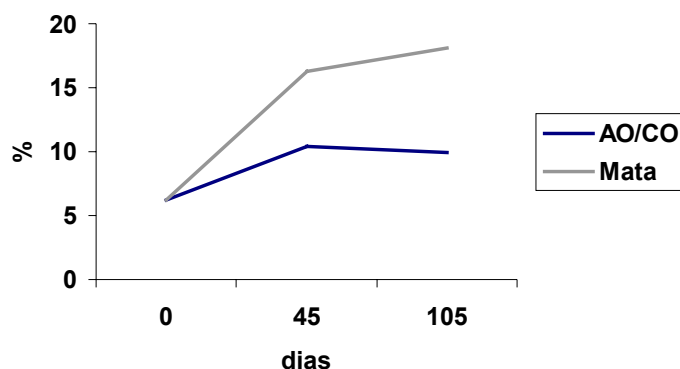


Figura 44. Lignina remanescente ao longo do tempo no material em decomposição onde AO/CO: adubação orgânica/ cobertura orgânica.

Observando a figura 44, é possível notar que a área de mata possui uma tendência mais acentuada à concentração da lignina do que a área cultivada, durante o processo de decomposição. Como consequência, observa-se, na figura 45, uma degradação mais acelerada da celulose na área cultivada.

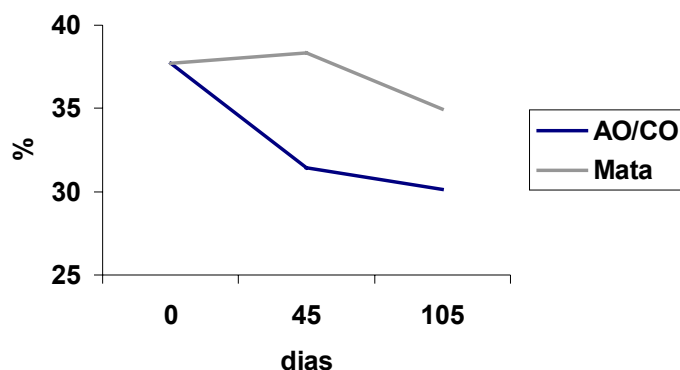


Figura 45. Celulose remanescente ao longo do tempo no material em decomposição, onde AO/CO: adubação orgânica/ cobertura orgânica.

Devido à alta relação C/N (61,58), o material disponibilizado apresenta uma decomposição lenta, que se reflete na perda de massa e na constante de decomposição (K). Na tabela 18 são apresentados os resultados referentes à perda de massa e à constante de decomposição (K), no período de 105 dias em que foi avaliado o processo de decomposição, no ecossistema cultivado e no ecossistema natural.

O valor de K (tabela 12) do material testado é negativo em ambos os ambientes testados. De acordo com TIAN et al. (1992), valores negativos de K indicam imobilização de N. A mata apresenta um maior valor de K e, conseqüentemente, a fração remanescente do material orgânico adicionado é menor, refletindo um ritmo de decomposição mais acelerado do que o do agroecossistema e, portanto, um maior ritmo na ciclagem de nutrientes.

Tabela 12. Taxas de decomposição baseadas no modelo exponencial

Tratamentos	Fração remanescente após 105 dias		Constante de decomposição ($K \times 10^{-3}$)
	g	%	
AO/CO	34,9	73,3	-1,28
Mata	28,1	59,0	-2,19

onde AO/CO: adubação orgânica/ cobertura orgânica.

Os gráficos a seguir (figuras 46 e 47) apresentam a dinâmica de liberação dos nutrientes da cobertura morta na área de mata e no sistema de cultivo. As diferenças mais marcantes entre os ambientes avaliados são apresentadas nas dinâmicas de liberação do nitrogênio e do cálcio, que na área de mata apresentaram forte imobilização, confirmando haver uma forte relação entre os valores negativos de *K* encontrados e a dinâmica do nitrogênio.

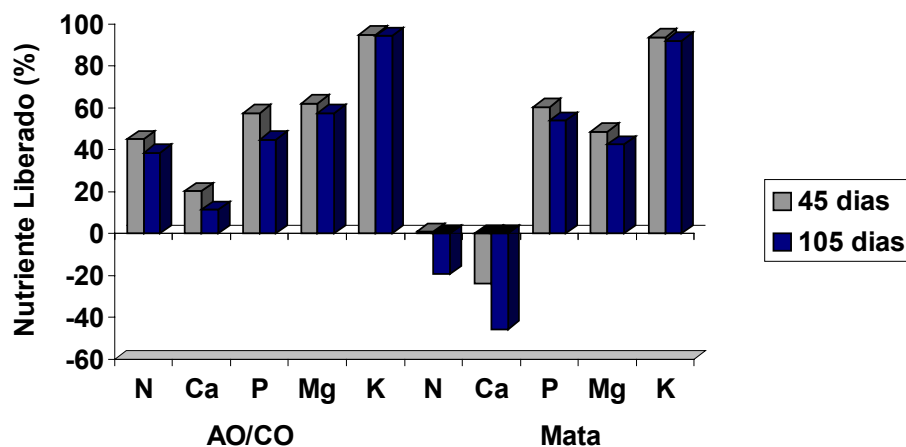


Figura 46. Dinâmica dos nutrientes durante a decomposição do material adicionado ao solo. Onde AO/CO: adubação orgânica sem cobertura.

No primeiro período do ensaio de decomposição (entre 0 e 30 dias) pode se notar que o material depositado sobre o solo cultivado apresenta uma forte redução no percentual de N remanescente, enquanto o material depositado sobre o solo de mata mantém um valor praticamente constante. No período seguinte (entre 30 e 60 dias) o processo de decomposição apresenta um aumento no percentual do N remanescente em ambos os ecossistemas, embora este aumento seja mais nítido na área de mata.

Este fato pode ser explicado em função do maior teor de N apresentado pelo solo da mata. O N oriundo da diversificada liteira existente no ambiente natural permite a manutenção de uma fauna também mais diversa, capaz de liberar o carbono da biomassa vegetal, utilizando-se do N resultante da decomposição da liteira anteriormente existente.

O trabalho de MELILLO et al. (1982) apresenta resultados semelhantes àqueles observados nesse trabalho, mostrando que em solos com maiores teores de N a taxa de decomposição pode passar a ser regulada pelos teores de lignina existentes no material teste. A regulação do processo de decomposição pela lignina dá-se a partir da sua importante influência no processo de degradação enzimática da celulose (ALEXANDER, 1973).

De acordo com TIAN et al. (1992), o conteúdo de N existente no material orgânico tem grande influência sobre a dinâmica de decomposição, e, portanto, muitas vezes é o ritmo de mineralização/imobilização deste nutriente que determina a constante K de decomposição.

