

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

ALTERAÇÕES MICROBIANAS DO SOLO SOB SISTEMA
DE SEMEADURA DIRETA E ROTAÇÃO DE CULTURAS

Clovis Daniel Borges
Biólogo

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL
Fevereiro de 2010

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

ALTERAÇÕES MICROBIANAS DO SOLO SOB SISTEMA
DE SEMEADURA DIRETA E ROTAÇÃO DE CULTURAS

Clovis Daniel Borges

Orientador: Prof. Dr. Ely Nahas

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Microbiologia Agropecuária.

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL
Fevereiro de 2010

DADOS CURICULARES DO AUTOR

CLOVIS DANIEL BORGES – nascido em 02 de janeiro de 1981, em Criciúma, Santa Catarina, é filho de Silvestre Borges e Matildes da Silva Borges. Formou-se em Ciências Biológicas e Tecnologia em Agronomia pelo Centro Universitário da Grande Dourados (UNIGRAN) em Dourados/MS em dezembro de 2007. Foi estagiário na Embrapa Agropecuária Oeste, unidade de Dourados/MS, no Laboratório de Microbiologia do Solo, onde desenvolveu seus Trabalhos de conclusão de curso (TCC) como parte das exigências para obtenção dos títulos de Biólogo e Tecnólogo em Agronomia. Foi bolsista de iniciação científica pelo programa PIBIC/CNPq durante o período de abril de 2004 a fevereiro de 2008. Ingressou em março de 2008 no curso de Mestrado, no Programa de Pós-Graduação em Microbiologia Agropecuária, da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV) – UNESP, Campus de Jaboticabal, SP, onde foi bolsista FAPESP.

DEDICO

*Aos meus pais Silvestre Borges e
Matildes da Silva Borges pelo apoio, amor,
incentivo em todos os momentos.*

OFEREÇO

*A minha namorada Marjorie, pelo convívio,
paciência, incentivo e compreensão.*

*....o simples bater das asas de uma borboleta
pode influenciar o ciclo natural das coisas e, assim,
talvez provocar um tufão do outro lado do mundo.*

Teoria do Caos (Edward Lorenz).

AGRADECIMENTOS

A Deus, ser fundamental da minha existência e por tornar possível mais esta etapa da minha vida...

Aos familiares Silvestre, Matildes, Jardel, Daniela e Felipe pela alegria, amizade, força e apoio em todos os momentos desta caminhada.... Muito obrigado por acreditarem, nada disso seria possível sem vocês e Deus em meu coração.

Ao Professor Dr. Ely Nahas, por ter aceitado o desafio de orientar-me, pela constante aprendizagem a mim passada e pela experiência de vida transmitida neste curto espaço de tempo.... Meu muito obrigado Professor!!!

A minha namorada Marjorie Ester Dias Maciel, que se fez presente em todos os momentos desta jornada, principalmente em me acompanhar nesta caminhada dando apoio, carinho e conforto. Sei que para ela não foi fácil me aturar e conciliar também seus estudos... *Amoreee* obrigado de coração!!!

E, em especial ao Dr. Fábio Martins Mercante, que se fez presente em todos os momentos desta caminhada através de sua amizade, a quem serei eternamente grato, valeu, obrigado de coração Fábio!!!

Ao professor José Eduardo Corá, que cedeu a área experimental para realização deste trabalho.

Ao grande amigo Adolfo Valente Marcelo, que nunca êxitou em contribuir na realização deste trabalho, mas principalmente pela verdadeira amizade construída durante este convívio.... Valeu mesmo Adolfo.

Aos colegas e vizinhos de laboratório, agradeço pelo convívio e amizade que, em curto prazo se fizeram presentes em minha vida. Com certeza deixarão saudades!!! Atenção para à chamada! Breno, Bia, Rosangela, Lucas, Carime, Marquinhos.....Valeu.

Ao técnico laboratorista Assis, um grande pescador (com grandes contos...) que auxiliou muito as determinações laboratoriais. Afinal todo conhecimento prático dentro do laboratório foi transmitido por este grande homem e amigo também... Sucesso pra ti...

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo suporte financeiro dado ao desenvolvimento deste trabalho e pela concessão da bolsa de mestrado, processo 08/52473-1. Meu muito obrigado!!!

Aos componentes da banca examinadora, pelo prestígio em tê-los como avaliadores deste trabalho.

Ao pessoal da biblioteca da *Universidade Estadual Paulista / Câmpus Jaboticabal*, pela colaboração e auxílio, especialmente à Tieko, pela normalização das referências bibliográficas.

Aos funcionários da *Fazenda de Ensino, Pesquisa e Produção (FEPP) da (UNESP) Câmpus Jaboticabal*, que me auxiliaram nas amostragens de campo e indiretamente contribuíram com os trabalhos de campo.

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

Muito Obrigado!!!

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	IX
LISTA DE FIGURAS.....	XI
RESUMO.....	XIII
SUMMARY.....	XV
1. INTRODUÇÃO.....	01
1.1 Objetivos.....	02
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	03
2.1 Sistema plantio direto.....	03
2.2 Rotação de culturas.....	04
2.3 Qualidade do solo.....	06
2.4 Efeito dos atributos microbiológicos em agroecossistemas...	07
3. MATERIAL E METODOS.....	09
3.1 Experimento I.....	09
3.1.1 Caracterização da área experimental e sistemas de manejo cultural	09
3.1.2 Amostragem e tratamento das amostras de solo	11
3.1.3 Delineamento experimental e análise estatística.....	12
3.2 Experimento II.....	12
3.2.1 Caracterização da área experimental das diferentes espécies de resíduos.....	12
3.2.2 Amostragem do solo.....	13
3.2.3 Delineamento experimental e análise estatística.....	13
3.3 Análises Microbiológicas do Solo.....	14
3.3.1 Carbono da biomassa microbiana do solo (CBM).....	14
3.3.2 Nitrogênio da biomassa microbiana do solo (NBM).....	15
3.3.3 Fósforo da biomassa microbiana (PBM).....	15
3.3.4 Atividade microbiana ou respiração basal (C-CO ₂).....	16

3.3.5 Determinação do quociente metabólico (qCO_2).....	17
3.3.6 Determinação do quociente microbiano ($qMIC$).....	17
3.3.7 Atividade enzimática da desidrogenase.....	18
3.3.8 Atividade enzimática da urease.....	18
3.3.9 Atividade enzimática da fosfatase.....	19
3.3.10 Potencial de mineralização do N.....	20
3.4 Análises Químicas do Solo.....	21
3.4.1 Nitrogênio total Kjeldahl (NTK).....	21
3.4.2 Carbono orgânico do solo.....	21
3.4.3 Carbono solúvel.....	22
3.4.4 Fósforo orgânico do solo.....	22
3.4.5 pH do solo.....	23
3.4.6 Matéria orgânica do solo.....	23
3.5 Material Vegetal.....	24
3.5.1 Substâncias solúveis em água quente.....	24
3.5.2 Celulose e lignina.....	25
4. RESULTADO.....	26
4.1 Efeito do sistema plantio direto em rotação de culturas.....	26
4.2 Decomposição de resíduos vegetais diferentes tamanhos das partículas de soja e milho em influência do tempo	40
5. DISCUSSÃO.....	54
5.1 Efeito do sistema plantio direto em rotação de culturas.....	54
5.2 Decomposição de resíduos vegetais de diferentes tamanhos das partículas de soja e milho em influência do tempo.....	59
6. CONCLUSÕES.....	62
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63
8. APÊNDICE.....	76

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 01. Carbono da biomassa microbiana (CBM) do solo devido ao cultivo das sequências de verão e culturas de inverno.....	26
Tabela 02. Nitrogênio da biomassa microbiana (NBM) do solo devido ao cultivo das sequências de verão e culturas de inverno.....	27
Tabela 03. Fósforo da biomassa microbiana (PBM) do solo devido ao cultivo das sequências de verão e culturas de inverno.....	28
Tabela 04. Atividade da desidrogenase do solo devido ao cultivo das sequências de verão e culturas de inverno.....	29
Tabela 05. Atividades enzimáticas da urease e da fosfatase, conteúdos de matéria orgânica (MO) e nitrogênio total (Nt) do solo devido ao cultivo das sequências de verão e culturas de inverno.....	31
Tabela 06. Atividade respiratória (C-CO ₂) do solo devido ao cultivo das sequências de verão e culturas de inverno.....	32
Tabela 07. Quociente metabólico (qCO_2) do solo devido ao cultivo das sequências de verão e culturas de inverno.....	33
Tabela 08. Quociente microbiano ($qMIC$) do solo devido ao cultivo das sequências de verão e culturas de inverno.....	34
Tabela 09. Carbono orgânico do solo (Corg) do solo devido ao cultivo das sequências de verão e culturas de inverno.....	35
Tabela 10. Coeficiente de correlação de Pearson entre as variáveis microbiológicas e químicas do solo. Amostras de solo coletadas após as culturas de verão em diferentes em plantio direto, na camada de 0,15m em um Latossolo Vermelho Eutrófico.....	37
Tabela 11. Composição química das espécies vegetais.....	40

Tabela 12.	Atividade da enzima desidrogenase do solo devido à adição de partículas com diferentes tamanhos.....	77
Tabela13.	Atividade respiratória microbiana do solo devido à adição de partículas com diferentes tamanhos. Equivalente a 8 toneladas de palha por hectares.....	77
Tabela 14.	Atividade respiratória microbiana do solo devido à adição de partículas com diferentes tamanhos. Equivalente a 28 toneladas de palha por hectares.....	78
Tabela 15.	Atividade respiratória microbiana do solo devido à adição de partículas com diferentes tamanhos. Equivalente a 58 toneladas de palha por hectares.....	78
Tabela 16.	Potencial amonificante do solo devido à adição de partículas com diferentes tamanhos.....	79
Tabela 17.	Potencial nitrificante do solo devido à adição de partículas com diferentes tamanhos.....	79
Tabela 18.	Atividade da enzima urease do solo devido à adição de partículas com diferentes tamanhos.....	80
Tabela 19.	Atividade da enzima fosfatase do solo devido à adição de partículas com diferentes tamanhos.....	80
Tabela 20.	Matéria orgânica do solo devido à adição de partículas com diferentes tamanhos.....	81
Tabela 21.	Carbono solúvel do solo devido à adição de partículas com diferentes tamanhos.....	81
Tabela 22.	Fósforo orgânico do solo devido à adição de partículas com diferentes tamanhos.....	82
Tabela 23.	pH do solo devido à adição de partículas com diferentes tamanhos.....	82

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 01. Croqui esquemático de campo de um único bloco experimental.....	09
Figura 02. Biplot dos componentes principais das sequências de verão (primeira amostragem).....	38
Figura 03. Biplot dos componentes principais das culturais de inverno (primeira amostragem).....	39
Figura 04. Atividade da enzima desidrogenase do solo devido a adição de partículas com diferentes tamanhos. Teste F ** $P < 0,05$ e ns não significativo.....	41
Figura 05. Atividade respiratória microbiana do solo devido a adição de partículas com diferentes tamanhos. Teste F ** $P < 0,01$ e ns não significativo. Equivalente a 8 toneladas de palha por hectares.....	42
Figura 06. Atividade respiratória microbiana do solo devido a adição de partículas com diferentes tamanhos. Teste F ** $P < 0,01$ e ns não significativo. Equivalente a 28 toneladas de palha por hectares.....	43
Figura 07. Atividade respiratória microbiana do solo devido a adição de partículas com diferentes tamanhos. Teste F ** $P < 0,01$ e ns não significativo. Equivalente a 58 toneladas de palha por hectares.....	44
Figura 08. Potencial amonificante do solo devido a adição de partículas com diferentes tamanhos. Teste F ** $P < 0,01$ e ns não significativo.....	45
Figura 09. Potencial nitrificante do solo devido a adição de partículas com diferentes tamanhos. Teste F * $P < 0,05$, ** $P < 0,01$	46
Figura 10. Atividade da enzima urease do solo devido a adição de	

	partículas com diferentes tamanhos. Teste F ** P < 0,01 e ns não significativo.....	47
Figura 11.	Atividade da enzima fosfatase do solo devido a adição de partículas com diferentes tamanhos. Teste F ** P < 0,01....	48
Figura 12.	Matéria orgânica do solo devido a adição de partículas com diferentes tamanhos. Teste F ** P < 0,05 e ns não significativo.....	49
Figura 13.	Carbono solúvel do solo devido a adição de partículas com diferentes tamanhos. Teste F ** P < 0,01.....	50
Figura 14.	Fósforo orgânico do solo devido a adição de partículas com diferentes tamanhos. Teste F * P < 0,05.....	51
Figura 15.	pH do solo devido a adição de partículas com diferentes tamanhos. Teste F ** P < 0,01 e ns não significativo.....	52
Figura 16.	Correlação entre atividade da fosfatase e fósforo orgânico do solo.....	53

ALTERAÇÕES MICROBIANAS DO SOLO SOB SISTEMA DE SEMEADURA DIRETA E ROTAÇÃO DE CULTURAS

RESUMO – A rotação de culturas é um processo de cultivo que pode modernizar e aumentar o rendimento da atividade agropecuária de forma sustentável agregando maior qualidade ao solo. Os objetivos deste estudo foram: (I) avaliar o efeito dos sistemas culturais em plantio direto conduzidos em rotação de culturas e monitorar as alterações das propriedades microbiológicas bioindicadoras da qualidade do solo; (II) investigar as mudanças bioquímicas nos solos decorrentes da adição de diferentes tamanhos de resíduos de soja e milho durante o período de incubação. Foram determinados as biomassas microbianas-C, N e P (CBM, NBM e PBM, respectivamente), a atividade respiratória ($C-CO_2$) e das enzimas desidrogenase, fosfatase e urease, conteúdo do carbono orgânico (Corg), carbono solúvel (Csol), fósforo orgânico (Porg), matéria orgânica (MO), potencial de mineralização do N. O quociente metabólico (qCO_2) e microbiano ($qMIC$) do solo foram calculados. Experimento (I): A avaliação foi realizada em amostras de solo coletadas após a colheita das culturas de verão do ano agrícola 2007/2008, na camada de 0-0,15 m de profundidade em um experimento conduzido sob sistema de semeadura direta, por seis anos. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com esquema de faixas com três repetições. As sequências utilizadas foram as monoculturas de soja (*Glycine max* L.) (SS) e de milho (*Zea mays* L.) (MM) e a rotação de culturas soja/milho (SM). As culturas de inverno foram milho, girassol (*Helianthus annuus* L.), nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.), milheto (*Pennisetum americanum* (L.) Leeke), guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp), sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) e crotalária (*Crotalaria juncea* L.). O conteúdo da biomassa microbiana-C, N e P do solo aumentou significativamente na sequência de verão soja/milho (SM) em relação às culturas contínuas. As interações SM-milheto e MM-sorgo influíram no conteúdo de CBM, SM-crotalária e SM-milheto no conteúdo de NBM e SM-crotalária, MM-nabo forrageiro e SS-sorgo no de PBM. A sequência de verão MM

propiciou o aumento do conteúdo de Corg e do qCO_2 no solo. O índice $qMIC$ do solo diminuiu em 73% nas sequências contínuas em relação à sequência SM. A análise dos componentes principais (CP) das sequências de verão mostraram forte influência das culturas sobre as propriedades do solo, sendo os maiores efeitos verificados na sequência SM. E as menores influências foram observadas nos solos das culturas de inverno girassol e milho. Os conteúdos de Corg e biomassa-C, N e P, o $qMIC$ e a atividade da desidrogenase foram altamente influenciados pelo tipo de rotação de culturas. Experimento (II): a incubação dos resíduos de cultura de soja e milho com tamanhos de partículas de 1 mm e 50 mm foi realizada no período de julho de 2008 a janeiro de 2009 conduzidas em um delineamento experimental no esquema fatorial (5 x 4) inteiramente casualizado com quatro repetições. A incubação dos resíduos das culturas de milho e soja com diferentes frações mostrou que a atividade respiratória e os atributos químicos como matéria orgânica, Csol e Porg diminuíram durante o período de incubação do solo, porém as atividades da desidrogenase, nitrificante, urease e fosfatase e o índice de pH aumentaram. Por outro lado, as atividades da desidrogenase, nitrificante, urease e fosfatase e o índice do pH aumentaram quando comparados ao controle, sem adição de resíduos, mas a atividade da fosfatase, o conteúdo de matéria orgânica e o índice pH não variaram. De modo geral, as frações de soja deram resultados mais claros que os do milho.

Palavras-Chave: Atividade microbiana, componentes principais, qualidade do solo, Carbono da biomassa microbiana, plantio direto, nutrientes disponível.

SOIL MICROBIOLOGICAL ALTERATION UNDER CROP ROTATION IN NO-TILLAGE SYSTEMS

SUMMARY - Crop rotation is a practice of growing dissimilar plants that can modernize and increase the farm economy in a sustainable form for adding more quality to the soil. The aims of this study were: (I) evaluate the effect of crop sequences under no-tillage systems on changes in the soil microbiological properties; (II) investigate the biochemistries changes during the incubation of the soil added with different sizes particles of soybean and corn. There were determined the contents of microbial biomass-C, N and P, the production of C-CO₂, the activities of the enzymes dehydrogenase, urease and phosphatase, the organic carbon (Corg), soluble carbon (Csol), organic phosphorous (Porg) and organic matter (MO) contents and the potential of mineralization N. The soil metabolic (*q*CO₂) and microbial (*q*MIC) quotients were calculated. Experiment (I): The evaluation was performed in soil samples collected after the summer crops harvest, on 2007/2008 growing season, at 0-0.15 m soil depth layer on an experiment conducted under no-tillage system through six years. The experimental had a completely randomized block design, in strips plots with three replications. The crop sequences were continuous soybean (*Glycine max* L.) (SS), continuous corn (*Zea mays* L.) (MM), and crop rotation soybean/corn (SM). Winter crops were corn, sunflower (*Helianthus annuus* L.), radish (*Raphanus sativus* L.), pearl millet (*Pennisetum americanum* (L.) Leeke), pigeon pea (*Cajanus cajan* (L.) Millsp), grain sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) and sunn hemp (*Crotalaria juncea* L.). The content of microbial biomass-C, N and P in the soil increased significantly in crop sequence SM compared to continuous crop. The interactions SM-millet and MM-sorghum influenced the content of biomass-C, SM-hemp and SM-millet in the biomass-N content and SM-hemp, MM-radish and SS-sorghum in the biomass-P content. The continuous sequence MM increase the Corg content and *q*CO₂. The *q*MIC decreased 73% in the continuous sequences in relation the crop sequence SM. The principal component analysis (PCA) showed that the summer crop

sequences influenced strongly the soil attributes soil, being the more effects found in the sequence SM. The smallest effects were found in the winter crops sunflower and corn. The Corg, biomass-C, N and P contents, qMIC, and the dehydrogenase activity were highly influenced by type of crop rotation. Experiment (II): the incubation of residues of soybean and corn with particle size of 1 mm and 5 mm were performed in the period of 2008 July to 2009 January, in a factorial randomized design (5 x 4), with four replications. The incubation of vegetable residues corn and soybean with different size showed that evolution C-CO₂ and the chemistry attributes as organic matter, Csol, and Porg contents decreased during the incubation period of the soil, however, the dehydrogenase, nitrificant, urease and phosphatase activities and the pH increased. The dehydrogenase, nitrificant, urease and phosphatase activities and the index pH increased when compared to the control, without addiction of residues, but the phosphatase activity, the contend organic matter and the pH do not varied. In overall, the addition of soybean showed influenced more the soil attributes than corn.

Keywords: microbial activity, principal components, soil quality, microbial biomass carbon, no-tillage, nutrient available.

1. INTRODUÇÃO

Diferentes sistemas de produção agrícola têm sido adotados extensivamente em todo o mundo para buscar a máxima produtividade, utilizando-se práticas que garantam uma agricultura sustentável. As atividades desenvolvidas sob a agricultura convencional podem depauperar os solos ao longo dos anos. A superfície do solo descoberta e aquecida excessivamente pelo sol, perde umidade rapidamente favorecendo à maior mineralização da matéria orgânica. Visando a melhoria das características e propriedades naturais do solo e objetivando uma menor manipulação do mesmo, vêm sendo adotados sistemas de manejos conservacionistas como o plantio direto.

O sistema plantio direto tem como característica principal o revolvimento do solo somente na linha de semeadura, mantendo os resíduos vegetais em sua superfície, minimizando, assim os efeitos erosivos das precipitações intensas que ocorrem em climas tropicais e aumentando a infiltração da água, devido a cobertura do solo pela adição de resíduos. Com isso, o plantio direto promove maiores benefícios ao solo em relação ao preparo convencional.

A rotação de culturas é outra prática conservacionista que se baseia no plantio agrícola com ciclo de diferentes espécies de culturas na mesma área visando a melhoria da estrutura, a fertilidade do solo, a produtividade e o controle de pragas e doenças. Este sistema também tem propiciado menor necessidade de fertilizantes, herbicidas e outros produtos químicos. Diferentes atributos físicos e químicos foram utilizados para caracterizar o efeito da utilização da rotação das culturas. Entretanto, as transformações decorrentes das sequências de culturas utilizando-se as características biológicas e bioquímicas não têm sido estudadas suficientemente.

Nos solos, os microrganismos ocorrem em grande número e variedades e têm um papel fundamental na transformação da matéria orgânica residual, contribuindo, desta forma, para a fertilidade do solo e nutrição das plantas. A atividade microbiana tem sido considerada pela literatura como um parâmetro

sensível para avaliar as variáveis microbiológicas. Além do mais, a influência dos microrganismos pode ser avaliada através do conteúdo da biomassa-C, N e P e da atividade enzimática responsável pelas transformações e disponibilidade de nutrientes no solo.

A atividade respiratória é uma das medidas que mais tem sido utilizada para avaliar a mineralização microbiana do solo. As comunidades dos microrganismos são influenciadas por fatores físicos e químicos do solo e pelas condições climáticas. O efeito dos resíduos da rotação de culturas sobre estes microrganismos precisa ser conhecido. A atividade enzimática microbiana pode refletir tanto o efeito da situação implantada como a disponibilidade de nutrientes e fertilidade do solo.

A decomposição dos resíduos pelos microrganismos é a chave para a ciclagem dos nutrientes no solo. No entanto, o melhor entendimento da decomposição de resíduos é importante para a adoção de um manejo adequado à proteção e manutenção da sustentabilidade de solo. Além disso, o tipo e o tamanho dos resíduos das plantas adicionados no solo são fatores que podem influenciar a decomposição destas frações, dentre outros fatores, tal como temperatura ambiente, tipo do solo, disponibilidade de nutrientes e de água e o contato do resíduo com o solo.

Com a redução do tamanho das partículas em decorrência do manejo agrícola, a área da superfície do resíduo com a matriz do solo pode aumentar, podendo ocorrer rápida decomposição das partículas menores do que as maiores. Além do tamanho das partículas, a quantidade do material vegetal adicionado ao solo pode influenciar muito a decomposição e disponibilidade dos nutrientes.

OBJETIVOS

Objetivos Gerais:

Experimento I

Avaliar o efeito do sistema de longa-duração (2002 – 2008) em semeadura direta com rotação/sucessão de culturas nas alterações da biomassa microbiana e sua atividade no solo, promovidas por diferentes culturas de verão/inverno.

Experimento II

Investigar as mudanças nos solos com adição das partículas de soja e milho com diferentes tamanhos durante o período de incubação.

Objetivos Específicos:

Experimento I

(i) Avaliar os efeitos do sistema de semeadura direta com sucessões/rotações de culturas sobre o carbono, nitrogênio e fósforo da biomassa microbiana do solo;

(ii) Estimar a atividade microbiana em amostras de solo coletadas em diferentes sistemas com sucessões/rotações de culturas.

(iii) Comparar e avaliar os atributos químicos e seus efeitos em diversos sistemas de manejo do solo com sucessões/rotações de culturas;

Experimento II

(i) Avaliar as transformações do C, N e P nos solos com adição dos diferentes tamanhos das partículas de resíduos de soja e milho;

(ii) Determinar a dinâmica das atividades microbianas do solo nas diferentes espécies vegetais e suas frações durante o período de incubação do solo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Sistema plantio direto

As ameaças de mudanças climáticas do planeta, e destruição da camada de ozônio, devido à evolução dos gases do efeito estufa, tornam necessário

melhores entendimentos dos processos que possam mitigar tais efeitos. Resumidamente, as práticas de manejo conservacionistas podem ter efeitos adversos a tais processos, possibilitando e otimizando ganhos econômicos, e agregando valores sustentáveis ao meio ambiente (DORAN e ZEISS, 2000). A tal ponto que a sociedade tem demonstrado interesse em agregar maior qualidade sob os agroecossistemas.

Segundo Gualberto et al. (2003), a agropecuária é uma atividade antrópica essencial para toda e qualquer sociedade, independente do nível de desenvolvimento. A grande questão contemporânea é saber como mantê-la produtiva sem afetar drasticamente os diferentes ecossistemas e ciclos biogeoquímicos.

Visando a melhoria das propriedades biológicas, químicas e físicas e menor manipulação do solo, vêm sendo adotados sistemas de manejos conservacionistas como o plantio direto (KLADIVKO, 2001). Este sistema foi introduzido no Brasil no início dos anos 70 e atualmente ocupa uma área de 25 milhões ha (FEBRAPDP, 2009) que se baseia nos três fundamentos básicos, sendo: (i) não revolvimento do solo, (ii) cobertura permanente na superfície do solo e, (iii) rotação de culturas.

A implementação de algumas práticas agrícolas podem mudar drasticamente o ambiente no perfil do solo. Green et al. (2007) verificaram que o plantio direto mantém alta atividade biológica do solo sendo sensíveis ao manejo em curto tempo. De modo geral, o sistema de plantio direto favorece a qualidade do solo, com capacidade de otimizar a produtividade mantendo a estrutura e integridade e a atividade biológica do solo (BARETA et al., 2005).

2.2 Rotação de culturas

Diversas práticas de manejo do solo influenciam o potencial da agricultura possibilitando minimizar certos impactos que normalmente causariam maiores

danos ao ambiente e agregando valor conservacionista com maiores níveis de sustentabilidade para o planeta. A rotação de culturas é uma prática recomendada para reduzir o potencial de inóculo de patógenos para as culturas posteriores que sucedem no mesmo local de plantio ou interromper o ciclo de determinadas pragas (ANDREOLA e FERNANDES, 2007).

Contudo, estudos tornam-se necessários para avaliar o efeito da rotação de culturas com longa duração sob plantio direto sobre os processos microbiológicos do solo. Segundo Kladvko (2001) é relevante a avaliação de diferentes rotações em sistema plantio direto, pois existem diferenças entre experimentos de curta e longa duração nas comunidades do solo, sendo necessária a documentação de diferentes locais, solo, culturas e clima.

O tipo de cultura bem adaptada ao clima regional é de fundamental importância podendo garantir, assim, um retorno econômico e melhorias nos atributos físicos e químicos do solo (MARTINS et al., 2009). Em adição, pode ainda promover a saúde do solo (DORAN e PARKIN, 1994; DORAN e ZEISS, 2000) e a capacidade produtiva (DORAN e PARKIN, 1994; MARTINS et al., 2009), atenuando as atividades da agricultura convencional associada ao uso intensivo ou ao manejo inadequado, que podem depauperar os solos ao longo dos tempos.

Alguns autores relatam que o efeito benéfico da rotação de culturas conduzida em plantio direto se deve à adição de palha no solo proveniente do acúmulo de resíduos vegetais nas camadas superficiais (COLOZZI-FILHO, 2000; KLADIVKO, 2001; FRANCHINI et al., 2007; GOVAERTS et al., 2008) promissores incremento no seqüestro de carbono (LAL, 2004), podendo conduzir o solo à uma melhor qualidade ambiental (FRANCO-VIZCAÍNO 1996) e ao estímulo das populações do solo (fauna, mesofauna e microfauna), tal como a biofuncionalidade do solo (AQUINO et al., 2008). Segundo Balota et al., (2004a), a rotação de culturas pode mudar o habitat dos microrganismos, devido à extração dos nutrientes pelas plantas, à profundidade das raízes e à quantidade de resíduos que permanecem no solo e seus diferentes componentes. Estes mesmos

autores relatam que a rotação de culturas pode estimular a biodiversidade e atividade biológica do solo comparada ao monocultivo.

A rotação de culturas tem favorecido o desenvolvimento da biomassa microbiana do solo (ANGERS et al., 1993; MERCANTE et al., 2008; STEENWERTH e BELINA, 2008; WRIGHT et al., 2008) e proporcionado condições para a recomposição da comunidade invertebrada (SILVA et al., 2006; SILVA et al., 2007). A maior diversificação vegetal promove maior diversidade de organismos invertebrados que incorporam ao solo os resíduos vegetais criando uma condição favorável ao ataque dos microrganismos (SILVA et al., 2006; AQUINO et al., 2008) e aumento da produtividade quando comparado ao sistema de manejo convencional (OTSUBO et al., 2008).

Kremer e Li (2003) verificaram maiores atividades enzimáticas em solos conduzidos em rotação de culturas que em sistemas convencionais manejados em monocultura. As enzimas dos solos atuam nas transformações metabólicas dos substratos orgânicos. Entretanto, possuem atividades específicas, na maioria das vezes produzidas por microrganismo, presentes no solo, podem ser acumuladas, permanecer ativas ou não, sua intensidade pode expressar o potencial de determinado processo bioquímico e faz parte de importantes processos necessários para a vida dos microrganismos do solo, acelerando a decomposição dos resíduos orgânicos, ciclagem dos nutrientes, a agregação do solo, bem como a formação da matéria orgânica (DICK 1994; BALOTA et al., 2004a). As enzimas comumente têm sido usadas para estimar as mudanças na qualidade do solo devido ao sistema de manejo e rotação de culturas (GIL-SOTRES et al., 2005; BALOTA et al., 2004a; GREEN et al., 2007).

2.3 Qualidade do solo

A ameaça às mudanças climáticas do planeta, destruição da camada de ozônio, devido a evolução dos gases do efeito estufa, torna-se necessário melhor entendimento nos processos que possam mitigar tais efeitos. Resumidamente, a

as práticas de manejo conservacionistas podem ter efeitos adversos a tais processos, possibilitando e otimizando ganhos econômicos, e agregando valores sustentáveis ao meio ambiente (DORAN e ZEISS, 2000). A tal ponto que a sociedade tem demonstrado interesse em agregar maior qualidade sob os agroecossistemas.

No entanto, o entendimento atual de qualidade do solo tem sido reforçado como o equilíbrio entre fatores geológicos, hidrológicos, físicos e biológicos do solo, desempenhando um importante papel no ambiente global. Tal importância está associada à regulação dos fluxos dos chamados gases de efeito estufa da atmosfera para o solo, através do sequestro de carbono, servindo como filtro vivo, reciclando os elementos e os transportando no ecossistema (VAN BRUGGEN e SEMENOV, 2000; SPOSITO e ZABEL, 2003).

Neste sentido, a qualidade do solo tem sido destacada num aspecto mais amplo e pode ser definida como a capacidade de um tipo específico de solo funcionar, dentro do limite do ecossistema manejado ou natural, como sustento para a produtividade de plantas e animais, de manter ou de aumentar a qualidade da água e do ar e de promover a saúde humana (DORAN e PARKIN, 1994).

De modo geral a qualidade do solo propõem uma maior elucidação de características que sirvam como indicadores das mudanças ambientais dos agroecossistemas com capacidade de otimizar a produtividade mantendo a estrutura e integridade a atividade biológica do solo.

2.4 Efeito dos atributos microbiológicos em agroecossistemas

Os microrganismos são responsáveis pelos processos de mineralização, representando eles próprios quantidade considerável de nutrientes potencialmente disponíveis para as plantas. Desta forma, as comunidades microbianas são a chave para qualidade do solo devido ao seu alto envolvimento com a dinâmica da matéria orgânica, ciclagem dos nutrientes e processos de decomposição e

biorremediação de xenobióticos. Neste sentido, a qualidade do solo pode ser definida como a capacidade de um tipo específico de solo funcionar, dentro do limite do ecossistema manejado ou natural, como sustento para a produtividade de plantas e animais, de manter ou de aumentar a qualidade da água e do ar e de promover a saúde humana (DORAN e PARKIN, 1994).

Entretanto, a biomassa microbiana tem sido definida como a porção viva da matéria orgânica, excluindo-se raízes e os animais maiores do que $5.10^{-3} \mu\text{m}^3$ (JENKINSON e LADD, 1981; DE-POLLI e GUERRA, 1999; TÓTOLA e CHAER, 2002), sendo constituída por bactérias, fungos, actinomicetos, algas e protozoários. Frequentemente a determinação dos microrganismos do solo tem sido feita pela estimativa do C e N da biomassa microbiana (BENINTEDE et al., 2008). Além do mais, a mensuração da biomassa microbiana-C e N pode detectar o efeito do manejo e da rotação de culturas (BALOTA et al., 1998).

Particularmente, a biomassa microbiana do solo tem sua atividade avaliada pela evolução do CO_2 *in situ* ou em laboratório e tem sido sugerida como um indicador sensível da condição ambiental (DE-POLLI e GUERRA, 1997; VARGAS, 2003) por ser uma das poucas frações da matéria orgânica do solo que prediz o acúmulo de C e N no solo (MARIANARI et al., 2006; LOGOMARSINO et al., 2009) e poder apresentar significativas diferenças entre os sistemas de manejo (GARCIA e NAHAS, 2007) e poluição do solo (POWLSON, 1987).