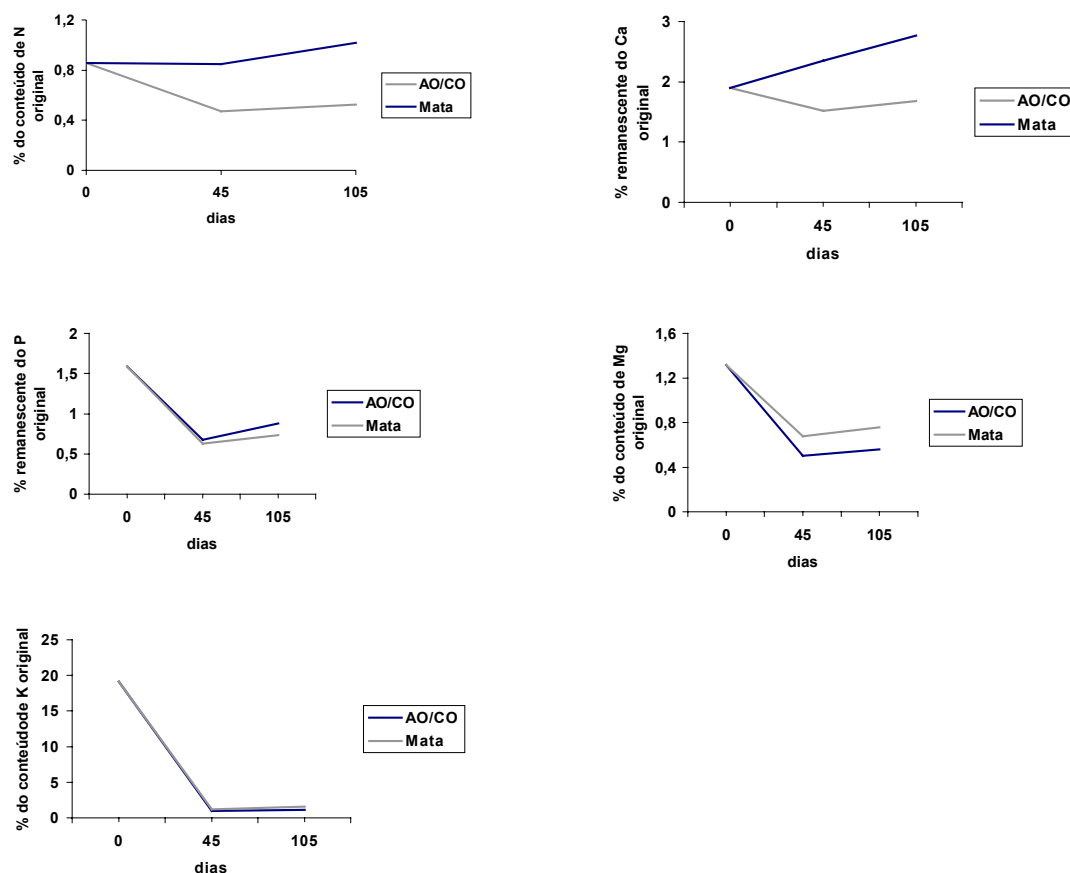


Figura 47. Percentual do conteúdo original dos nutrientes durante o processo de decomposição. Onde AO/CO: adubação orgânica sem cobertura.

As dinâmicas do N e do Ca mostraram-se bastante relacionadas em ambos os sítios testados, sendo os únicos nutrientes que apresentaram dinâmicas distintas em relação aos demais, quando são comparadas a área de mata e a área cultivada. Ambos apresentaram acúmulos bastante acentuados na área de mata, ainda na primeira etapa (0 a 45 dias) da decomposição, indicando imobilização de nutrientes do solo. O coeficiente de correlação entre os conteúdos de N e de Ca durante o período de decomposição avaliado foi significativo (Figura 48).

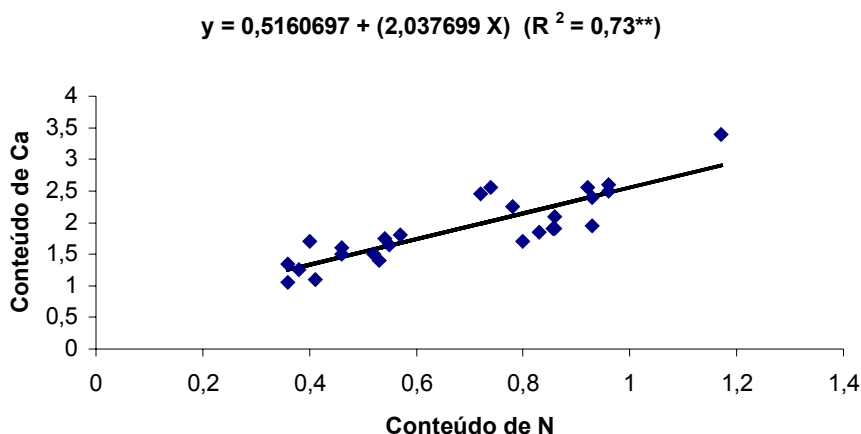


Figura 48. Correlação entre os conteúdos de N e de Ca durante o período de decomposição avaliado, onde X representa os conteúdos de N e Y equivale os conteúdos de Ca, ao longo do processo de decomposição.

Os resultados apresentados nas figuras 47 e 48 encontram-se consonantes com os de TIAN et al. (1992), que também encontraram relação entre Ca e N, em diferentes espécies de plantas testadas.

MELILLO et al. (1982) e MULLER et al. (1988) mostraram haver uma forte relação entre a liberação de N e de lignina em várias espécies vegetais testadas, em que a liberação de N está inversamente relacionada ao com aumento da concentração de lignina. Por ser uma substância recalcitrante, a lignina é muito resistente à decomposição microbiana. Na figura 49 é apresentada a correlação encontrada entre os percentuais de lignina e os de nitrogênio liberados.

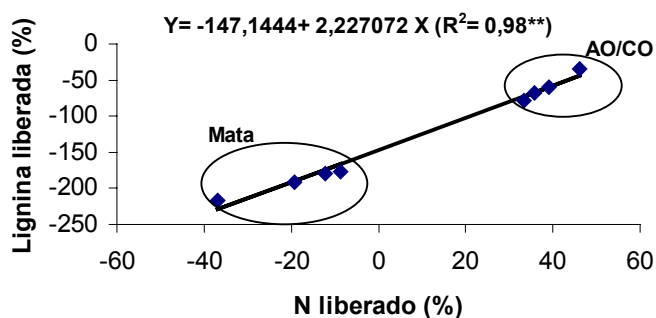


Figura 49. Correlação entre os percentuais de N e lignina liberados durante o período de decomposição, onde X equivale aos percentuais de N liberados e Y aos percentuais de lignina liberados.

As características dos ambientes avaliados, apresentadas na tabela 13, foram relacionadas à constante de decomposição (K), visando à avaliação do efeito do ambiente sobre este processo. Na tabela 14 são apresentados os resultados das correlações, que se mostraram significativas.

Tabela 13. Características do solo em cada um dos sítios testados no momento da instalação do ensaio de decomposição.

onde AO/SC: tratamento testemunha da área de cultivo (adubação orgânica, sem cobertura), AO/CO: tratamento com adubação orgânica que recebeu a cobertura morta.