A razão entre o CO_2 evoluído e o *pool* de carbono da biomassa microbiana fornece o quociente metabólico ou taxa de respiração específica ($q\text{CO}_2$), que indica o nível metabólico dos microrganismos e pode ser utilizada como um indicador de estresse/perturbação ou estabilidade do agroecossistema (DE-POLLI e GUERRA, 1997; GIL-SOTRES et al., 2005).

Embora todas as propriedades física, química, biológica e bioquímica estejam envolvidas nas funções do solo, as propriedades bioquímicas e biológicas tendem a reagir mais rapidamente em curto prazo às mudanças do ambiente, por estarem ligadas diretamente ao número e atividade da biota do solo, bem como associadas com propriedades de decomposição de componentes orgânicos e

ciclagem dos elementos biogeoquímicos (GREEN et al., 2007; TRASAR-CEPEDA et al., 2008), em geral usadas para estimar a qualidade pelo manejo do solo (DORAN, 2002; GARCIA e NAHAS, 2007).

Desta forma, um solo de alta qualidade pode possuir atividade biológica intensa com populações microbianas balanceadas (DE POLLI e GUERRA, 1997; TÓTOLA e CHAER, 2002), sendo vários os indicadores microbiológicos que podem fornecer uma estimativa de qualidade dos agroecossistemas entre os diferentes usos da terra (GIL-SOTRES et al., 2005; MARINARI et al., 2006).

Os parâmetros bioquímicos comumente utilizados para estimar as mudanças na qualidade do solo compreendem as associações da biomassa microbiana do solo às atividades enzimáticas das enzimas desidrogenase, urease, fosfatase e β -glucosidase e a capacidade de mineralização do nitrogênio (GIL-SOTRES et al., 2005). A atividade microbiana do solo pode dar indicações das transformações bioquímicas, especialmente em sistemas envolvendo manejo das culturas e do solo, rotação de culturas e adições de resíduos orgânicos (PALMA et al., 2000; TRASAR-CEPEDA et al., 2008; WILSON e AL-KAISI, 2008; LOGOMARSINO et al., 2009). Contudo, o cultivo mínimo tal como plantio direto com o mínimo de distúrbio do solo, e diversas rotações de culturas são práticas que podem promover e manter melhor qualidade do solo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Experimento I

3.1.1 Caracterização da área experimental e sistemas de manejo cultural

O estudo foi conduzido no período 2007/2008, safras inverno/verão, no campo experimental da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Campus de Jaboticabal (FCAV-UNESP), localizada ao norte do Estado de São Paulo,

Figura 1. Croqui esquemático de campo de um único bloco experimental. E sequência de espécies utilizadas nos cultivo de verão/inverno na área experimental da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Campus de Jaboticabal (FCAV-UNESP).

Cada parcela ocupa uma área de 600 m² (40 m de comprimento por 15 m de largura cada), nas avaliações respeitou-se o efeito bordadura, tornando assim a área útil da parcela de 20 m de comprimento por 10 m de largura que corresponde a 200 m².

As recomendações técnicas para as culturas, como adubação de plantio e cobertura, espaçamento, densidade de semeadura e população final de plantas, foram mantidas, nos diferentes anos agrícolas. Os critérios para adubação foram seguidos os recomendados por Raij et al. (1997) com base na análise química do solo, sendo utilizada uma adubação de 350 kg ha⁻¹ da fórmula 08-28-16 para as culturas de verão, e também foi feita uma aplicação de cobertura nas culturas de milho de 300 kg ha⁻¹ da fórmula 30-00-10. Nos plantios das culturas de inverno foram realizadas sem adubação. Também foram utilizadas tecnologias de aplicação quando necessário de inseticidas e fungicidas nas diferentes culturas, sendo aplicado produtos comerciais nas épocas e doses recomendadas pelos fabricantes.

3.1.2 Amostragem e tratamento das amostras de solo

Um mês após a colheita de verão, foram retiradas as amostras de solo, na profundidade de 0-15 cm em três pontos em um transecto diagonal na parcela, e compostas de doze subamostras em cada ponto, coletadas com auxílio de um trado holandês em uma área útil de 200 m² de forma casualizada na entrelinha. As amostras foram levadas ao laboratório (dentro de 5 h após a coleta), reunidas peneiradas em malha de 2 mm e divididas em duas frações: uma parte das amostras, para as análises microbiológicas, foram mantidas a 4° C em câmara fria, e a outra parte, para as determinações químicas, foram secas ao ar e

conservadas em temperatura ambiente. As determinações das variáveis microbiológicas e químicas foram realizadas no Laboratório de Microbiologia Agropecuária da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Campus de Jaboticabal (FCAV/UNESP).

3.1.3 Delineamento experimental e análise estatística

Na implantação do modelo físico dos sistemas de produção em semeadura direta (plantio direto), foi estabelecido o delineamento experimental em blocos casualizados, no esquema de faixas com 21 tratamentos com três repetições, totalizando assim 63 parcelas. Os tratamentos foram constituídos pela combinação de três sequências de culturas de verão com sete culturas de inverno como relatado anteriormente. Os resultados das variáveis avaliadas foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Também foram efetuados testes do coeficiente de correlação para os dados microbiológicos em função dos atributos químicos do solo. Além disso, os parâmetros microbiológicos e químicos foram submetidos a análise dos componentes principais. As análises estatísticas foram processadas com auxílio dos softwares SAS “statistical package” e software Statistica (versão 6.0, StatSoft).

3.2 Experimento II

3.2.1 Caracterização experimental das diferentes espécies de resíduo

O estudo foi conduzido no período de 6 meses, no laboratório de Microbiologia Agropecuária da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias,

Campus de Jaboticabal (FCAV-UNESP). O solo utilizado foi coletado na camada de 0-15 cm, classificado como Latossolo Vermelho eutrófico, com textura argilosa (EMBRAPA, 1999). A temperatura média do ambiente onde foram mantidos os frascos durante 120 dias foi de 26,4°C com temperatura mínima de 20°C em setembro e máxima de 32 °C em dezembro.

A amostragem da palha foi feita em um experimento conduzido desde 2002 em monocultura soja e milho que consistia de folhas, colmo e ramos coletados após a colheita da safra 2007/2008, mais precisamente no mês de março, na superfície do solo.

Em frascos de 2,5 L foram adicionados 250 g de solo e 1g de palha das diferentes espécies vegetais soja e milho (quantidade de palha correspondente a de 8 t ha⁻¹) com diferentes tamanhos de partículas, sendo homogeneizados de forma que a palha aumentasse o contato com o solo e equilibrando a capacidade de retenção de água para 60%, posteriormente fechados (microcosmos) e pesados para equilibrar o conteúdo de água durante o decorrer do experimento. Foi adicionado água deionizada nos frascos por duas vezes, no dia 12 de agosto de 2008 e 02 de setembro de 2008, não sendo mais necessário no decorrer do experimento equilibrar o conteúdo de água no solo. Assim, os tratamentos foram constituídos pelo: milho e soja com partículas de 1 mm e 50 mm, e um tratamento sem palha adotado como controle.

3.2.2 Amostragem dos solos

A amostragem foi realizada em quatro épocas (zero, 30, 60 e 120 dias após instalação do experimento), sendo retirado 20 frascos (4 unidades de cada tratamento). A atividade respiratória do solo foi medida de sete em sete dias durante o decorrer do experimento. As demais variáveis foram analisadas nas referentes épocas de coleta, tendo parte deste solo permanecido em câmara fria para as análises microbiológicas, feitas imediatamente após a coleta e parte foi

seco ao ar livre para as análises químicas do solo no Laboratório de Microbiologia Agropecuária da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Campus de Jaboticabal (FCAV/UNESP).

3.2.3 Delineamento experimental e análise estatística

Na implantação do modelo físico das diferentes espécies de culturas com distintos tamanhos foi estabelecido em um delineamento experimental o esquema fatorial (5 x 4) inteiramente casualizado com quatro repetições. Os resultados das variáveis avaliadas foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Adicionalmente, os atributos microbiológicos e químicos obtidos ao longo dos períodos de incubação foram submetidos à análise de regressão polinomial, a 5% de probabilidade.

A interação entre os tratamentos e o tempo de decomposição foi significativa para todos os atributos avaliados, exceto matéria orgânica do solo (MO). Para melhor entendimento e atendendo diretamente ao objetivo proposto, optou-se pelo desdobramento dos resultados dentro das combinações duplas entre (tamanho das partículas vs tempo de incubação).

3.3 Análises microbiológicas

3.3.1 Carbono da biomassa microbiana do solo (CBM)

O carbono da biomassa microbiana do solo foi determinado pelo método da fumigação-extração, proposto por Vance et al. (1987). Inicialmente, as amostras de solo foram umedecidas a uma capacidade de retenção de campo 60 %, logo pesadas em triplicatas, sendo três amostras (10,0 g) fumigadas com clorofórmio previamente purificado e permanecendo por um período de 24 h e outras três

seguiram para extração imediata. A extração das amostras fumigadas e não fumigadas, foi feita utilizando 50 mL de K_2SO_4 $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ com pH de 6,5–6,8. Em seguida, foi feita a determinação do C por dicromatometria, onde foram transferido uma alíquota de 8,0 mL do extrato para um erlenmeyer de 250 mL, adicionaram-se 2,0 mL de dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) $0,066 \text{ mol L}^{-1}$, e 5,0 mL de ácido orthofósforico, e 10,0 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4) levados a fervura branda e em seguida a titulação com sulfato ferroso amoniacal $[(NH_4)_2 Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O]$ $0,033 \text{ mol L}^{-1}$. As diferenças entre as amostras fumigadas e não-fumigadas foram multiplicadas pelo fator de conversão K_{ec} 2,64, para cálculo do C da biomassa microbiana (VANCE et al., 1987).

3.3.2 Nitrogênio da biomassa microbiana do solo (NBM)

O N da biomassa microbiana foi determinado nos mesmos extratos obtidos para a determinação do C da biomassa microbiana. Utilizando-se o método de Kjeldahl. As diferenças entre as amostras fumigadas e não-fumigadas foram divididas pelo fator de conversão K_{en} 0,54, para cálculo do N da biomassa microbiana (BROOKES et al., 1985). A determinação do N da biomassa microbiana do solo foi feita em tubos digestores onde adicionaram-se 5,0 mL do extrato e 5,0 mL da mistura digestora, que procedeu-se a digestão por três horas (até obter uma solução clara levemente azulada). Após a digestão esperou-se os tubos esfriarem para lavar-se as paredes do tubo com H_2O destilada. Já na destilação foram acrescentados 15,0 mL de hidróxido de sódio (NaOH) $15,0 \text{ mol L}^{-1}$, recolhendo-se 40,0 mL em erlenmeyer de 50,0 mL, com 5,0 mL da solução indicadora previamente pipetada. Ao final procedeu-se a titulação com (H_2SO_4) $0,001 \text{ mol L}^{-1}$, até ocorrer a mudança da cor verde para a rosa.

3.3.3 Fósforo da biomassa microbiana (PBM)

O método utilizado para quantificar o fósforo da biomassa microbiana foi o proposto por Brookes et al. (1982). Foram pesados 10,0 g de solo úmido em béquer, sempre em triplicatas, sendo três amostras fumigada, outras três para serem adicionado 25µg de fosfato de potássio (KH_2PO_4) g^{-1} solo seco e três não-fumigada considerada como controle. As amostras fumigadas foram colocadas dentro do dessecador com 30 mL de água destilada e 50 mL de clorofórmio purificado. Este conjunto foi submetido por 5 minutos a vácuo até o clorofórmio borbulhar. Em seguida foi mantido por 24 horas em estufa incubadora para a fumigação a 25°C. As amostras não-fumigadas e as amostras contendo 25 µg P (KH_2PO_4) g^{-1} solo seco também foram incubadas por 24 horas, em estufa incubadora a 25 °C. A extração do fósforo do solo foi com adição de 200 mL de solução extratora de bicarbonato de sódio (NaHCO_3) 0,5 mol L^{-1} , com pH ajustado a 8,5. Para a determinação do fósforo foi utilizado o método proposto por Watanabe e Olsen (1965). Foram pipetados 2 mL do filtrado em tubo de ensaio, onde foram adicionados 2 mL de solução de ácido sulfúrico (H_2SO_4) 1,437 mol L^{-1} e 0,8 mL de reagente (B). As amostras foram incubadas a 45 °C em banho-maria durante 20 minutos. Feita a incubação realizou-se a leitura em espectrofotômetro com absorbância de 820 nm. Procedimento este, sendo realizado com os três conjuntos de amostras (fumigadas, não-fumigadas e com adição de fósforo). Em cada avaliação foi realizada absorbância em amostras em branco sendo a prova, para comparação.

3.3.4 Atividade respiratória microbiana ou respiração basal (C-CO₂)

Experimento I

A atividade respiratória (evolução de CO_2) foi quantificada em amostras de 100g de solo, estas foram colocadas em dois frascos individualizados. Um com 20 mL de água destilada e outro com 20 mL de hidróxido de sódio (NaOH) 1,0 mol L^{-1}

incubando dentro de um mesmo recipiente, para absorver o CO_2 liberado pela respiração microbiana. Após um período de incubação de sete dias a 28°C foram feitas as titulações do hidróxido de sódio (NaOH) $1,0 \text{ mol L}^{-1}$ com ácido clorídrico (HCl) $1,0 \text{ mol L}^{-1}$ (REZENDE et al., 2004), acrescentando-se 2 mL de solução saturada de cloreto de bário (BaCl_2) 30% para a precipitação do carbonato de sódio (Na_2CO_3), e três gotas de solução de fenolftaleína 1%. Titulou-se a solução até a viragem da cor rosa escuro para a incolor. O cálculo do dióxido de carbono (CO_2) liberado foi dado pela diferença entre os volumes de ácido clorídrico (HCl) gastos para titular a amostra de soda no frasco com solo e na prova em branco, transformando estes valores para massa de dióxido de carbono (CO_2) por massa de solo.

Experimento II

A atividade respiratória (evolução de CO_2) foi quantificada em amostras com equivalente a $8 \text{ ton ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de resíduo com diferentes tamanhos das partículas das espécies vegetais de soja e milho. Não havendo respostas significativas das partículas com tamanhos diferenciados, optou-se por um próximo teste com 28 e $58 \text{ ton ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, respectivamente com procedimento descrito anteriormente no experimento I.

3.3.5 Determinação do quociente metabólico ($q\text{CO}_2$)

O quociente metabólico foi definido pela relação entre respiração e o C da biomassa microbiana, conforme (ANDERSON e DOMSCH, 1990): ($\mu\text{g C-CO}_2 / \mu\text{g CBM}^{-1} \text{ h}^{-1}$).

3.3.6 Determinação do quociente microbiano ($q\text{MIC}$)

Os índices da qualidade nutricional da matéria orgânica foram expressos pelo quociente microbiano, definido pela relação entre o C da biomassa microbiana e o C orgânico total do solo (SPARLING, 1992).

3.3.7 Atividade enzimática da desidrogenase.

A atividade da desidrogenase foi determinada pelo método de Casida et al. (1977), sendo expressa em μg do produto da reação liberado por grama de solo seco. Pesaram-se 3,0 g de solo seco em tubos de ensaio em triplicatas, 0,03 g carbonato de cálcio (CaCO_3), adicionando 0,5 mL da solução aquosa de trifenil de cloreto tetrazolím 3%, posteriormente a isto acrescentou-se 1,3 mL de água, incubando a 37°C por 24 horas em banho-maria. Após, o período de incubação o solo então foi lavado com 10 mL de metanol P.A agitando-se vigorosamente, com posterior filtragem, e assim procedeu-se por mais duas vezes, totalizando 30,0 mL. A leitura foi realizada com espectrofotômetro em absorvância de 485 nm.

3.3.8 Atividade enzimática da urease.

A atividade da urease foi expressa em μg do produto da reação liberado por grama de solo seco. Sendo assim, determinada com a incubação de 2,0 g de solo seco, em tubos de ensaio em triplicatas, sendo que para cada tubo existia um teste e outro controle. Adicionou-se 0,1 mL de tolueno puro em cada tubo, que foram deixados em repouso, por 15 minutos, e foram acrescentados 2,0 mL de tampão fosfato (KH_2PO_4) 0,1 mol L^{-1} com pH de 6,7 e adicionou-se 1,0 mL de uréia 10% (p/v) (10,0 g de uréia em 100 mL de H_2O) nos tubos testes. Os tubos foram agitados levemente e incubados em banho-maria, a 37°C, por três horas (McGARITY e MYERS, 1967). Para cada teste havia um controle que foi

adicionado 1,0 mL de uréia após o término da incubação. Ao mesmo tempo foram acrescentados em todos os tubos 3,0 mL de água deionizada e agitaram-se os tubos vigorosamente. Destes tubos foram retirados uma alíquota de 2,0 mL que tiveram seus pesos equilibrados e centrifugados a 10.000 rotações por minuto (rpm), por 10 minutos. O sobrenadante foi armazenado em frascos de 5,0 mL para posterior determinação. Para a determinação foram utilizados uma alíquota de 0,1 mL do extrato centrifugado, adicionaram-se 2,1 mL de água deionizada, 0,5 mL de fenolato, e 0,3 mL de hipoclorito 0,9% de cloro ativo, agitaram-se vigorosamente os tubos e foram mantidos em repouso por uma hora a temperatura ambiente. Após o período de incubação foi feita a leitura em absorbância com espectrofotômetro no comprimento de onda correspondente a 630 nm. Os resultados foram calculados a partir de uma curva padrão com solução de sulfato de amônia.