As características apresentadas abaixo (tabela 14) provavelmente encontram-se relacionadas ao processo de decomposição, a partir da atividade microbiológica e da fauna do solo, determinantes no ritmo da decomposição.

Tabela 14. Regressão em um modelo exponencial relacionando a constante de decomposição (K) as propriedades do solo (PS). Todos os modelos apresentados foram significativos (* = $P < 0,005$)

Propriedades do Solo	$K = a \cdot \exp(b \cdot PS)^*$		R^2
	a	b	
pH	0,010554	- 0,3533271	0,66
P	$2,19506 \times 10^{-3}$	- $2,309117 \times 10^{-3}$	0,62
N	$6,810495 \times 10^{-4}$	- 0,3924035	0,59
Ca	$2,99497 \times 10^{-5}$	- $1,168518 \times 10^{-2}$	0,68
Mg	$2,689713 \times 10^{-3}$	- $2,68874 \times 10^{-2}$	0,54
C microbiano	$1,1053085 \times 10^{-3}$	$1,100168 \times 10^{-3}$	0,48

As relações entre as características do solo e o processo de decomposição tonam-se ainda mais nítidas quando são relacionados o ritmo de liberação de N e de lignina ao N do solo (Figura 50).

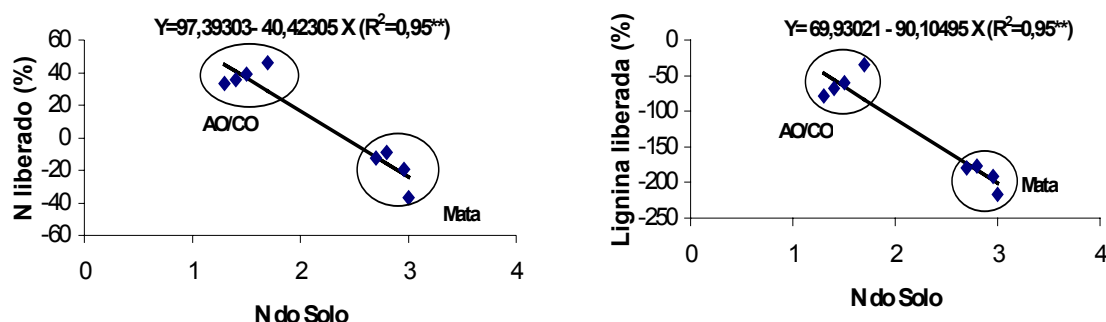


Figura 50. Relação entre os percentuais de N e lignina liberados e o N do solo, onde X equivale ao conteúdo de N do solo e Y aos percentuais de N e lignina liberados (** = $P < 0,001$). Onde AO/CO: adubação orgânica, sem cobertura.

Na tabela 15 são apresentadas as características do solo após o ensaio de decomposição. Estabelecendo uma comparação entre as características do solo que não recebeu a cobertura morta (AO/SC) e aquele que recebeu (AO/CO), é possível observar que a cobertura morta não ocasionou nenhuma alteração significativa nessas características.

Tabela 15. Características do solo em cada um dos sítios testados no momento da final do ensaio de decomposição.

Tratamentos	pH	N _{total} g.Kg ⁻¹	P mg.dm ⁻³	K	Ca	Mg	C _{org} (%)	Agr>2mm (%)	C microbiano µg/g de solo	Raiz m.m ⁻²	Kg.m ⁻²
AO/SC	5.8	1.3	203.7	0.2	6.4	2.2	15.2	16.2	607.9	25.9	0.73
AO/CO	6.0	1.4	172.8	0.2	7.0	2.6	15.6	21.6	458.8	26.6	1.3
Mata	4.3	2.7	41.2	0.3	3.2	1.0	20.4	67.4	862.7	94.3	6.9

onde AO/SC: tratamento testemunha da área de cultivo (adubação orgânica, sem cobertura), AO/CO: tratamento com adubação orgânica que recebeu a cobertura morta.

VIII.MODELO TEÓRICO DA DINÂMICA DA CICLAGEM DOS NUTRIENTES DO SOLO

O modelo proposto no presente trabalho está relacionado à capacidade dos mecanismos de retenção de nutrientes, que nos solos tropicais está fortemente ligada ao processo de decomposição, que é determinado por fatores biológicos (dinâmica da biomassa microbiana, quantidade de raízes) e físicos, que, por sua vez, são dependentes dos primeiros (agregação do solo). Portanto, foi adotada a classificação proposta por DUXBURY et al. (1989), que considera as seguintes reservas de matéria orgânica (MO) do solo:

- biomassa microbiana: reserva mais prontamente disponível, sendo aquela que estabelece trocas mais intensas com o meio e possui um tempo de ciclagem de 2,5 anos em climas temperados;
- matéria orgânica lábil: oriunda de resíduos; sua decomposição está fortemente relacionada ao tipo de resíduo adicionado ao solo, bem como a condições do meio (clima, nutrientes e atividade biológica), conforme indicado no item anterior;
- matéria orgânica fisicamente protegida: encontra-se nos espaços intra e interagregados, dependendo a sua ciclagem do grau do distúrbio da estrutura do solo.

Não foi considerada aqui a matéria orgânica quimicamente protegida, visto que a mesma possui um tempo de ciclagem muito longo, não sendo possível a sua avaliação em um experimento de curta duração.

Para o estudo da dinâmica da ciclagem de nutrientes do solo foi utilizada uma adaptação do modelo proposto por HASSINK & WHITMORE (1997). Neste modelo são consideradas a dinâmica de ciclagem de nutrientes e a capacidade de

proteção da matéria orgânica apresentadas pelo solo, sendo que esta capacidade de proteção está relacionada ao teor de partículas de argila (partículas $< 2\mu\text{m}$).

Na adaptação proposta neste trabalho a matéria orgânica protegida (POM) está relacionada aos agregados maiores que 2mm, e a conversão das entradas de nutrientes está relacionada à CTC, à eficiência de uso dos produtos metabólicos (E) e ao aumento da proteção das entradas de carbono, ou seja, à melhor estruturação do solo. O fluxograma abaixo (Figura 51) descreve o modelo proposto, onde a maior proteção da matéria orgânica e a alta eficiência na utilização das entradas e produtos metabólicos (E) implicam a redução das perdas (a, b e c). A taxa de liberação de nutrientes (Kn) está diretamente relacionada as fontes de nutrientes adotadas, além das condições do clima e químicas do solo. Os fluxos estudados no presente trabalho estão destacados com as setas marrons e verdes, e aqueles fluxos não considerados pelo modelo estão representados por setas brancas.