3.3.9 Atividade enzimática da fosfatase acida.

A atividade da fosfatase ácida também foi expressa em μg do produto da reação liberado por grama de solo seco, sendo realizada conforme Tabatabai e Bremner (1969). Pesaram-se 0,20 g de terra fina seca ao ar (TFSA), em triplicatas em tubos de ensaio, e adicionaram-se 4,0 mL de solução tampão acetato a $0,1 \text{ mol L}^{-1}$, com pH ajustado a 5,4, em todos os tubos, e foram incubados a 37°C por cinco minutos em banho-maria para equilibrar a temperatura. Posteriormente adicionaram-se 1,0 mL do substrato p-nitrofenil fosfato $30 \mu\text{mol L}^{-1}$, nos tubos testes e agitaram-se levemente os tubos, e os mantiveram em banho-maria por 30 minutos a 37°C . Para cada tubo teste havia um tubo controle. Ao término da incubação foram adicionados 1,0 mL da solução de cloreto de cálcio (CaCl_2) $0,5 \text{ mol L}^{-1}$, posteriormente 4,0 mL de hidróxido de sódio (NaOH) $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ em todos os tubos, e 1,0 mL do substrato p-nitrofenil fosfato a $30 \mu\text{mol L}^{-1}$, somente nos tubos controle. Sendo em seguida feita a leitura em espectrofotômetro com

absorbância em comprimento de onda correspondente 405 nm. Os resultados foram calculados a partir de uma curva padrão com solução de p-nitrofenol.

3.3.10 Potencial de mineralização do N.

A atividade nitrificante do solo foi determinada conforme Schimdt e Belser (1994). Foram pesados 12 g de solo úmido em placas de petri, com duas repetições cada amostra de solo, uma com e outra sem adição de 20 μg $\text{NH}_4\text{-N}$ ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) g^{-1} de solo seco. A capacidade de campo foi ajustada para 60%. Depois, as amostras foram incubadas em estufa BOD, por 14 dias, a 30°C. Após o período de incubação, 10 g de solo de cada amostra, com e sem NH_4 , foram pesadas e transferidas para um erlenmeyer de 125 mL. A extração foi feita adicionando-se 50,0 mL de solução extratora, cloreto de potássio (KCl) 1 mol L^{-1} . Agitou-se por uma hora, em agitador horizontal, e filtrou-se a mistura em papel filtro, cujo filtrado foi acondicionado em câmara fria (7°C) até o momento da determinação. Para a determinação por titulação foi utilizado o método proposto por Keeney e Nelson (1982). A determinação da amônia ($\text{NH}_4\text{-N}$), em tubo digestor com saída lateral, foram acrescentados 10,0 mL do filtrado e levado ao destilador onde foi adicionado pela saída lateral do tubo, 0,2 g de óxido de magnésio. Em seguida, foram recolhidas 40,0 mL, em erlenmeyer de 50,0 mL, contendo 5,0 mL de solução indicadora, previamente pipetada. Titulou-se o destilado com solução de ácido sulfúrico 0,0025 mol L^{-1} até a mudança da cor verde para rosa. Utilizou-se a mesma amostra que estavam nos tubos digestores com saída lateral e, após seu resfriamento, foi acrescentado 1 mL de ácido sulfâmico 1% (p/v) que foi levado ao destilador onde foi acrescentado, pela saída lateral do tubo, 0,2 g de liga devarda. Em seguida, recolheram-se 40,0 mL, em erlenmeyer de 50,0 mL, contendo 5,0 mL de solução indicadora, previamente pipetada. Titulou-se o destilado com solução de ácido sulfúrico 0,0025 mol L^{-1} até a mudança da cor verde para rosa. Determinou-se assim a presença de nitrato

(NO₃) nas amostras. O mesmo procedimento foi utilizado para as amostras com e sem NH₄. Em cada avaliação, determinou-se um branco substituindo-se o extrato por 10,0 mL de cloreto de potássio (KCl) 1 mol L⁻¹.

3.4 Análises Químicas do Solo

3.4.1 Nitrogênio Total Kjeldahl

O nitrogênio total foi determinado conforme proposto por Bremner e Mulvaney (1982). Pesou-se 1 g de solo seco em tubo de ensaio tipo Kjeldahl de 100 mL e adicionaram-se 1,1 g de mistura catalítica e 3,0 mL de ácido sulfúrico concentrado, procedendo-se a digestão, por 3 horas. Após o resfriamento do frasco, completou-se, com uma proveta o volume para 15,0 mL com água deionizada. Em seguida, procedeu-se a destilação. Adicionaram-se 20,0 mL de NaOH 10,0 mol L⁻¹, iniciando-se a destilação do nitrogênio, recolhendo-se 30,0 mL em erlenmeyer de 50,0 mL, contendo, previamente pipetado, 5,0 mL de solução indicadora de ácido bórico. Titulou-se o destilado com solução de ácido sulfúrico 0,02 mol L⁻¹ até a mudança da cor verde para rosa. Em cada avaliação, fez-se um branco omitindo-se o solo. O teor de nitrogênio total foi calculado com base na reação de que cada 2 moléculas de NH₄ reagem com 1 molécula de H₂SO₄.

3.4.2 Carbono orgânico

O teor de carbono orgânico foi determinado pelo método proposto por Sims e Haby (1971). Pesaram-se 1,0 g de solo seco em erlenmeyer de 250 mL, adicionaram-se 10,0 mL de solução de bicromato de potássio (K₂Cr₂O₇) 0,166 mol L⁻¹ e 20,0 mL de ácido sulfúrico P.A., deixou-se a mistura em descanso por 20,0 minutos, em temperatura ambiente. Ao término deste período, o volume foi

ajustado para 100 mL com água deionizada, tomaram-se a alíquota de 7,0 mL para ser centrifugada a 3500 rotações por minuto (rpm), por 10 minutos. Recolheu-se o sobrenadante em tubo de 18x180, com posterior determinação calorimétrica. A leitura foi realizada em espectrofotômetro no comprimento de onda correspondente a 600 nm. O parâmetro tomado como controle (branco) foi feito omitindo-se o solo. O teor de carbono orgânico foi calculado com base numa curva padrão determinada com solução de sacarose 7%, seca a 105°C, por uma hora.

3.4.3 Carbono solúvel

O teor de carbono solúvel em água foi determinado conforme Sims e Haby (1971). Pesou-se 1,0 g de solo seco em tubo de ensaio, acrescentou-se 5,0 mL de água destilada e deixando por 30 minutos em banho-maria a 100°C. Após o término deste período agitou-se levemente a amostra e aguardando-se mais 5,0 minutos para que a amostra decantasse podendo assim retirar uma alíquota de 2,0 mL para que fosse centrifugada a 3500 rpm, com o sobrenadante sendo recolhido. Para a determinação foram utilizados 0,3 mL do extrato, acrescentando 3,0 mL de solução de antrona, agitando-se vigorosamente, levou ao banho-maria novamente por 10 minutos. Ao término do tempo de incubação retirou-se as amostras do banho-maria e aguardou-se que a amostra esfria-se para posterior realização de leitura em espectrofotômetro em um comprimento de onda de 607 nm. O teor de carbono solúvel foi calculado com base numa curva padrão determinada com solução de sacarose 7%, seca a 105°C, por duas horas.

3.4.4 Fósforo orgânico do solo

O método utilizado foi proposto por Saunders e Willians (1955). Pesaram-se 4,0 g de solo seco em cadinho de porcelana, levando a mufla a 550°C, por 30 minutos. Após a ignição, deixou resfriar, transferindo o solo para um erlenmeyer de 250 mL. Como controle, as amostras foram colocados diretamente 4.0 g de solo seco nos erlenmeyer. Foram acrescentados 100 mL de solução de ácido sulfúrico 0,05 N e agitando-se circular vigorosamente por 15 minutos. Filtrou-se o conteúdo em papel filtro para, em seguida, proceder a determinação. Foram pipetados 4,0 mL do filtrado em tubo de ensaio e adicionou-se 0,1 mL de solução de cloreto estanhoso 1,0%, agitando-se e mantendo em repouso por 10 minutos, procedendo a leitura em da absorbância no comprimento de onda de 660 nm. O teor de fósforo orgânico foi calculado com base numa curva padrão determinada com solução composta de 0,04393 g de KH_2PO_4 dissolvido em 100 ml com ácido sulfúrico 0,05 N, obtendo-se $10 \mu\text{g P mL}^{-1}$.

3.4.5 pH do solo.

O pH do solo foi determinado por meio do método proposto por Raij et al. (1997). Foi pesado 10,0 mL de solo seco em erlenmeyer de 125 mL. Adicionou-se 25,0 mL da solução de cloreto de cálcio (CaCl_2) 0,01M permanecendo em repouso por 15 minutos, para umedecer a amostra, antes de serem levados para agitação circular vigorosa, por cinco minutos. Após agitação, as amostras ficaram em repouso por trinta minutos, para que houvesse a precipitação da suspensão do solo e, posteriormente, foi feita a leitura do pH em um leitor de pH.

3.4.6 Matéria orgânica do solo.

O teor de matéria orgânica do solo foi determinado pelo método de incineração, onde foram pesados 10,0 g de solo seco em triplicatas nos cadinhos

com seus pesos já aferidos e acondicionados em mufla a 550 °C por 24 horas. Após este período aguardou-se um tempo de aproximadamente 3 horas para o resfriamento da mufla para 100°C, a fim de que as amostras fossem retiradas e colocadas em um dessecador com sílica indicadora no seu interior, seguida da pesagem do cadinho mais amostra após combustão. A matéria orgânica foi determinada pela diferença de peso obtido, ou seja, amostra seca, menos amostra após a combustão, teores estes expressos em (%) de matéria orgânica do solo em 100 g de solo seco.

3.5 Material vegetal

A realização das análises foliares das espécies vegetais soja e milho, foram moídas em micro-moinho com tamanho das partículas de 1 mm.

A análise da relação C/N foi realizada na Universidade de São Paulo, nas dependências da ESALQ/CENA pela Dr. Marisa de Cássia Piccolo.

3.5.1 Substâncias solúveis

Para a determinação das substâncias solúveis, foram utilizados cadinhos com placa porosa nº5, acondicionados em estufa a 105°C por 24 horas, ao término deste período foram colocados em dessecador resfriados e tarados, pesou-se então 0,5 g de resíduos vegetais, os cadinhos foram colocados dentro de becker de 100 mL de forma que não sobrasse muito espaço entre o cadinho e o becker. Nas amostras foram adicionados 50,0 mL de água deionizada e levados a banho-maria por 1 hora a 100 °C (cozidos gentilmente). Após o término deste tempo foi retirado o remanescente de água dos cadinhos com auxílio da bomba a vácuo, de forma que permanecessem somente os respectivos resíduos e enxaguadas três vezes com 30 mL de água deionizada fria com o auxílio da

bomba a vácuo para retirar a água por filtração e levados nos próprios cadinhos para a estufa com temperatura de 75°C por 18 horas e determinada a massa novamente ao término da secagem. A massa perdida foi definida pelos componentes solúveis em solução de água quente (SUMMERELL E BURGESS, 1989).

3.5.2 Celulose e lignina

Para determinação dos teores de celulose e lignina foi utilizado o método de fibras em detergente ácido (FDA) de Van Soeste e Wine (1968), que se baseia na separação das diferentes frações constituintes do material, utilizando-se ácido sulfúrico e cetiltrimetil amônio bromídrico (CTAB).

Os resíduos determinados das substâncias solúveis em água com o cadinho foram acondicionados em becker de 100 mL (como descrito anteriormente) para manter a solução em contato com a folha. Adicionou-se 50,0 mL da solução de detergente ácido (28,5 mL de H_2SO_4 ; 20 g de CTAB em 1000 mL de água deionizada), em seguida as amostras foram colocadas em autoclave por 50 minutos a 0,5 Kgf/cm². Posteriormente, sem abrir o registro de saída do vapor com a autoclave já fria a solução de cada cadinho de placa porosa nº 5 foi retirada por filtração com auxílio do sistema a vácuo, enxaguada uma vez com 30,0 mL de acetona e três vezes com 30 mL de água morna, para retirar o restante da solução. As amostras foram levadas a estufa e secas à 75°C por 18 horas e, então, pesadas novamente. Através deste procedimento foram eliminados o amido e os componentes nitrogenados restando, assim, celulose lignina e cinzas.

Nestes mesmos cadinhos porosos nº 5 contendo os resíduos da determinação de FDA, foi adicionado a solução de ácido sulfúrico 72% (734 mL de H_2SO_4 ; 266 mL de água deionizada de um ácido a 98%) fazendo com que a celulose retirada pelo ácido passe lentamente pela placa porosa durante 3 horas,

havendo necessidade de adicionar solução de ácido sulfúrico 72% constantemente e mexer durante o processo. Após as três horas, retirou-se o restante da solução através da filtração a vácuo. Os resíduos foram enxaguados três vezes com 10mL de acetona e três vezes com 30 mL de água morna para retirar o restante do ácido sulfúrico 72%. As amostras foram secas em estufa a 75°C por 18 horas e pesadas novamente, restando ape nas lignina e as cinzas.

Após este procedimento as amostras foram levadas a mufla em seus respectivos cadinhos a 550°C por três horas, após o resfriamento, foram retiradas e colocadas em um dessecador com sílica indicadora de umidade. Repesou-se os cadinhos mais cinzas. A quantidade de celulose (%) e lignina (%) foi determinada através da fórmula desenvolvida por Anderson e Ingram, (1996).

$$\%FDA = [(tara + FDA) - tara \text{ do cad.}] - [(tara + cinzas) - tara \text{ do cad}] \times 100 /$$
 peso da amostra.

4. RESULTADOS

4.1 Efeito do sistema plantio direto em rotação de culturas

Os resultados da análise de variância mostraram o significativo efeito da interação dupla (das sequências de verão x culturas de inverno) sobre os conteúdos de C, N e P da biomassa microbiana (CBM, NBM e PBM, respectivamente), carbono orgânico (Corg), atividade da desidrogenase, respiratória, quociente microbiano (qMIC) e do quociente metabólico (qCO_2), com valores desdobrados para melhor atender o objetivo do estudo. Por outro lado, a atividade da fosfatase e da urease e o conteúdo de matéria orgânica do solo não apresentaram interações significativas.

A variabilidade obtida nos conteúdos de CBM nos solos foram de 108,58 a 234,71 $\mu\text{g de C g}^{-1}$ solo seco na sequência da SS, 60,79 a 353,64 $\mu\text{g de C g}^{-1}$ solo seco na sequência MM e 119,09 a 510,99 $\mu\text{g de C g}^{-1}$ solo seco na sequência SM (Tabela 1). Os significativos e altos teores de CBM nos solos foram verificados na

sequência SM, principalmente após as culturas de crotalária, girassol, milho e nabo forrageiro. A sequência MM incrementou significativamente os teores de CBM nos solos após a cultura do sorgo. A sequência SS resultou em altos teores de CBM após o cultivo do guandu com similares resultados a sequência SM.

Quanto às culturas de inverno o maior teor de CBM nos solos foi verificado na cultura do SM-milho. A cultura MM-sorgo também proporcionou incrementos nos teores de CBM do solo (Tabela 1).

Tabela 1. Carbono da biomassa microbiana (CBM) do solo devido ao cultivo das sequências de verão e culturas de inverno.