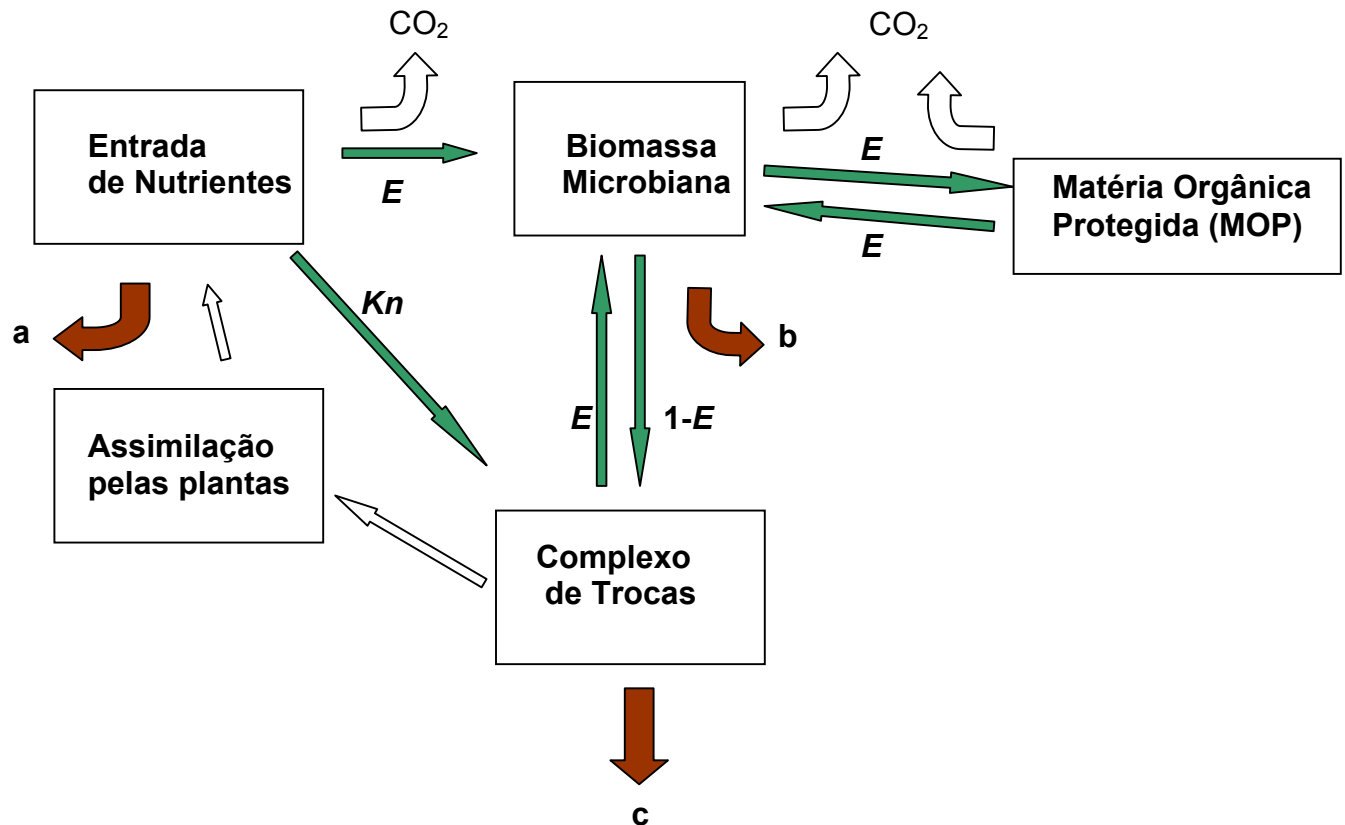


Figura 51. Fluxo de C orgânico representativo do modelo proposto.

A eficiência das entradas e dos produtos metabólicos (E) indica a taxa de formação de novas reservas matéria orgânica, como a biomassa microbiana e a formação de sítios de proteção para a MOP (sítios inter e intra-agregados), que permitem a diminuição das perdas (a, b e c). Esta eficiência depende das fontes de nutrientes adotadas e do manejo, visto que estes têm papel determinante na dinâmica da formação da biomassa e na estruturação do solo.

A partir das medidas realizadas: disponibilidade de nutrientes nas primeiras camadas, biomassa microbiana, agregados maiores que 2mm e perda de nutrientes (a+b+c), foi possível a determinação de equações indicativas das trocas descritas no fluxograma anterior (figura 51) para cada um dos tratamentos. Na tabela 16 são apresentadas as equações representativas das relações entre disponibilidade e perda de nutrientes.

Tabela 16. Relação entre disponibilidade de nutrientes no complexo de trocas e perda (a+b+c), onde Y representa a quantidade do elemento a 60 cm de profundidade e X a quantidade do mesmo elemento entre 0 e 10 cm, sendo $r^{2*} = p < 5\%$.

	$Y = a + bX$			$Y = a + bX + cX^2$			
	a	b	r^{2*}	a	b	c	r^{2*}
$C_{0-10cm} \times C_{60cm}$	14,09274	0,329102	0,31				
$N_{0-10cm} \times N_{60cm}$	0,7512079	0,326618	0,74				
$P_{0-10cm} \times P_{60cm}$				-8,809296	$-1,702882 \times 10^{-2}$	$2,875865 \times 10^{-5}$	0,85
$S_{0-10cm} \times S_{60cm}$	14,36674	0,2376194	0,96				
$K_{0-10cm} \times K_{60cm}$	0,1460164	0,5538361	0,94				
$Mg_{0-10cm} \times Mg_{60cm}$	1,433824	0,4910458	0,85				
$Ca_{0-10cm} \times Ca_{60cm}$	1,573831	0,5299669	0,92				

Pode se notar que a perda de nutrientes está fortemente relacionada à disponibilidade dos mesmos no complexo de troca. Esta relação indica que a metodologia adotada para avaliação de perdas de nutrientes foi bastante efetiva e reforça a idéia adotada no modelo proposto, que indica a biomassa microbiana e os agregados maiores que 2mm como agentes responsáveis pela proteção dos nutrientes do solo.

O carbono orgânico é o nutriente cujo modelo apresenta menor aderência aos dados obtidos, visto que a medida adotada não permite nenhuma inferência

sobre a qualidade do C orgânico englobado nessa medida, fator determinante na dinâmica desse elemento. ELLIOTT & CAMBARDELLA (1991) chamam a atenção para os diferentes reservatórios da matéria orgânica associada à estrutura do solo, que neste trabalho é denominada matéria orgânica protegida.

Na tabela 17 são apresentadas as relações que se mostraram significativas entre o percentual do carbono orgânico representado pela biomassa microbiana (C microbiano x 100/ C orgânico) e o percentual de agregados maiores que 2mm e as perdas estimadas dos nutrientes. Esta relação permite avaliar o potencial da biomassa microbiana e dos agregados maiores que 2mm como mecanismos protetores dos nutrientes introduzidos no sistema.

Tabela 17. Relação entre os mecanismos protetores dos nutrientes (percentual de agregados maiores que 2mm e C microbiano), a disponibilidade de nutrientes na superfície do solo e as perdas de nutrientes estimadas a 60 cm de profundidade, onde () = r^{2*} .