Culturas de Inverno ⁽¹⁾	Sequências de Verão ^(v)						MÉDIAS	teste F	
	Soja/Soja		Milho/Milho		Soja/Milho				
	µg C g ⁻¹ de solo seco								
Crotalária	108,58	aB	175,29	bcdAB	250,60	bcdA	178,16	bc	4,45*
Girassol	146,23	aB	119,74	cdB	293,62	bcA	186,53	bc	7,74**
Guandu	234,71	aA	93,62	cdB	195,88	bcdAB	174,74	bc	4,69*
Milheto	234,28	aB	205,79	bcdB	510,99	aA	316,96	a	25,05***
Milho	141,80	aA	60,79	dA	174,62	cdA	125,73	c	3,03 ^{ns}
Nabo [#]	164,06	aB	255,61	abAB	321,07	bA	246,91	ab	5,49*
Sorgo	206,98	aB	353,64	aA	119,09	dB	226,57	abc	12,40***
MÉDIAS	176,66	A	180,64	A	266,53	A			
teste F	2,63*		11,18***		17,85***				
teste F bloco			13,03*						
teste F (V)			5,67 ^{ns}						
teste F (I)			6,73**						
teste F o (V x I)			11,19***						
CV (%) (V)			46,00						
CV (%) (I)			34,00						
CV (%) (V x I)			23,44						

Letras maiúsculas iguais na linha e letras minúsculas iguais na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Níveis de significância (*) $P < 0,05$, (**) $P < 0,01$, (***) $P < 0,001$ e (ns) não significativo. # Nabo forrageiro.

Os valores de nitrogênio da biomassa microbiana (NBM) dos solos variaram de 32,88 a 110,69 $\mu\text{g de N g}^{-1}$ de solo seco na sequência SS, 32,90 a 146,81 $\mu\text{g de N g}^{-1}$ de solo seco na sequência MM e 34,55 a 146,82 na sequência SM $\mu\text{g de N g}^{-1}$ de solo seco (Tabela 2). Os menores valores foram obtidos após o cultivo de milho nas três sequências de verão.

Os teores de NBM dos solos foram fortemente influenciados em SM-milheto e SM-crotalária com incrementos de 324% nos teores de NBM nos solos em relação ao SM-milho. A cultura MM-milheto resultou em significativo incremento de NBM comparado as demais culturas. A cultura SS-crotalária incrementou o conteúdo de NBM diferindo-se das culturas de SS-milho e SS-nabo forrageiro, já a sequência SS-milheto obteve o maior teor de NBM diferindo-se das culturas de SS-girassol, SS-milho, SS-nabo forrageiro e SS-sorgo.

Tabela 2. Nitrogênio da biomassa microbiana (NBM) do solo devido ao cultivo das sequências de verão e culturas de inverno.

<i>Culturas de Inverno^(I)</i>	<i>Sequências de Verão^(V)</i>			MÉDIAS	teste F
	Soja/Soja	Milho/Milho	Soja/Milho		
	$\mu\text{g N g}^{-1}$ de solo seco				
Crotalária	99,84 abB	65,73 bB	146,82 aA	104,13 ab	15,22***
Girassol	50,08 bcA	60,52 bA	62,19 bA	57,60 c	0,40 ^{ns}
Guandu	96,77 abA	75,92 bAB	44,90 bB	72,53 bc	6,25**
Milheto	110,69 aA	146,81 aA	146,58 aA	134,69 a	3,97*
Milho	32,88 cA	32,90 bA	34,55 bA	33,44 c	0,008 ^{ns}
Nabo[#]	39,85 cA	53,46 bA	50,09 bA	47,80 c	0,46 ^{ns}
Sorgo	55,49 bcA	39,75 bA	46,54 bA	47,26 c	0,57 ^{ns}
MÉDIAS	69,37 A	67,87 A	75,95 A		
teste F	7,99**	11,14**	18,72**		
teste F bloco		38,14**			
teste F (V)		2,37 ^{ns}			
teste F (I)		20,66***			
teste F (V x I)		3,95**			
CV (%) (V)		17,99			
CV (%) (I)		33,59			
CV (%) (I x V)		26,47			

Letras maiúsculas iguais na linha e letras minúsculas iguais na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Níveis de significância (*) $P < 0,05$, (**) $P < 0,01$, (***) $P < 0,001$ e (ns) não significativo. # Nabo forrageiro.

Os teores de fósforo da biomassa microbiana dos solos (PBM) estão apresentados na tabela 3, verifica-se que o PBM variou de 8,79 a 18,77 $\mu\text{g de P g}^{-1}$ solo seco na sequência SS, 6,72 a 16,29 $\mu\text{g de P g}^{-1}$ solo seco na sequência MM e 8,80 a 21,86 $\mu\text{g de P g}^{-1}$ solo seco na sequência SM, com interações significativas ($p < 0,05$) entre as culturas de inverno verão, afetando desta forma os

teores de PBM do solo nas sequências SM e MM após cultivo da crotalária, MM e SS após cultivo de nabo forrageiro e SM e SS após a cultura do sorgo (Tabela 3).

Quanto às culturas de inverno verificou-se que a cultura SS-milho proporcionou o menor teor de PBM com similares resultados as culturas de SS-girassol, SS-milheto e SS-nabo forrageiro (Tabela 3). Verificou-se que MM-crotalária, MM-milheto e, MM-nabo forrageiro resultaram maiores teores de PBM dos solos comparado a cultura MM-girassol.

Tabela 3. Fósforo da biomassa microbiana (PBM) do solo devido ao cultivo das sequências de verão e culturas de inverno.

<i>Culturas de Inverno⁽¹⁾</i>	<i>Sequências de Verão^(V)</i>			MÉDIAS	teste F
	Soja/Soja	Milho/Milho	Soja/Milho		
	$\mu\text{g P g}^{-1}$ de solo seco				
Crotalária	10,78 abcB	15,35 aAB	21,86 aA	16,00 a	6,71**
Girassol	10,16 bcA	6,72 bA	12,78 bcdA	9,89 b	1,99 ^{ns}
Guandu	17,38 abA	8,50 abB	17,21 abA	14,37 ab	5,57*
Milheto	10,89 abcA	15,49 aA	15,61 abcA	14,00 ab	1,56 ^{ns}
Milho	8,97 cA	12,81 abA	8,80 cdA	10,19 b	1,11 ^{ns}
Nabo[#]	15,12 abcA	16,29 aA	7,32 dB	12,91 ab	5,15*
Sorgo	18,77 aA	10,61 abB	18,73 abA	16,04 a	4,77*
MÉDIAS	13,15 A	12,25 A	14,62 A		
teste F	4,51**	4,19**	8,36***		
teste F bloco		1,09 ^{ns}			
teste F (V)		0,84 ^{ns}			
teste F (I)		6,81**			
teste F (V x I)		5,54***			
CV (%) (V)		44,50			
CV (%) (I)		21,62			
CV (%) (V x I)		24,06			

Letras maiúsculas iguais na linha e letras minúsculas iguais na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Níveis de significância (*) $P < 0,05$, (**) $P < 0,01$, (***) $P < 0,001$ e (ns) não significativo. # Nabo forrageiro.

A atividade da desidrogenase dos solos variou de 30,86 a 61,82 μg de TFF $\text{g}^{-1} 24 \text{ h}^{-1}$ solo seco na sequência SS, 37,62 a 51,64 μg de TFF $\text{g}^{-1} 24 \text{ h}^{-1}$ solo seco na sequência MM e 19,94 a 51,52 μg de TFF $\text{g}^{-1} 24 \text{ h}^{-1}$ solo seco na sequência SM (Tabela 4), com significativos efeitos ($p < 0,05$) na interação dos dados. A sequência SS afetou a atividade da desidrogenase dos solos após o cultivo de

sorgo e a sequência MM após o cultivo de nabo forrageiro incrementando suas atividades.

Nas culturas de inverno o menor valor foi observado nos solos com a cultura SM-nabo forrageiro diferindo-se significativamente de SM-guandu, SM-milheto e SM-sorgo, e o maior teor com a cultura SS-sorgo sendo significativamente diferente de SS-girassol.

Tabela 4. Atividade da desidrogenase do solo devido ao cultivo das sequências de verão e culturas de inverno.

Culturas de Inverno^(I)	Sequências de Verão^(V)			MÉDIAS	teste F
	Soja/Soja	Milho/Milho	Soja/Milho		
	$\mu\text{g TFF g}^{-1}$ de solo seco 24h ⁻¹				
Crotalária	49,02 abcA	51,64 aA	38,91 abA	46,52 a	1,42 ^{ns}
Girassol	30,86 cA	40,37 aA	33,43 abA	34,89 a	0,76 ^{ns}
Guandu	58,96 abA	51,23 aA	48,50 aA	52,90 a	0,92 ^{ns}
Milheto	32,72 bcA	51,43 aA	49,01 aA	44,39 a	3,26 ^{ns}
Milho	39,82 abcA	37,88 aA	45,49 abA	41,06 a	0,50 ^{ns}
Nabo[#]	39,12 abcAB	49,78 aA	19,94 bB	36,28 a	7,20*
Sorgo	61,82 aA	37,62 aB	51,52 aAB	50,32 a	4,64*
MÉDIAS	44,61 A	45,70 A	40,97 A		
teste F	4,22**	1,26 ^{ns}	3,53**		
teste F bloco		2,62 ^{ns}			
teste F (V)		1,27 ^{ns}			
teste F (I)		2,24 ^{ns}			
teste F (V x I)		2,92*			
CV (%) (V)		23,00			
CV (%) (I)		31,03			
CV (%) (V x I)		22,17			

Letras maiúsculas iguais na linha e letras minúsculas iguais na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Níveis de significância (*) $P < 0,05$, (**) $P < 0,01$, (***) $P < 0,001$ e (ns) não significativo. # Nabo forrageiro.

A atividade da urease dos solos variou de 24,01 a 27,13 $\mu\text{g de NH}_4\text{-N g}^{-1}$ solo seco para as sequências de verão e 20,37 a 28,94 $\mu\text{g de NH}_4\text{-N g}^{-1}$ solo seco para as culturas de inverno (Tabela 5), porém nenhum efeito significativo foi evidenciado.

A atividade da enzima da fosfatase do solo variou de 516,62 a 620,31 $\mu\text{g de pNF g}^{-1}$ solo seco h⁻¹ nas sequências de verão e 499,40 a 623,48 $\mu\text{g de pNF g}^{-1}$ solo seco h⁻¹ nas culturas de inverno (Tabela 5), conseqüentemente não foram

encontrados efeitos significativos ($p < 0,05$) para inverno, verão e interação dos dados.

Na tabela 5, verifica-se que a matéria orgânica (MO) dos solos variou de 10,02 a 10,93% para as sequências de verão e 9,62 a 11,18% nas culturas de inverno. O efeito do manejo do sistema influenciou significativamente ($p < 0,01$) incrementando o conteúdo da MO nos solos das sequências de verão em monocultura. As culturas de inverno não influenciaram os teores da MO na superfície do solo.

Os valores médios do nitrogênio total (Nt) do solo resultaram em diferenças significativas com conteúdos crescente na seguinte ordem $SM < MM < SS$. Entretanto, nenhuma diferença significativa foi verificada com as culturas de inverno (Tabela 5).

Tabela 5. Atividades enzimáticas da urease e da fosfatase ácida, conteúdos de matéria orgânica (MO) e nitrogênio total (Nt) do solo devido ao cultivo das sequências de verão e culturas de inverno.

Tipo de culturas	Urease		Fosfatase		MO		Nt	
	$\mu\text{g NH}_4 \text{ g}^{-1}$ de solo seco 3 h ⁻¹		$\mu\text{g pNF g}^{-1}$ de solo seco h ⁻¹		%		$\mu\text{g NH}_4\text{-N g}^{-1}$ de solo seco	
Sequências de Verão (V)								
Soja (SS)	27,13	A	528,59	A	10,93	A	1106,8	A
Milho (MM)	24,01	A	516,62	A	10,71	A	1065,9	AB
Soja/Milho (SM)	27,08	A	620,31	A	10,02	B	983,1	B
C.V. (%)	43,59		21,55		2,86		8,27	
Teste F	0,51	^{ns}	4,72	^{ns}	51,42*		11,02*	
Culturas de Inverno (I)								
Crotalária	27,95	a	576,83	a	11,19	a	1021,6	a
Girassol	24,44	a	499,4	a	10,01	a	992,0	a
Guandu	27,99	a	552,57	a	10,77	a	1084,3	a
Milheto	24,97	a	553,98	a	10,56	a	1057,8	a
Milho	20,37	a	507,7	a	9,62	a	990,5	a
Nabo	27,83	a	572,26	a	10,55	a	1167,0	a
Sorgo	28,94	a	623,48	a	11,18	a	1050,4	a
C.V. (%)	40,9		14,22		11,85		13,56	
Teste F	0,72	^{ns}	2,59	^{ns}	1,92	^{ns}	1,66	^{ns}
Teste F (V vs I)	1,04	^{ns}	1,25	^{ns}	1,23	^{ns}	1,39	^{ns}

Letras maiúsculas iguais na coluna dentro das sequências de verão e letras minúsculas iguais na coluna dentro das culturas de inverno não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Níveis de significância (*) $P < 0,05$, (**) $P < 0,01$, (***) $P < 0,001$ e (ns) não significativo. # Nabo forrageiro.

Os valores da atividade respiratória (C-CO₂) dos solos variaram de 11 a 15,40 µg de C-CO₂ 100 g⁻¹ solo seco na sequência SS, 9,53 a 17,60 µg de C-CO₂ 100 g⁻¹ solo seco na sequência MM e 12,47 a 27,87 µg de C-CO₂ 100 g⁻¹ solo seco na sequência SM (Tabela 6). Entretanto, a atividade respiratória produto do metabolismo da biota do solo, resultou em significativos teores ($p < 0,05$) somente na sequência SM após o cultivo de crotalária diferente dos demais sequências em monocultura SS e MM. Esta tendência foi verificada também com a cultura SM-crotalária incrementando os teores de C-CO₂ dos solos.

Tabela 6. Atividade respiratória (C-CO₂) do solo devido ao cultivo das sequências de verão e culturas de inverno.

Culturas de Inverno ^(I)	Sequências de Verão ^(V)						MÉDIAS	teste F	
	Soja/Soja		Milho/Milho		Soja/Milho				
mg C-CO ₂ 100 g ⁻¹ de solo seco									
Crotalária	13,20	aB	13,20	aB	27,87	aA	18,09	a	18,72**
Girassol	15,40	aA	10,27	aA	14,67	bA	13,44	a	2,02 ^{ns}
Guandu	14,67	aA	14,67	aA	12,47	bA	13,96	a	0,42 ^{ns}
Milheto	11,00	aA	14,67	aA	14,67	bA	13,44	a	1,17 ^{ns}
Milho	14,67	aA	9,53	aA	14,67	bA	12,95	a	2,30 ^{ns}
Nabo [#]	13,20	aA	17,60	aA	12,47	bA	14,42	a	2,02 ^{ns}
Sorgo	12,47	aA	14,67	aA	16,87	bA	14,67	a	1,26 ^{ns}
MÉDIAS	13,51	A	13,51	A	16,24	A			
teste F	0,60 ^{ns}		2,05 ^{ns}		7,46***				
teste F bloco			2,86 ^{ns}						
teste F (V)			5,32 ^{ns}						
teste F (I)			2,66 ^{ns}						
teste F (V x I)			3,81**						
CV (%) (V)			21,65						
CV (%) (I)			21,96						
CV (%) (V x I)			23,74						

Letras maiúsculas iguais na linha e letras minúsculas iguais na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Níveis de significância (*) $P < 0,05$, (**) $P < 0,01$, (***) $P < 0,001$ e (ns) não significativo. # Nabo forrageiro.

O quociente metabólico resultante da taxa da respiração específica dos solos ($q\text{CO}_2$), que representa a quantidade de CO₂ liberada por unidade da biomassa microbiana em determinado tempo (Tabela 7), com interação dupla (sequências de verão x culturas de inverno) e significativa ($p < 0,05$). A sequência MM resultou em valores mais expressivos de $q\text{CO}_2$ nos solos após a cultura de

guandu, MM e SS após as culturas de milho e milho e nas sequências SM e SS após o cultivo da cultura do sorgo mostrando significativos incrementos em qCO_2 .

Verificou-se que os valores do qCO_2 dos solos na cultura de inverno SS-milho foram de 1,1 a 2,3 vezes menores em relação as demais culturas, sendo observado diferente efeito com a cultura MM-sorgo, com os teores entre 1,3 a 3,9 vezes menores que as demais culturas. A cultura SM-milho resultou em 1,3 a 5,0 vezes menores teores em relação as demais culturas diferindo-se somente de SM-crotalária e SM-sorgo.

Tabela 7. Quociente metabólico (qCO_2) do solo devido ao cultivo das sequências de verão e culturas de inverno.