0 – 10 cm (Y)	Agregados >2 mm (X) (%)	C microbiano (X) (% C _{org})
C	$Y = 24,13087 + 0,2314101X$ (0,79)	$Y = 38,67828 - 7,792347X + 1,59850X^2$ (0,44)
N	$Y = 0,878162 + 2,35481 \times 10^{-2}X$ (0,90)	$Y = 1,932961 - 0,4992096X + 0,1190993X^2$ (0,44)
P	$Y = 717,5297 \times \exp(-4,204933 \times 10^{-2}X)$ (0,81)	—
60 cm (Y)		
N	$Y = 1,034573 + (7,771831 \times 10^{-2}X)$ (0,69)	$Y = 1,42514 - 0,198897X + 0,0452378 X^2$ (0,38)
P	$Y = 299,0396 \times \exp(-3,973383 \times 10^{-2}X)$ (0,81)	$Y = 166,4447 - 21,69459X$ (0,27)
S	$Y = 35,09926 \times \exp(-1,670747 \times 10^{-2}X)$ (0,28)	—

Nota-se que o N e o P apresentam forte relação com o C microbiano e o percentual de agregados maiores que 2mm, devido à forte participação desses componentes sob a forma orgânica no solo.

Na tabela 18 foram estabelecidas as relações entre os mecanismos de proteção da matéria orgânica aqui abordados (agregados > 2mm e C microbiano) em cada um dos tratamentos, visto que o ritmo de liberação dos nutrientes para o solo (Kn e E) é função das práticas de cultivo e insumos utilizados e têm grande interferência nos fluxos aqui estudados.

Tabela 18. Relação entre o percentual de agregados e o C microbiano (% C_{org}) em cada um dos tratamentos, onde () = r², onde AO/SC: adubo orgânico sem cobertura; AO/CO: adubação orgânica com cobertura orgânica; AO/CP: adubação orgânica com cobertura plástica; AQ/CP: adubação química com cobertura plástica

Tratamentos	C microbiano - % C_{org} (X) x AGR >2 mm - % (Y)
AO/SC	$Y = 38,79515 \times \exp(-0,4282768X)$ (0,54%)
AO/CO	–
AO/CP	$Y = 19,69146 - 3,23657X$ (0,28%)
AQ/CP	$Y = 32,51334 - 24,00213X + 5,392507X^2$ (0,37%)
Mata	$Y = 141,5064 \times \exp(-0,1683486X)$ (0,48%)

Observando a tabela 18 é possível notar que o cultivo orgânico sem cobertura e a mata são os tratamentos onde houve maior relação entre o C microbiano e o percentual de agregados maiores que 2,00mm. O tratamento orgânico com cobertura morta não revelou nenhum tipo de relação entre o C microbiano e a agregação, possivelmente devido à dinâmica diferenciada que adquire o C microbiano diante da alta relação C/N da cobertura morta utilizada no tratamento AO/CO. Nos tratamentos com cobertura plástica, a alteração da temperatura ambiente pode causar efeitos que superam aqueles causados pela biomassa microbiana e/ou pela agregação.

A relação direta entre esses parâmetros é considerada contraditória, visto que JENKINSON (1990) afirma que esta relação é determinada pelo teor de argila do solo. Entretanto VARADACHARI et al. (1994) alertam que não é constante a relação entre o teor de argila, a biomassa microbiana e a agregação. Apontam como possíveis mediadores fatores externos, como fonte de C e nutrientes, além de outras características do solo, como o pH, que determinariam a eficiência de uso dos produtos metabólicos da biomassa microbiana.

IX. CONCLUSÕES

A prática de um cultivo sustentável está diretamente relacionada à utilização de insumos, que promovem a reanimação dos mecanismos biológicos de retenção de nutrientes do solo, minimizando suas perdas de nutrientes e do próprio solo. Neste trabalho, tomando o morangueiro como planta teste, foram possíveis as seguintes conclusões:

1. Os insumos utilizados nos tratamentos orgânicos apresentaram uma dinâmica de liberação de nutrientes menos intensa do que aqueles insumos fornecidos ao solo no tratamento convencional. Este ritmo mais lento de disponibilização de nutrientes permitiu uma maior sincronização com as demandas da planta cultivada, minimizando as perdas;
2. O tratamento convencional mostrou-se bastante ineficaz no sentido de reter os nutrientes fornecidos. Os insumos adotados neste tratamento promoveram uma rápida mineralização e liberação de nutrientes, acima da capacidade de retenção do solo e das necessidades da planta, e ainda causaram uma inibição no estabelecimento de simbiose com fungos MVA;
3. Desde os primeiros momentos do cultivo, os mecanismos biológicos de regulação do sistema mostraram-se mais efetivos nos tratamentos orgânicos, que apresentaram uma maior predisposição à recuperação da estabilidade estrutural, a partir de processos biológicos, como: maior diversidade e densidade da macrofauna, dinâmica mais estável do C microbiano e ainda maior eficiência no estabelecimento de simbioses com fungos MVA;
4. As coberturas do solo mostraram uma forte influência sobre a dinâmica dos nutrientes, tendo ocorrido uma redução nas perdas naqueles tratamentos com cobertura morta ou plástica. A cobertura morta, apesar de interferir de forma

positiva na retenção de nutrientes do solo, reduzindo a lixiviação e promovendo a imobilização, não permite perfeita proteção dos frutos, atuando como fonte de inóculo de microorganismos que danificam o fruto e promovem perdas;

5. A cobertura plástica afeta de forma significativa a composição e distribuição da macrofauna do solo, tendo havido nos tratamentos orgânico e convencional que receberam este tipo de cobertura uma maior concentração de indivíduos da macrofauna na camada entre 10 e 20 cm. Em consequência, ocorreu uma maior degradação da estrutura da camada superior, onde foi identificada a predominância de domínios micromorfológicos bastante densos, originários do fluxo descendente da macrofauna.
6. As enquitreídeos apresentam grande potencial como indicadores de degradação do solo, visto que sua redução nos tratamentos sob cultivo esteve sempre relacionada à degradação da estrutura do solo e à redução dos teores de C orgânico.
7. Outros parâmetros avaliados, como a estabilidade dos agregados, a infecção por fungos micorrízicos e a dinâmica do C microbiano, também apresentaram-se como indicadores potenciais da sustentabilidade do cultivo.
8. No ensaio de decomposição foi determinada uma constante (K) negativa para ambos os ambientes, indicando haver uma imobilização de nutrientes devida à qualidade do material adicionado. Entretanto, a área de mata apresentou uma constante de maior valor absoluto, indicando uma ciclagem de nutrientes mais acelerada, com menores períodos de imobilização do que o tratamento sob cultivo. Esta constante mostrou-se relacionada a algumas características do ambiente, como o pH do solo, a disponibilidade de fósforo, o nitrogênio, o cálcio, o magnésio e ainda relacionada ao C microbiano.

9. Ainda relacionado ao ensaio de decomposição, foram encontradas fortes relações entre o processo de liberação do nitrogênio, quando comparado ao processo de liberação do cálcio e da lignina, comprovando que a qualidade do material adicionado é fator determinante.
10. Verificou-se, a partir do modelo proposto, que são determinantes na perda de nutrientes: a disponibilidade dos mesmos no complexo de trocas, os agregados maiores que 2,00 mm e a reserva de C microbiano existente.
11. Os agregados maiores que 2,00 mm e a reserva de C microbiano, ainda que não possuam relação direta entre si, mostraram-se diretamente relacionados à retenção de nutrientes nas camadas superficiais do solo.