Culturas de Inverno^(I)	Sequências de Verão^(V)			MÉDIAS	teste F
	Soja/Soja	Milho/Milho	Soja/Milho		
	$\mu g\ C-CO_2\ \mu g^{-1}\ C-BMS\ h^{-1}$				
Crotalária	7,85 aA	6,11 bcA	6,75 abA	6,90 ab	0,50 ^{ns}
Girassol	6,90 aA	5,24 cA	2,95 bcA	5,03 bc	2,55 ^{ns}
Guandu	3,76 aB	11,73 aA	3,93 abcB	6,48 abc	13,49***
Milho	3,42 aAB	6,83 abcA	1,76 cB	4,00 c	4,34*
Milho	7,70 aAB	10,88 abA	4,85 abcB	7,81 a	5,91**
Nabo[#]	5,61 aA	3,93 cA	2,30 bcA	3,95 c	1,78 ^{ns}
Sorgo	5,69 aAB	2,98 cB	8,83 aA	5,83 abc	5,58**
MÉDIAS	5,85 A	6,81 A	4,48 A		
teste F	2,53*	8,99***	5,25***		
teste F bloco		8,89*			
teste F (V)		3,26 ^{ns}			
teste F (I)		7,63**			
teste F (V x I)		5,49***			
CV (%) (V)		51,90			
CV (%) (I)		27,87			
CV (%) (V x I)		34,57			

Letras maiúsculas iguais na linha e letras minúsculas iguais na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Níveis de significância (*) $P < 0,05$, (**) $P < 0,01$, (***) $P < 0,001$ e (ns) não significativo. # Nabo forrageiro.

A variação do conteúdo do quociente microbiano dos solos ($qMIC$) foi de 0,89 a 2,18 % na sequência SS, 0,55 a 3,11 % na sequência MM e 1,72 a 5,14 % na sequência SM. A relação $C_{microbiano}/C_{orgânico}$ ($qMIC$) apresentou interação dupla (sequências de verão e culturas de inverno) ($p < 0,05$) sendo assim, afetado por ambas culturas de inverno/verão que agem de forma dependente sobre os

teores de $qMIC$ (Tabela 8). No entanto, os valores acima de 1% podem estar relacionados a possíveis acréscimos de C no solo ao longo do tempo. Verificamos altos teores de $qMIC$ dos solos na sequência SS após o cultivo da cultura do guandu, em MM após o cultivo da cultura do sorgo, MM e SM após a cultura da crotalária e SM após o cultivo de girassol, milho e nabo forrageiro. De uma forma geral, a sequência SM possui os maiores teores de $qMIC$, sendo 73 % superior as sequências em monocultura SS e MM.

Pode-se observar que a cultura de inverno SM-milho influenciou positivamente incrementando os teores de $qMIC$ nos solos e diferindo-se das demais culturas de inverno. A cultura MM-sorgo incrementou o conteúdo de $qMIC$ quando comparado as culturas MM-crotalária, MM-girassol e MM-guandu já o MM-milho e MM-nabo obtiveram maiores teores de $qMIC$ dos solos quando comparado com o MM-milho.

Tabela 8. Quociente microbiano ($qMIC$) do solo devido ao cultivo das sequências de verão e culturas de inverno.

Culturas de Inverno^(I)	Sequências de Verão^(V)			MÉDIAS	teste F
	Soja/Soja	Milho/Milho	Soja/Milho		
	%				
Crotalária	0,89 aB	1,49 bcAB	2,49 bcdA	1,62 bc	5,51*
Girassol	1,88 aB	1,24 bcB	3,20 bcA	2,11 abc	8,40**
Guandu	2,15 aA	0,86 bcB	2,05 cdAB	1,69 bc	4,38*
Milho	2,18 aB	1,85 abB	5,14 aA	3,05 a	27,82***
Milho	1,45 aA	0,55 cA	1,72 dA	1,24 c	3,14 ^{ns}
Nabo[#]	1,48 aB	2,09 abB	3,62 bA	2,39 ab	10,26**
Sorgo	1,70 aB	3,11 aA	1,22 dB	2,01 bc	8,09**
MÉDIAS	1,67 AB	1,60 B	2,78 A		
teste F	2,40*	8,53***	20,82**		
teste F bloco		5,53 ^{ns}			
teste F (V)		8,52*			
teste F (I)		8,49***			
teste F (V x I)		10,50***			
CV (%) (V)		51,28			
CV (%) (I)		30,14			
CV (%) (V x I)		24,04			

Letras maiúsculas iguais na linha e letras minúsculas iguais na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Níveis de significância (*) $P < 0,05$, (**) $P < 0,01$, (***) $P < 0,001$ e (ns) não significativo. # Nabo forrageiro.

Os teores de carbono orgânico dos solos (Corg) variaram de 7,69 a 11,20 $\mu\text{g de C g}^{-1}$ solo seco na sequência SS, 9,47 a 11,93 $\mu\text{g de C g}^{-1}$ solo seco na sequência MM e 9,11 a 9,99 $\mu\text{g de C g}^{-1}$ solo seco na sequência SM com interação dupla entre as sequências de verão e culturas de inverno ($p < 0,05$) (Tabela 9). A sequência SS resultou em aumento no teor de Corg dos solos, principalmente após as culturas de crotalária, guandu e sorgo. A sequência MM resultou em maiores teores após a cultivo de girassol e nabo forrageiro e a sequências SM incrementou o teor de Corg nos solos após o cultivo de girassol. No entanto, analisando os valores médios das sequências em monocultivo verificou incrementaram de 13% os teores de Corg do solo.

O tipo de cultura de inverno também influenciou o Corg dos solos, resultando em baixos teores nos solos cultivado com a cultura de SS-girassol e com similar resultado ao SS-milho. Constatou-se também, que nos solos da cultura MM-girassol o menor teor de Corg com similar resultado as culturas de MM-guandu, MM-milheto, MM-milho e MM-sorgo (Tabela 9).

Tabela 9. Carbono orgânico do solo (Corg) do solo devido ao cultivo das sequências de verão e culturas de inverno.

Culturas de Inverno ⁽¹⁾	Sequências de Verão ⁽²⁾						MÉDIAS	teste F	
	Soja/Soja		Milho/Milho		Soja/Milho				
µg C g ⁻¹ de solo seco									
Crotalária	11,86	aA	11,35	aA	9,94	aB	11,05	a	6,70**
Girassol	7,69	cB	9,47	bA	9,11	aA	8,75	b	6,01**
Guandu	10,91	abA	10,61	abAB	9,43	aB	10,31	a	4,13*
Milheto	10,44	ab	10,99	ab	9,90	a	10,44	a	2,00 ^{ns}
Milho	9,42	bc	10,54	ab	9,99	a	9,98	ab	2,10 ^{ns}
Nabo [#]	10,58	abB	11,93	aA	9,13	aC	10,55	a	13,26***
Sorgo	11,20	abA	11,27	abA	9,61	aB	10,69	a	5,99**
MÉDIAS	10,30	A	10,88	A	9,59	B			
teste F	11,34***		3,67**		0,84 ^{ns}				
teste F bloco			97,70***						
teste F (V)			21,73**						
teste F (I)			6,17**						
teste F (V x I)			3,35**						
CV (%) (V)			6,20						
CV (%) (I)			8,69						
CV (%) (V x I)			6,54						

Letras maiúsculas iguais na linha e letras minúsculas iguais na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Níveis de significância (*) $P < 0,05$, (**) $P < 0,01$, (***) $P < 0,001$ e (ns) não significativo. # Nabo forrageiro.

Os coeficientes da correlação simples de Pearson estão apresentados na tabela 10, obteve-se positivos e significativos efeito da MO e Corg com todos as propriedades analisadas no solo, exceto o Corg com $q\text{CO}_2$. Adicionalmente as atividades enzimáticas urease, desidrogenase e fosfatase foram significativamente correlacionadas com C-CO_2 e as biomassas microbianas.

Tabela 10. Coeficiente de correlação de Pearson entre as variáveis microbiológicas e químicas do solo. Amostras de solo coletadas após as culturas de verão em diferentes em plantio direto, na camada de 0,15m em um Latossolo Vermelho Eutrófico.

	CBM	NBM	PBM	Desidrogenase	Fosfatase	Urease	qCO ₂	qMIC	C-CO ₂	Corg	MO	Nt
CBM	-	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
NBM	0,54	-	***	***	***	***	ns	**	***	***	***	***
PBM	0,59	0,52	-	***	***	***	ns	***	***	***	***	**
Desidrogenase	0,46	0,54	0,76	-	***	***	ns	*	***	***	***	***
Fosfatase	0,62	0,46	0,84	0,78	-	***	ns	***	***	***	***	***
Urease	0,58	0,47	0,93	0,80	0,90	-	ns	***	***	***	***	***
qCO ₂	-0,61	-0,21	-0,07	0,03	-0,13	-0,05	-	***	ns	ns	*	ns
qMIC	0,94	0,43	0,49	0,25	0,49	0,48	-0,64	-	***	**	***	*
C-CO ₂	0,60	0,53	0,82	0,80	0,85	0,86	0,03	0,45	-	***	***	***
Corg	0,60	0,51	0,84	0,79	0,84	0,86	-0,15	0,41	0,75	-	***	***
MO	0,64	0,54	0,77	0,69	0,81	0,78	-0,24	0,46	0,70	0,91	-	***
Nt	0,68	0,47	0,68	0,50	0,70	0,77	-0,17	0,26	0,68	0,74	0,61	-

Carbono (CBM) ($\mu\text{g C g}^{-1}$ de solo seco), nitrogênio (NBM) ($\mu\text{g N g}^{-1}$ de solo seco), fósforo (PBM) ($\mu\text{g P g}^{-1}$ de solo seco) da biomassa microbiana do solo, atividades das enzimas desidrogenase ($\mu\text{g TFF g}^{-1}$ de solo seco 24 h⁻¹), urease ($\mu\text{g NH}_4 \text{ g}^{-1}$ de solo seco 3 h⁻¹), fosfatase ($\mu\text{g pNF g}^{-1}$ de solo seco h⁻¹), quociente microbiano (qMIC) (%), quociente metabólico (qCO₂) ($\mu\text{g C-CO}_2 \mu\text{g}^{-1} \text{ C-BMS h}^{-1}$), respiração basal (C-CO₂) (mg C-CO₂ 100 g⁻¹ solo seco), carbono orgânico (Corg) ($\mu\text{g C g}^{-1}$ solo seco), matéria orgânica (MO) (% 100 g⁻¹ de solo seco) e nitrogênio total (Nt) ($\mu\text{g N g}^{-1}$ de solo seco), determinado na camada de 0-15 cm de profundidade. Níveis de significância (*) p < 0,05, (**) p < 0,001, (***) p < 0,0001 e (ns) não significativo.n = 63.

No biplot (Figura 2), estão representados os resultados da análise dos componentes principais (ACP) das sequências de verão. A soma da variabilidade retida nestes componentes explicou 100% da variabilidade original dos dados, onde CP1 e CP2 retêm cada um, 51,32% e 48,68%, respectivamente. A disposição das sequências na figura 2 indica que os tipos de culturas podem ser divididos em três grupos distintos entre si e as sequências culturais possuem forte efeito sob as propriedades do solo. Contudo, a maior parte das variáveis foram afetadas fortemente pela sequência SM, sendo elas CBM, NBM, PBM, atividade da fosfatase, $qMIC$ e $C-CO_2$. Quanto as sequências em monocultura SS influenciou a atividade da urease, Nt e MO e MM a atividade da desidrogenase e do índice qCO_2 e do conteúdo de Corg.

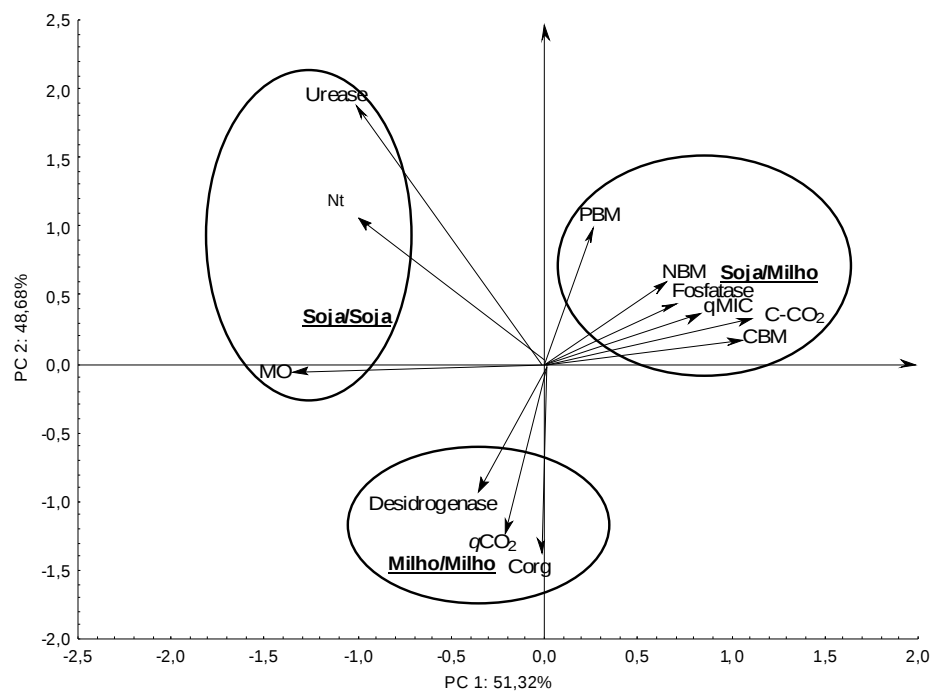


Figura 2. Biplot dos componente principais das culturais de verão. De acordo com os atributos microbiológicos e químicos, Carbono (CBM) ($\mu g C g^{-1}$ de solo seco), nitrogênio (NBM) ($\mu g N g^{-1}$ de solo seco), fósforo (PBM) ($\mu g P g^{-1}$ de solo seco) da biomassa microbiana do solo, atividades das enzimas desidrogenase ($\mu g TFF g^{-1}$ de solo seco $24 h^{-1}$), urease ($\mu g NH_4 g^{-1}$ de solo seco $3 h^{-1}$), fosfatase ($\mu g pNF g^{-1}$ de solo seco h^{-1}), quociente microbiano ($qMIC$) (%), quociente metabólico (qCO_2) ($\mu g C-CO_2 \mu g^{-1} C-BMS h^{-1}$), respiração basal ($C-CO_2$) ($mg C-CO_2 100 g^{-1}$ solo seco), carbono orgânico (Corg) ($\mu g C g^{-1}$ solo seco), matéria orgânica (MO) ($\% 100 g^{-1}$ de solo seco) e nitrogênio total (Nt) ($\mu g N g^{-1}$ de solo seco), não significativo. $n = 7$.

A ordenação dos dados no biplot (Figura 3) da análise dos componentes principais (PCA) das propriedades químicas e microbiológicas estudadas das culturas de inverno, apresentaram no primeiro e no segundo CP explicação de 77,98% da variabilidade original dos dados. Entretanto, os valores das propriedades químicas e microbiológicas analisadas agruparam-se em dois conjuntos, sendo o primeiro formado pelas variáveis $q\text{CO}_2$, C-CO_2 , Corg, MO, PBM, Nt, atividades da fosfatase, urease e desidrogenase, sendo afetadas fortemente pelas culturas da crotalária, guandu e sorgo. E no segundo grupo nabo forrageiro e milho mostraram forte efeito sob as propriedades microbiológicas CBM, NBM e $q\text{MIC}$. Por outro lado, ficou claramente visível que as culturas de girassol e milho no cultivo de inverno pouco contribuíram para melhorar as condições biológicas e químicas do solo.

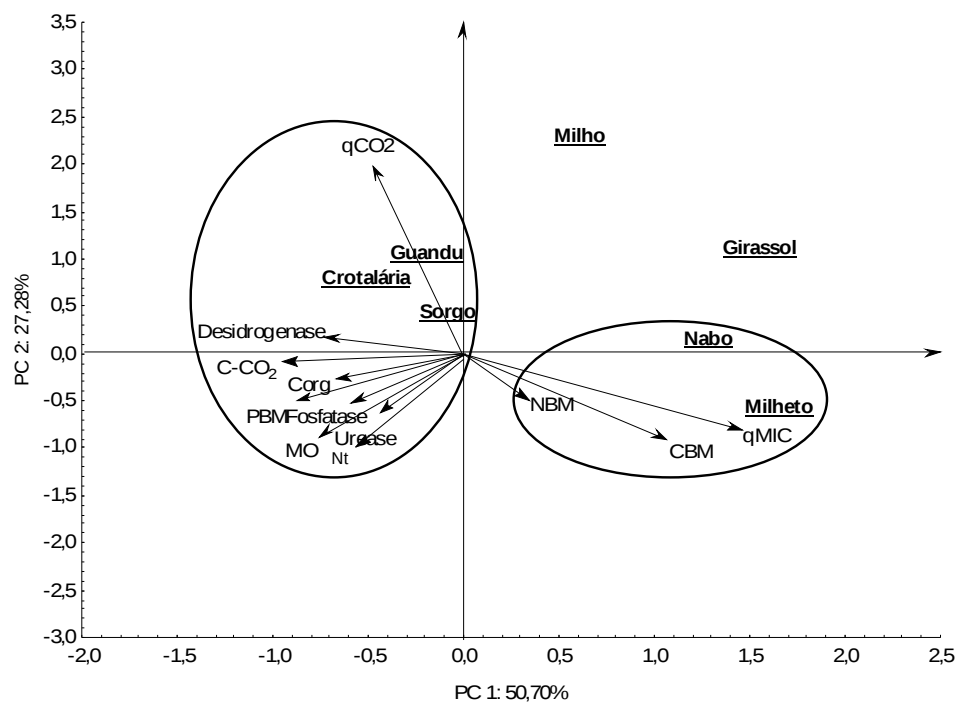


Figura 3. Biplot dos componentes principais das culturas de inverno. De acordo com os atributos microbiológicos e químicos, Carbono (CBM) ($\mu\text{g C g}^{-1}$ de solo seco), nitrogênio (NBM) ($\mu\text{g N g}^{-1}$ de solo seco), fósforo (PBM) ($\mu\text{g P g}^{-1}$ de solo seco) da biomassa microbiana do solo, atividades das enzimas desidrogenase ($\mu\text{g TFF g}^{-1}$ de solo seco 24 h^{-1}), urease ($\mu\text{g NH}_4 \text{ g}^{-1}$ de solo seco 3 h^{-1}), fosfatase ($\mu\text{g pNF g}^{-1}$ de solo seco h^{-1}), quociente microbiano ($q\text{MIC}$) (%), quociente metabólico ($q\text{CO}_2$) ($\mu\text{g C-CO}_2 \mu\text{g}^{-1} \text{ C-BMS h}^{-1}$), respiração basal (C-CO_2) ($\text{mg C-CO}_2 100 \text{ g}^{-1}$ solo seco), carbono orgânico (Corg) ($\mu\text{g C g}^{-1}$ solo seco), matéria

orgânica (MO) (% 100 g⁻¹ de solo seco) e nitrogênio total (Nt) (μg N g⁻¹ de solo seco), não significativo. n = 3.

4.2 Decomposição de resíduos vegetais diferentes tamanhos das partículas de soja e milho em influencia do tempo

Na tabela 11 foi incluída a composição química dos resíduos das plantas coletados na superfície do solo após a colheita. Os conteúdos de C e de N foram 2,1 e 4,1 vezes maiores na soja em relação ao milho, respectivamente (Tabela 11). Ambas as plantas apresentaram alta relação C/N e a da soja foi a metade da observada no milho. Os conteúdos de substâncias solúveis e de celulose foram semelhantes nas duas plantas, porém o de lignina foi 1,9 vez maior na soja comparado ao do milho.

Tabela 11. Composição química das espécies vegetais dos resíduos de milho e soja.

Propriedades das espécies vegetais	Espécies vegetais	
	Soja	Milho
C %	41,86	20,01
N %	0,91	0,22
Substâncias solúveis (g 100 g ⁻¹)	7,67	6,89
Relação C/N	45,60	89,66
Celulose (g 100 g ⁻¹)	42,28	39,33
Lignina (g 100 g ⁻¹)	24,52	13,29

Verificou-se que a atividade da desidrogenase variou conforme curvas de 2º grau no solo adicionado de resíduos, porém, no solo controle, alterações na atividade não foram constatadas (Figura 4). A atividade aumentou 45% em média após 30 dias de incubação em relação ao tempo zero. Nenhuma diferença significativa foi observada no tempo zero quando comparado o controle com os solos que levaram adição das frações de vegetação (Tabela 12, página 77). No período de 30 a 120 dias, a atividade foi 20 a 35% maior (p<0,05) no solo com

adição das partículas vegetais em relação ao controle, porém nenhum efeito do tamanho das partículas foi evidenciado (Tabela 12, página 77).

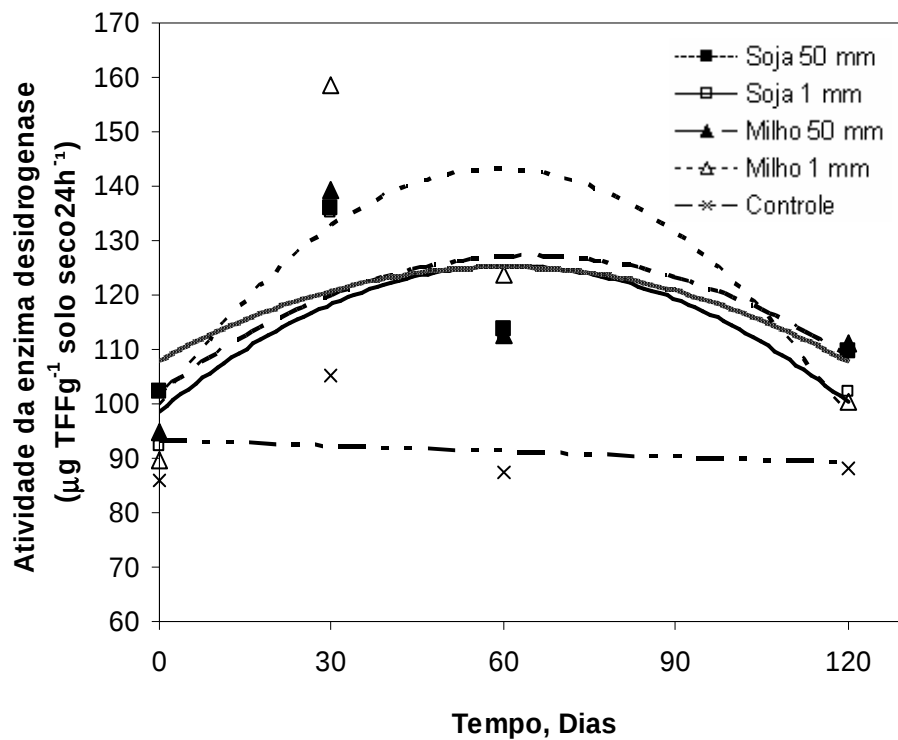


Figura 4 Atividade da enzima desidrogenase do solo devido a adição de partículas com diferentes tamanhos. Teste F ** $P < 0,05$ e ns não significativo.

Soja 50 mm	$R^2=0,3793$	$y = 107,855250 + 0,57479583x - 0,00478403x^2$ **
Soja 1 mm	$R^2=0,5167$	$y = 98,4787273 + 0,87767955x - 0,00719154x^2$ **
Milho 50 mm	$R^2=0,3699$	$y = 102,123523 + 0,77823295x - 0,00602860x^2$ **
Milho 1 mm	$R^2=0,5831$	$y = 99,5281136 + 1,47383977x - 0,01243605x^2$ **
Controle	-	$y = 89,9025455$ ^{ns}

Quantidades decrescentes de C-CO₂ foram liberadas durante o período do ensaio (Figura 5), notando-se que a atividade respiratória do solo com adição dos vegetais foi significativamente maior que a do controle (Tabela 13, página 77). Contudo, nenhuma diferença das quantidades de C-CO₂ evoluídas foi observada entre os solos contendo os vegetais com diferentes tamanhos de partículas.

Com base nestes resultados, outro ensaio foi conduzido por um período de até 8 dias empregando-se 28 e 58 t ha⁻¹ de resíduos vegetais (Figuras 6 e 7). Foi

verificado que as quantidades de C-CO₂ liberadas variaram de 1,7 a 79,2 e 1,17 a 109,78 mg 100 g⁻¹ solo, respectivamente, o que correspondeu a um aumento na atividade respiratória do solo de 8,0 e 12,0 vezes em relação ao controle, respectivamente (Tabelas 14 e 15, página 78). A atividade respiratória foi estimulada para ambas as quantidades de resíduos logo após 4 dias de incubação (Figuras 6 e 7), decrescendo significativamente a seguir. De forma geral, constatou-se que as partículas com 50 mm propiciaram maior atividade respiratória (Tabelas 14 e 15, página 78).

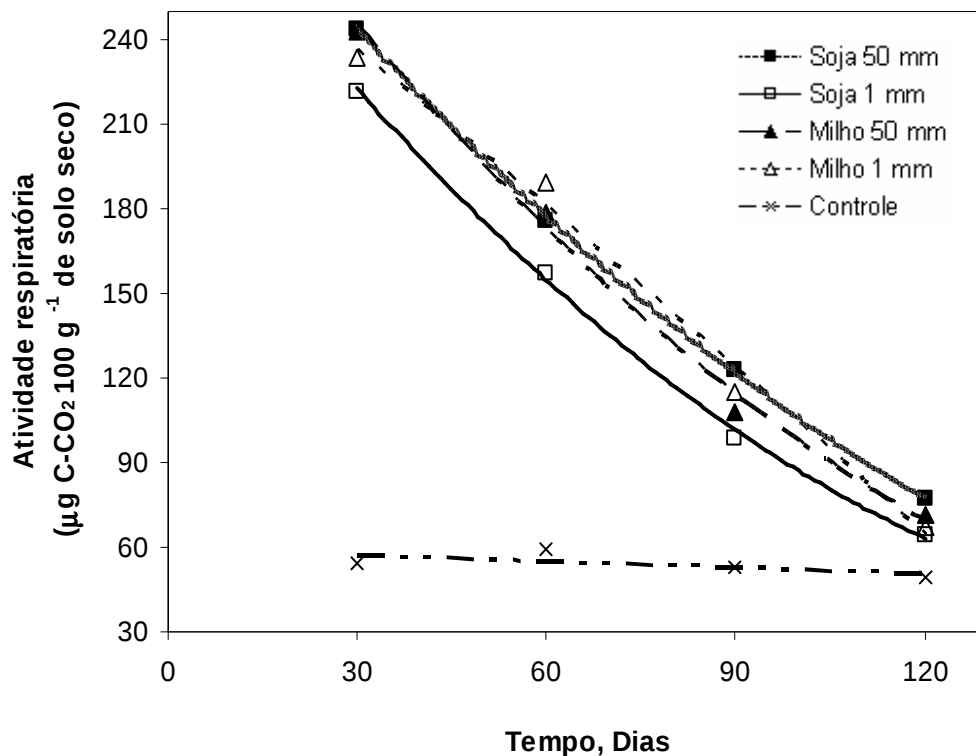


Figura 5. Atividade respiratória microbiana do solo devido a adição de partículas com diferentes tamanhos. Teste F ** P < 0,01 e ns não significativo. Equivalente a 8 toneladas de palha por hectares.

Soja 50 mm	R ² =0,9721	y = 238,208909 - 2,36788182x + 0,00868939x ² **
Soja 1 mm	R ² =0,9906	y = 218,514909 - 2,49211515x + 0,01011717x ² **
Milho 50 mm	R ² =0,9946	y = 240,406909 - 2,65824848x + 0,01047273x ² **
Milho 1 mm	R ² =0,9975	y = 231,638909 - 2,02738182x + 0,00552828x ² *
Controle	-	y = 53752500 ^{ns}

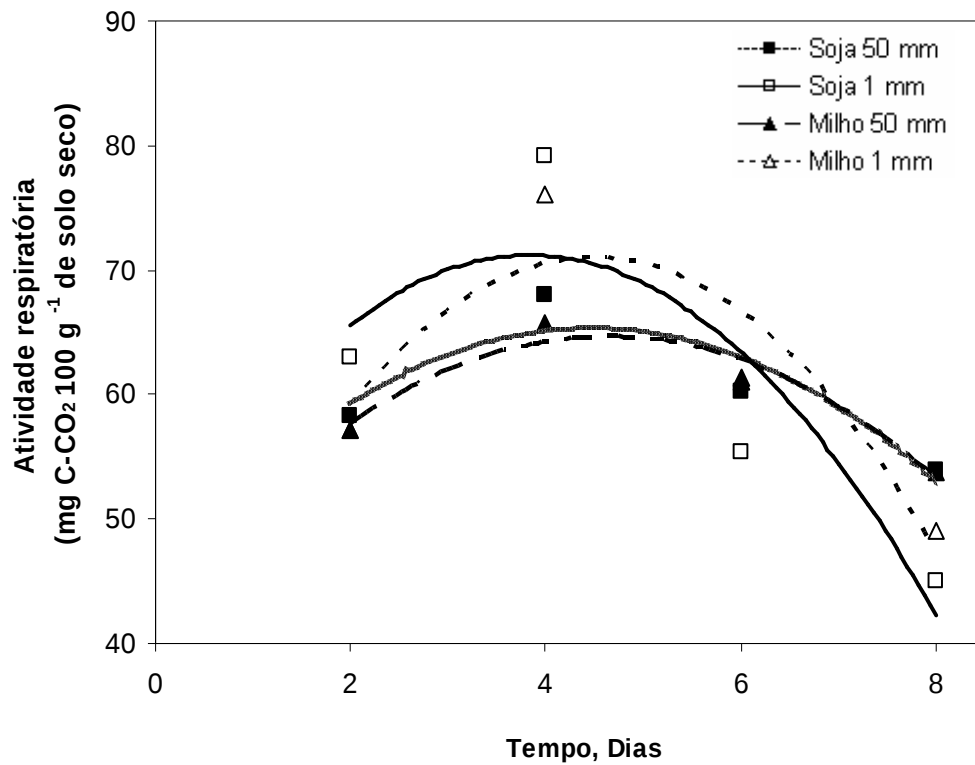


Figura 6. Atividade respiratória microbiana do solo devido a adição de partículas com diferentes tamanhos. Teste F ** P < 0,01 e ns não significativo. Equivalente a 28 toneladas de palha por hectares.

Soja 50 mm	R ² =0,6643	y = 59,9813636 + 0,17447727x - 0,00191035x ² **
Soja 1 mm	R ² =0,6381	y = 67,2173636 + 0,08907727x - 0,00238813x ² **
Milho 50 mm	R ² =0,8158	y = 58,3053636 + 0,21487727x - 0,00213258x ² **
Milho 1 mm	R ² =0,6593	y = 60,4713636 + 0,34231061x - 0,00371591x ² **
Controle	-	y = 10,3553636 ^{ns}

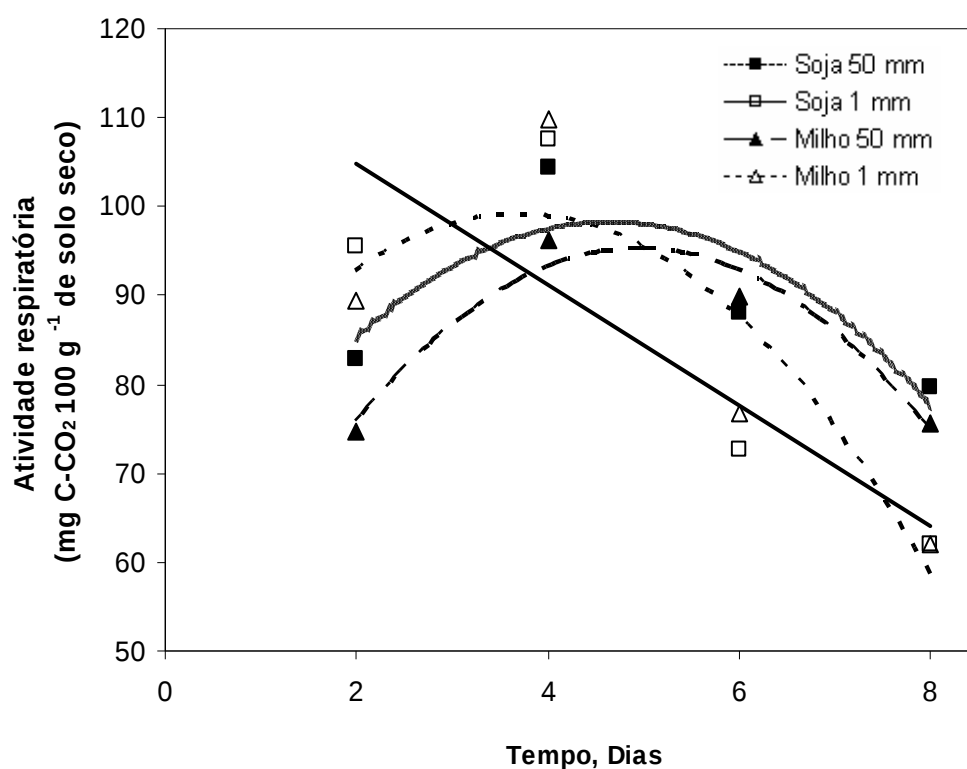


Figura 7. Atividade respiratória microbiana do solo devido a adição de partículas com diferentes tamanhos. Teste F ** P < 0,01 e ns não significativo. Equivalente a 58 toneladas de palha por hectares.