X. BIBLIOGRAFIA

- ALLEN, M.F. 1992 **Mycorrhizal functionig: An integrative plant – fungal process**. Chapman and Hall, New York.
- ALTIERI, M. 1989 **Agroecologia: as bases científicas da agricultura alternativa**; tradução Patrícia Vaz. Rio de Janeiro: PTA/FASE. 240 p.
- ALTIERI, M. A. 1992. Agroecological foundations of alternative agriculture in California. **Agr. Ecos. & Env.**, Amsterdam. 39:23 - 53.
- ANDERSON, J.M. 1988 Spatiotemporal effects of invertebrates on soil process. **Biol. Fert. Soils**, 6, 216 - 227.
- ANDERSON, J.M. and INGRAM, J.S.I. 1993 **Tropical Soil Biology Fertility: A Handbook of Methods** (2nd edn). CAB International. Wallingford, UK.
- ANDERSON, J.M.;HUISH,S.A.; INESON,P.; LEONARD, M.A.; SPLATT, P.R. 1985 Interactions of invertebrates, microorganisms and tree roots in nitrogen and mineral element fluxes in deciduous woodland soils. *In: Ecological Interactions in Soils*. Eds. A.H. Fitter, D. Atkinson, D.J. Read &M.B. Usher. pp 377 - 392. Blackwell, Oxford.
- ANWARZAY, M.O., BLUM,W.E.H.; STRAUSS, P.; KANDEZER, E. 1990 Biological activityin soil in 80-year long term field experiment. **Foerderungsdienst** . 38: 18 - 22.
- BEARE, M.H.; COLEMAN, D.C.; CROSSLEY Jr., D. A.; HENDRIX, P.F.; ODUM, E.P. 1995 A hierarchical approach to evaluating the significance of soil biodiversity to biogeochemical cycling. **Plant and Soil**, 170, Vol. 170, N° 1, 5 – 22.
- BONDE, T. A.;SCHNÜRER, J.; ROSSWALL, T. 1988 Microbial Biomassas a fraction of potentially mineralizable nitrogen in soils from long-term field experiments. **Soil Biol. Biochem.** 20: 447-452.
- BOTTNER,P. 1985 Response of microbial biomass to alternate moist and dry conditions in a soil incubated with ¹⁴C and ¹⁵N labelled plant material. **Soil Biol. Biochem.** 17: 329-337.
- BREMMER, J. M. 1965 Total nitrogen. In: C. A. Black et al., editors. **Metthods of soil analisysis**. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA, p. 1149-1178.
- BRUSSAARD, L. et al. 1997 Biodiversity and Ecosystem Functioning in Soil. **Ambio**, Vol. 26, N° 8, 563 – 570.
- CAMARGO, O. A. de; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADADRES, J. M. S. 1986. Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agronômico de Campinas. **Boletim Técnico N° 106**. Campinas-SP. 94p.
- COLLEMAN, D. C. & HENDRIX, P.F. (1988) **Agroecosystems Process. In:Concepts of Ecosystems** . Springer-Verlag. New York. pp.149-170.
- COLLEMAN, D.C., REIDC.P.P. and COLE CV 1983 Biological strategies of nutrient cycling in soil systems. **Adv. Ecol. Res.** 13, 1 – 55.
- CONWAY, G. & BARBIER, E. 1988 **Indicadores of agricultural performance. In: After a green revolution, sustenable and equitable agricultural development**. Conway, G. & Barbier, E. eds. Santhen Publications. London. pp.301-323.

- CONWAY, G.R. 1985 **Agricultural ecology and farming systems reserch. In: Agricultural systems research for developing countries** ACIAR, Eds. J.V. Remenyi and G.R.Conway. pp. 43 – 59. Canberra.
- CROMACK, K. Jr. 1973 **Litter prodution and litter decomposition in a mixed hardwood watershed and in a white pine watershed at Coweeta Hydrologic Station, North Carolina.** Dissertação. University of Georgia, Athens, Georgia, USA.
- CUEVAS, E. & MEDINA, E. 1993 Root production and organic matter decomposition in a Terra Firme forest of the upper Rio Negro basin. **In: Wurzelökologie und ihre Nutzadwendung/ Root Ecology and its its Pratical Applications.** Int. Symp. Gumpenstein,pp.653-666.
- De RUITER, P.C.; MOORE, J. C.; ZWART, K. B. BOUWMAN, L.A.; HASSINK, J.; BLOEM, J.; De VOS, J.A.; MARINISSEN, J.C.Y.; DIDDEN, W.A.M., LEBBINK, G. and BRUSSAARD, L. 1993 Simulation of nitrogen mineralization in the bellow-ground food web of two winter wheat fields. **J. Appl. Ecol.** 30, 95 – 106.
- Di CASTRI, F.; and YOUNES, T.; 1990 Ecosystem function of biological diversity. *Biol. Int.* Special Issue N° 22.
- DINIZ, T. D. de A.S. 1986 **Caracterização Climática da Amazônia Oriental. In: Pesquisa sobre utilização e conservação do solo na Amazônia Oriental.** Relatório final do convênio EMBRAPA/CPATU/GTZ. Belém (PA/BR).
- DOUDS, D.D.; JANKE,R.R.;PETERS, S.E. 1993 Vam fungus spore population and colonization of roots of maize and soybean under conventional and low-input sustainable agriculture. **Agric. Ecosystems. Envir.**, 43: 325- 335.
- DRINKWATER,L.E.; LETOURNEAU, D.K.; WORKENEH,F.;BRUGGEN, A.H.C., SHENNAN, C. 1995 Fundamental diferences between convencional and organic tomato agroecosystems in California. **Ecol. Appl.**, 5: 1098- 1112.
- DRURY, C.F.; STONE, J.A. & FINDLAY, W.I. 1991 Microbial biomass and soil structure associated with corn, grasses, and legumes. **Soil Science Soc. Of Am J.** 55, 805 -811.
- DUXBURY, J.M.; SMITH, M.S.; DORAN, J.W. 1989 **Soil organic matter as a source and sink of plant nutrients. In: Dynamics of Soil Organic Matter in Tropical Ecosystems.** Coleman, D.C., Oades, J.M., Uehara, C. eds. University of Hawaii Press. Hawaii, Honolulu.
- FAO, 1989 **Sustainable Agriculture Production: Implications of internal agriculture research.** Tecnical Advisory Committtee, CGIAR, FAO Research and Technical Paper N° 4, Rome, Italy: FAO.
- FAUCI, M.F.& DICK, R.P. 1994 Plant response to organic amendmets and decreasing inorganic nitrgen rates in soil frem a longterm experiment. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 58: 134- 138.
- FAVRETTO, M.R.; PAOLETTI, M.G.; CAPORALI, F.; NANNIPIERI, P.; ONNIS, A.; TOMEI, P.E. 1992 Invertebrates and nutrients in a Mediterranean vineryard mulched with subterranean clover (*Trifolium subterraneum* L.). **Biol. Fertil. Soils**, 14: 151 - 158.
- FILSER, J.; FROMM,H.; NAGEL,R.F.; WINTER,K. 1995 Effects of previos intensive agriculture management on microorganisms and the biodiversity of soil fauna. **Plant and Soil**, 170, Vol. 170, N° 1, 5 – 22.

- FRANKLIN, J.F. 1993 Preserving biodiversity: species, ecosystems, or landscapes?. **Ecol. Applic.** 3, 202 – 205.
- FRASER, D. G.; DORAM, J. W.; SAHS, W. W. and LESOING, G.W. 1988 Soil microbial populations and activities under conventional and organic management. **J. Environ. Qual.** 17: 585-590.
- FUJIWARA, M.; KURACHI, S.A.H.; ARRUDA, F.B.; PIRES, R.C.M.; SAKAI, E. 1994 A técnica de Estudo de Raízes Pelo Método do Trado. **Boletim Técnico Nº153 . Instituto Agrônômico. Campinas.**
- GLIESSMAN, S. R. and AMADOR, A. 1980 **Ecological aspects of production in tradicional agroecosystems in the humid lowland tropics of Mexico.** *In: Tropical ecology and development*, edited by J.I. Furtado, Kuala Lumpur. ISTE.
- GLIESSMAN, S.R. 1990 **Agroecology: Researching the ecological basis for sustainable agriculture.** Springer-Verlag, New York. pp.3-10.
- GOSZ, R.J.; LIKENS, G.E. and BORMANN, F.H. 1973 Nutrient release decomposing leaf and branch litter in the Hubbard Brook forest, New Hampshire. **Ecological Monograph.** 43: 173-191.
- GREELAND, D.J. 1975 Bringing the green revolution to the shifting cultivator. **Science** 190, 841 – 844.
- HASSINK, J. & WHITMORE, A. P. 1997 A model of the physical protection of organic matter in soils. **Soil Sci. Of. Am. J.**, 61: 131- 139.
- HAYNES, R.J. & FRANCIS, G.S. 1993 Changes in microbial biomass C, soil carbohydrate composition and aggregate stability induced by growth of select crop and forage species under field conditions. **Journal of Soil Science.** 44: 665- 675.
- HILL, S. B. and MacRAE, R. J. 1992. Organic Farming in Canada. Agriculture. **Ecos. & Env.**, Amsterdam. 39:71 - 84.
- HOLE, F.D. 1981 Effects of animals in soil. **Geoderma**, 25, 75 – 112.
- INSAN, H.; MITCHEL, C. C.; DORMAAR, J. F. 1991 Relationship of soil microbial biomass and activity with fertilization practice and crop yield of three ultisols. **Soil Biol. Biochem.**, 23: 459-464.
- JANZEN, D.H. 1985 **Natural history of mutualism.** *In: Biology of Mutualism, Ecology and Evolution.* Ed. D. H. Boucher. pp 40 – 99. Croom. Helm, London, Sydney.
- JHA, D.K.; SHARMA, G.D. and MISHRA, R.R. 1993 Mineral nutrition in the tripartite interaction between *Frankia*, *Glomus* and *Alnus* at different soil phosphorus regimes. **New Phytol.** 123, 307 – 311.
- JOERGENSEN, R. G. & BROOKS, R. G. 1990 Ninhidrin-reactive nitrogen measurements of microbial biomass in 0,5 M K₂SO₄ soil extracts. **Soil Biol. Biochem.**, 22: 1023-1027.
- JORGE, L. A. C.; RESENDE, P.S.R.; FREITAS JÚNIOR, E.; CRESTANA, S. 1995 Determinação do comprimento de raízes submersas em água e diretamente distribuídas sobre um iscaner de mesa, utilizando processamento e análise de imagens digitais. **Anais do VII SIBRAPE**, São Carlos/SP.

- KELLY, J.M. & BEAUCHAMP 1987 Mass loss and nutrient changes in the decomposing upland oak and mesic mixed. **Soil Sci. Am. J.** 51: 1616-1622.
- KENNEDY, A.C. & SMYTH, K.L. 1995 Soil microbial diversity and the sustainability of agricultural soils. **Plant and Soil**, 170, Vol. 170, N° 1, 5 – 22.
- KURLE, J. E. & PFLEGER, F.L. 1994 Arbuscular Mycorrhizal fungus spore populations respond to conversions between low-input and conventional management practices in a corn-soybean rotation. **Agronomy Journal**. 86(3): 467-475.
- LAVELLE, P. & PASHANASI, B. 1989 Soil macrofauna and land management in the Peruvian Amazonia (Yurimaguas, Loreto). **Pedobiologia** 33: 283 - 291.
- LAVELLE, P. 1996 Diversity of Soil Fauna and Ecosystem Function. **Biol. Int.** 33, 3 –16.
- LAVELLE, P.; BLANCHART, E.; MARTIN, A.; SPAIN, A. V.; MARTIN, S. 1992 **Impact of soil fauna on the properties of soil in the humid tropics. In: Myths and Science of Soils of the Tropics.** Soil Science Society of America and American Society of Agronomy. S. Segoe Rd., Madison, USA. Special Publication N° 29. p.157-185.
- LAVELLE, P.; BLANCHART, E.; MARTIN, A.; MARTIN, S. et al. 1993 A hierarchical model for decomposition in terrestrial ecosystems: Application to soils of the Humid Tropics. **Biotropica**, 25(2): 130 - 150.
- LAVELLE, P.; LATTAUD, C.; TRIGO, D.; BAROIS, I. 1995 **Mutualism and biodiversity in soils. In: The Significance of Soil Biodiversity**, 23 –33, Eds. H. P. Collins, G.P. Robertson & M. J. Klug. Pp23 – 33. Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
- LEE, K.E. AND PANKHURST, C.E. 1992 Soil organisms and sustainable productivity. **Aust. J. Soil Res.**, 30: 855-892.
- LEE, K.E. and PANKURST, C.E. 1992 Soil organism and sustainable productivity. **Aust. J. Soil Res.**, 30, 855 – 892.
- LYNCH, J.M. & BRAGG, E. 1985 Micro-organisms and soil aggregate stability. **Soil Biol. & Bioch.** 2: 133- 171.
- LYNCH, J.M. and HARPER, S.H.T. 1985 **The microbial upgrading of straw for agricultural use.** Phil. Trans. R. Soc. London. 310B, 221 – 226.
- MELILLO, J.M., ABER, J. D. & MURATORE, J.F. 1982 Nitrogen and lignin control of hardwood leaf litter decomposition dynamics. **Ecology**, 63 (3), 621 - 626.
- MILLS, L.S.; SOULÉ, M.E. and DOAK, D.F. 1993 The keystone-species concept in ecology and conservation. **Bioscience**, 43, 219 – 224.
- MORAN, C.J.; McBRATNEY, A.B. 1992 Acquisition and analysis of three-component digital images of soil pore structure. I. Method. **Journal of Soil Science**. 43: 541 - 549.
- MORARD, P. & LACROIX-RAYNAL, C. 1989 Uptake of macronutrients by straw berry plants in soil less culture. **Soilless Culture, Wageningen**, 5: 31- 46.
- ODUM, E. 1984 **Properties of agro-ecosystems. In: LOWRANCE et al. Agricultural Ecosystems.** New York, Wiley Intersci..

- PASSOS, F.A.; TRANI, P.E.; BETTI, J.A.; TANAKA, M.A. 1995 **Morango .Instruções Agrícolas para o Estado de São Paulo**. Boletim 200. Instituto Agrônomo de Campinas. 6^a edição. Campinas/ SP.
- PERFECT, E.; KAY, B.D.; Van LOON, W.K.P., SHEARD, R.W.; POJASOK, T. 1990 Factores influenciing soil structural stability within a growing season. **Soil Sci. Soc. Of Am. J.** 54: 173-179.
- PERFECT, E.; KAY, B.D.; VAN LOON, W.K.P.; SHEARD, R.W. & POJASOK, T. 1990 Factors influencing soil structural stability within a growing season. **Soil Scien. Of Am. J.** 54, 173-179.
- PERRY, D.A.; AMARANTHUS, M.P., BORCHERS, J.G.; BORCHERS, S.L. & BRAINERD, R.E. 1989 Bootstrapping in ecosystems. **Bioscience**, 39, 230 – 237.
- PHILIPS, J.M. & HAYMAN, D.S. 1970 Improved procedure for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assesment of infection. **Trans. Br. Mycol. Soc.** 55: 158-161.
- POWLSON, D. S.; BROOKS, P. C.; CHRISTENSEN, B. T. 1987 Measurement of soil microbial biomass provides a early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. **Soil Biol. Biochem, Oxford**, 19: 159-164.
- PRICE, W.P. 1988 Na overview of organismal interactions in ecosystems in evolutionary and ecological time. **Agric. Ecosyst. Envirom.**, 2369 – 377.
- RAIJ, B. VAN & QUAGGIO, J. A. 1983 **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade**. Campinas, Instituto Agrônomo. 35p. Boletim técnico 81.
- ROMARIZ, D. de A. 1972 **A Vegetação In: Brasil – A terra e o homem**. Ed. A. Azevedo. Cia. Ed. Nacional. São Paulo, Brasil.
- ROVIRA, A.D.; ELLIOT, L.F. and COOK, R.J. 1990 **The impact of cropping systems on rhizosphere organisms affecting plant health**. *In: The Rizosphere*. Ed. J.M. Lych.pp 386 – 436. John Wiley, New York.
- SCHOLES, M.C.;SWIFT, M.J.; HEAL O.W.; SANCHEZ, P.A.; INGRAM, J.S.I. and DALAL, R. 1994 **Soil fertility research in response to the demand for sustainability**. *In: The biological manegement of tropical soil fertility*. Eds. P.L. Woomer and M.J. Swift. Jonh Wiley & Sons. Pp. 1 - 15. Co-publication Tropical Soil Biology and Fertility Programe. New York.
- SOUZA, A.F.; HAAG, H.P.; SARRUGE, J.R.; OLIVEIRA, G.D.; MINAMI, K. 1977 **Nutrição mineral de hortaliças. Absorção de micronutrientes por quatro cultivares de morangueiro (Fragaria ssp.)**. Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba. 35: 79-109.
- SPENCER, D.S. and SWIFT, M.J. 1992 **Sustainable agriculture: Definitions and measurement**. *In: Biological Nitrogen and Sustainability of Tropical Agriculture*. Eds. K. Mungolov, M. Gueye and D.S.C. Spencer. John Wiley, Chichester, UK.
- STARK, N. & SPRATT, M. 1977 Root biomass and nutrient storage in rain forest oxisols near San Carlos de Rio Negro. **Trop. Ecol.** 18:1-9.
- SWIFT,M.J. and ANDERSON, J.M. 1994 **Biodiversity and Ecosystem Function in Agricultural Systems**. *In: Biodiversity and Ecosystem Function*. Eds. Ernst- Detlef Schulze and H.A. Mooney. Pp. 15 – 38. Spring-Verlag. New York.

- TIAN, G., BRUSSAARD, L. & KANG, T. 1993 Biological effects of plant residues with contrasting chemical compositions under humid tropical conditions: Effects on soil fauna. **Soil Biol. Biochem.** 25 (5), 731 -737.
- TILMAN, D. 1982 **Resource competition and community structure**. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- TROJANOWSKI, J. H.; HAIDER, K. and HUTTERMANN, A. 1984 Decomposition of ¹⁴C labelled lignini, holocellulose and lignocellulose by micorrhizal fungi. **Arch. Microbiol.** 139: 202-206.
- Van BREEMER, N. 1995 Nutrient cycling strategies. **Plant and Soil** .168-169: 321- 326.
- VAN SOEST, P. J. 1963 Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. II. A rapid method for determination of fiber and lignin. **J. Assoc. Off. Anal. Chem.** 49: 546 - 551.
- Van VLIET, P.C.J.; BEARE, M.H.; COLEMAN, D.C. 1995 Population dynamics and functional roles of Enchytraeidae (Oligochaeta) in hardwood forest and agricultural ecosystems. **Pl. and Soil**, 170: 199- 207.
- VITOUSEK, P.M. and HOOPER, D.U. 1994 **Biological diversity and terrestrial ecosystems biogeochemistry. In: Biodiversity and Ecosystem Function**. Eds. Ernst- Detlef Schulze and H.A. Mooney. Pp. 3 – 12. Spring-Verlag. New York.
- WANDER, M.M.; TRAINA, S.J.; STINNER, B.R.; PETERS, S.E. 1994 Organic and conventional management effects on biologically active soil organic matter pools. **Soil Soc. Am J.**, 58: 1130 - 1139.
- WARDLE, D. A. & LAVELLE, P. 1997 **Linkage between soil biota, plant litter quality and decomposition. In: Driven by Nature: Plant litter quality and decomposition**. CAB INT. Eds. G. Cadisch and K. E. Giller.
- WATSON, C.A.; FOWLER S. M. & WILMAN, D. 1994 Purchases and sales of N, P e K soil inorganic N and nitrate leaching on an Organic Horticultural Holding. **Biological Horticultural Holding**. 10: 189-195.
- WHIPPS, J.M. 1990 **Carbon economy. In: The rizosphere** (ed. J.M. Lynch)pp 59 - 97. John Wiley, Chichester.
- WILDE, S.A.; VOIGT, G. K. & LYER, J. G. 1972 **Soil and plant analysis for tree culture**. Fourth edition. Oxford and IBH Publishing Company, New Delhi, India.
- WOLTERS, V. 1991 Soil invertebrates – Effects on nutrient turnover and soil structure – a review. **Z. Pflanzenern:ahr. Bodenk.** 154, 389 – 402.