Soja 50 mm	R ² =0,5274	y = 86,6553636 + 0,36571061x - 0,00361591x ² **
Soja 1 mm	R ² =0,7160	y = 102,492000 - 0,34413333x **
Milho 50 mm	R ² =0,8223	y = 77,0273636 + 0,59657727x - 0,00512702x ² **
Milho 1 mm	R ² =0,6692	y = 95,0993636 + 0,06511061x - 0,00298258x ² **
Controle	-	y = 53752500 ^{ns}

Embora, a atividade amonificante no solo controle não tenha variado, nos solos adicionados de vegetação constatou-se aumento da atividade ao longo do tempo de incubação que se ajustaram a equações de 1º (1 mm) ou 2º grau (50 mm) (Figura 8). O aumento da atividade foi, em média, de 57 e 129% aos 60 e 120 dias em relação ao tempo zero, respectivamente. Também, a incorporação dos vegetais propiciou aumento da atividade de 73 e 164% em relação ao controle aos 60 e 120 dias (Tabela 16, página 79). As quantidades de NH_4^+ produzidas foram maiores ($p < 0,05$) que o controle aos 60 (exceto milho 50 mm) e aos 120 dias todos os tratamentos resultaram em maiores valores comparados ao controle.

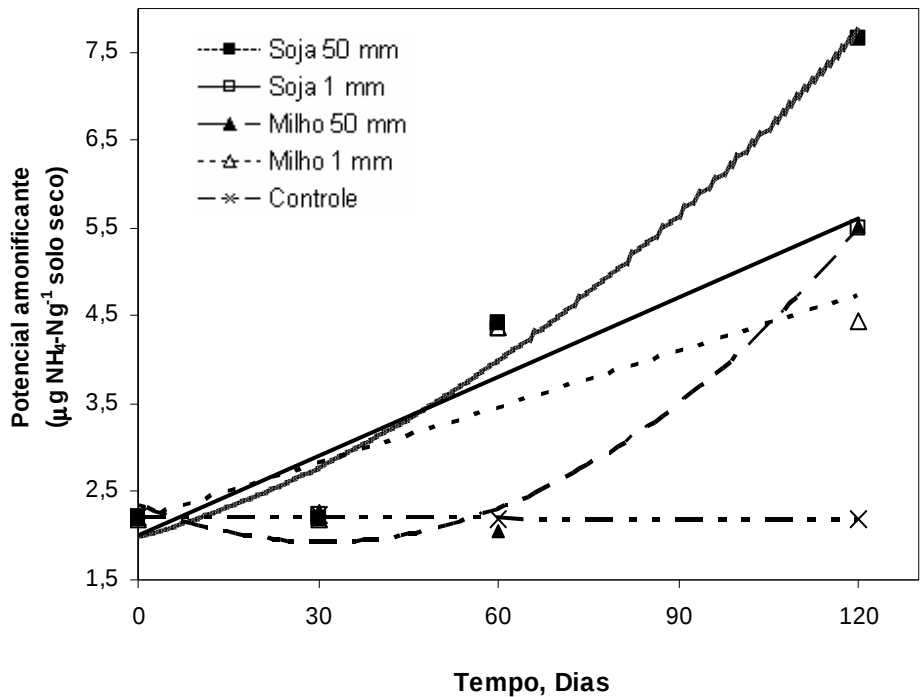


Figura 8. Potencial amonificante do solo devido a adição de partículas com diferentes tamanhos. Teste F ** $P < 0,01$ e ns não significativo.

Soja 50 mm	$R^2=0,9723$	$y = 1,97936364 + 0,01886061x + 0,00024242x^2$ **
Soja 1 mm	$R^2=0,8977$	$y = 1,99950000 + 0,03002143x$ **
Milho 50 mm	$R^2=0,9753$	$y = 2,35502273 - 0,02740871x + 0,00044501x^2$ **
Milho 1 mm	$R^2=0,7307$	$y = 2,18600000 + 0,02117143x$ **
Controle	-	$y = 2,30650000$ ^{ns}

Em decorrência dos resultados da atividade amonificante, verificou-se que a atividade nitrificante do solo aumentou até os 60 dias em média de 29% em comparação ao tempo zero e depois diminuiu com tendências que se ajustaram a equações de 1º grau (controle e milho 1 mm) e 2º grau (demais) (Figura 9). Os resíduos vegetais proporcionaram aumento ($p < 0,05$) de 98 a 142% em relação ao controle (Tabela 17, página 79). Aos 60 dias de incubação, a atividade nitrificante foi maior ($p < 0,05$) no solo com adição de soja quando comparado ao com adição de milho.

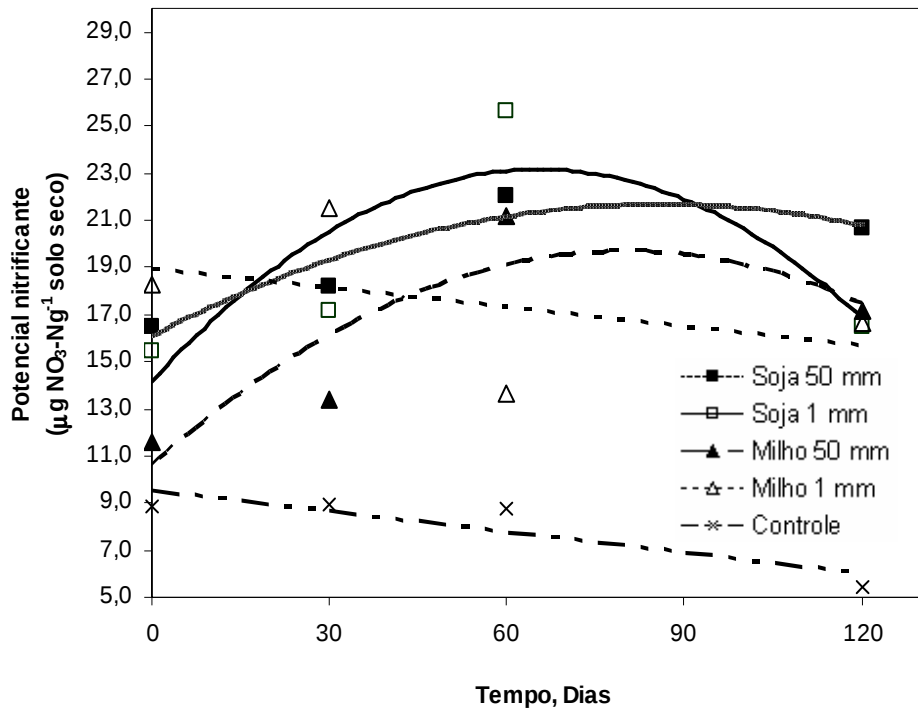


Figura 9. Potencial nitrificante do solo devido a adição de partículas com diferentes tamanhos. Teste F * $P < 0,05$, ** $P < 0,01$.

Soja 50 mm	$R^2=0,8821$	$y = 16,0822955 + 0,13034508x - 0,00075789x^2$ *
Soja 1 mm	$R^2=0,7023$	$y = 14,1791591 + 0,27516402x - 0,00210574x^2$ **
Milho 50 mm	$R^2=0,7589$	$y = 10,6036818 + 0,22678864x - 0,00141351x^2$ **
Milho 1 mm	$R^2=0,7999$	$y = 18,9430000 - 0,02714048x$ **
Controle	$R^2=0,7822$	$y = 9,53150000 - 0,02929048x$ **

O perfil da atividade da urease foi semelhante ao observado com a desidrogenase, com curvas parabólicas de 2º grau, exceto o controle (Figura 10). A atividade aumentou 39% em relação ao tempo zero aos 30 dias e depois diminuiu. A inclusão dos vegetais no solo propiciou aumento significativo da atividade aos 30 e 60 dias (Tabela 18, página 80). A atividade do solo contendo os vegetais foi maior que no controle aos 30 dias e apenas o solo com partícula milho 1 mm foi aumentada aos 60 dias.

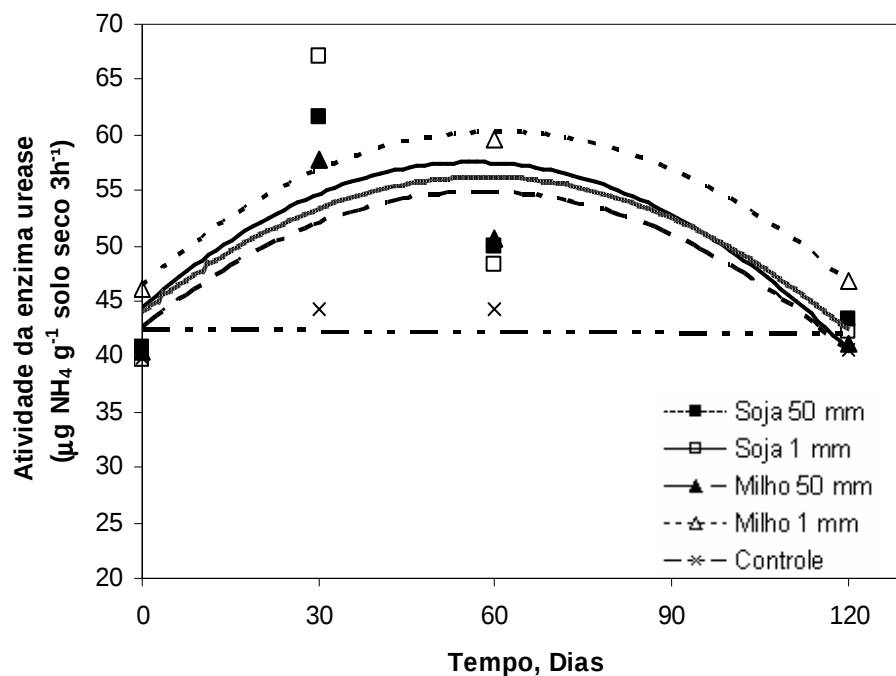


Figura 10. Atividade da enzima urease do solo devido a adição de partículas com diferentes tamanhos. Teste F ** P < 0,01 e ns não significativo.

Soja 50 mm	R²=0,5360	y = 43,9180455 + 0,42127424x - 0,00361692x² **
Soja 1 mm	R²=0,4265	y = 44,4223864 + 0,46621023x - 0,00414729x² **
Milho 50 mm	R²=0,7252	y = 42,5922727 + 0,42837879x - 0,00372096x² **
Milho 1 mm	R²=0,9879	y = 46,4725455 + 0,45993258x - 0,00382109x² **
Controle	-	y = 40,1875909 ^{ns}

A atividade da fosfatase do solo variou de 481,73 a 845,40 $\mu\text{g pNF g}^{-1}$ de solo seco h^{-1} , com resultados crescentes conforme curvas polinomiais (exceto no solo com soja 50 mm em que a atividade teve melhor ajuste com a forma polinomial de 1º grau) até os 60 dias de incubação e depois leve decréscimo (Figura 11). Nesse período, o aumento da atividade foi 51% maior que o verificado no tempo zero. Os resíduos de soja propiciaram os maiores ($p < 0,05$) aumentos da atividade no tempo zero (Tabela 19, página 80). Aos 60 dias, a atividade da fosfatase do solo com soja 50 mm foi a menor em relação às outras partículas.

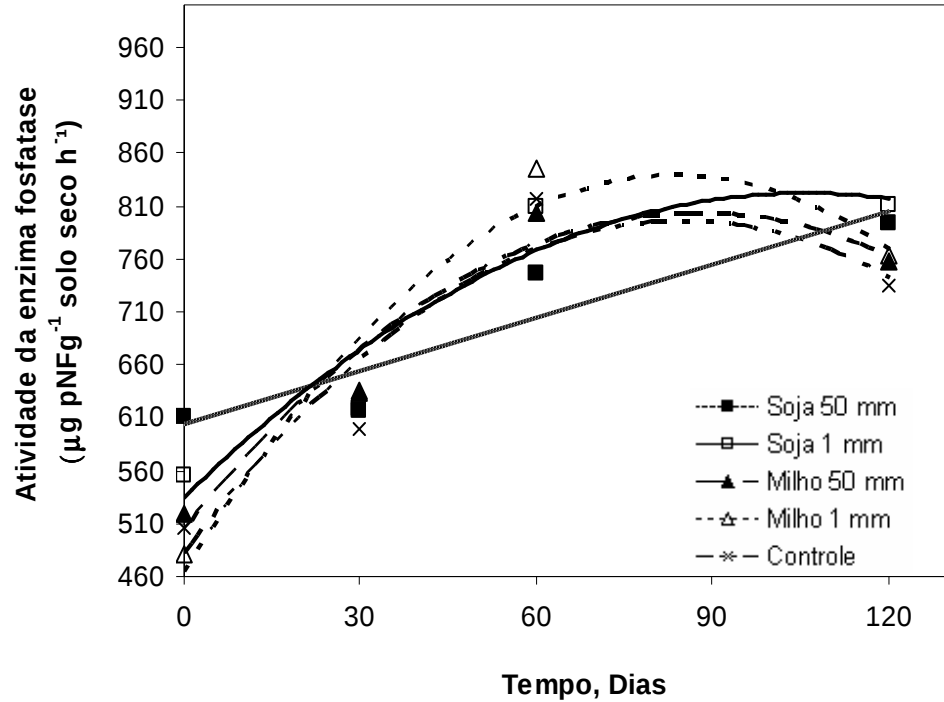


Figura 11. Atividade da enzima fosfatase do solo devido a adição de partículas com diferentes tamanhos. Teste F ** $P < 0,01$.

Soja 50 mm	$R^2=0,8707$	$y = 602,985000 + 1,68705952x$ **
Soja 1 mm	$R^2=0,8976$	$y = 534,663068 + 5,43111553x - 0,02564691x^2$ **
Milho 50 mm	$R^2=0,9447$	$y = 504,069205 + 6,84359659x - 0,03904072x^2$ **
Milho 1 mm	$R^2=0,9470$	$y = 463,633227 + 8,97021288x - 0,05351376x^2$ **
Controle	$R^2=0,8635$	$y = 480,156705 + 7,57955492x - 0,04637822x^2$ **

Os conteúdos de MO não variaram ao longo do tempo de incubação dos resíduos, exceto no solo adicionado de soja 1 mm que decresceu linearmente ($p < 0,05$) (Figura 12).

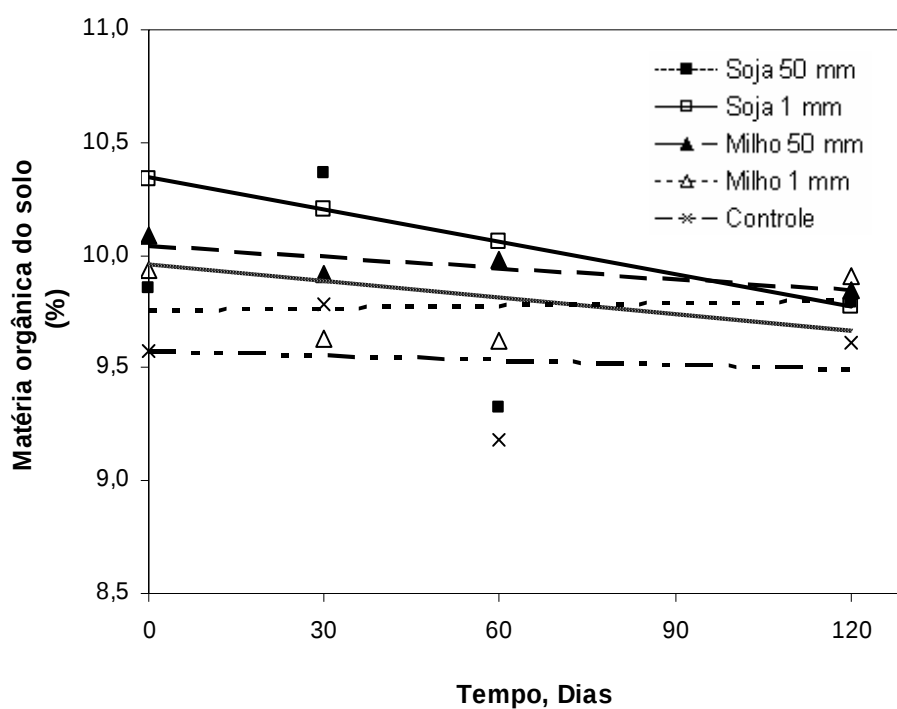


Figura 12. Matéria orgânica do solo devido a adição de partículas com diferentes tamanhos. Teste F ** $P < 0,05$ e ns não significativo.

Soja 50 mm	-	$y = 9,98829545$ ^{ns}
Soja 1 mm	$R^2=0,9988$	$y = 10,3430000 - 0,00474762x$ *
Milho 50 mm	-	$y = 10,0500000$ ^{ns}
Milho 1 mm	-	$y = 9,66950000$ ^{ns}
Controle	-	$y = 9,57000000$ ^{ns}

No início do ensaio (tempo zero), a incorporação dos vegetais no solo proporcionou um aumento médio de 32% no teor de carbono solúvel (Csol) quando comparado com o controle (Figura 13). Após incubação do solo, os teores de Csol decresceram significativamente (Tabela 21, página 81) de acordo com curvas que se ajustaram as equações de 2º grau (Figura 4). Após 30 dias de incubação, os teores de Csol foram semelhantes ao controle, exceto o solo adicionado de soja 50 mm que foi menor ($p < 0,05$) que o controle (Tabela 21, página 81).

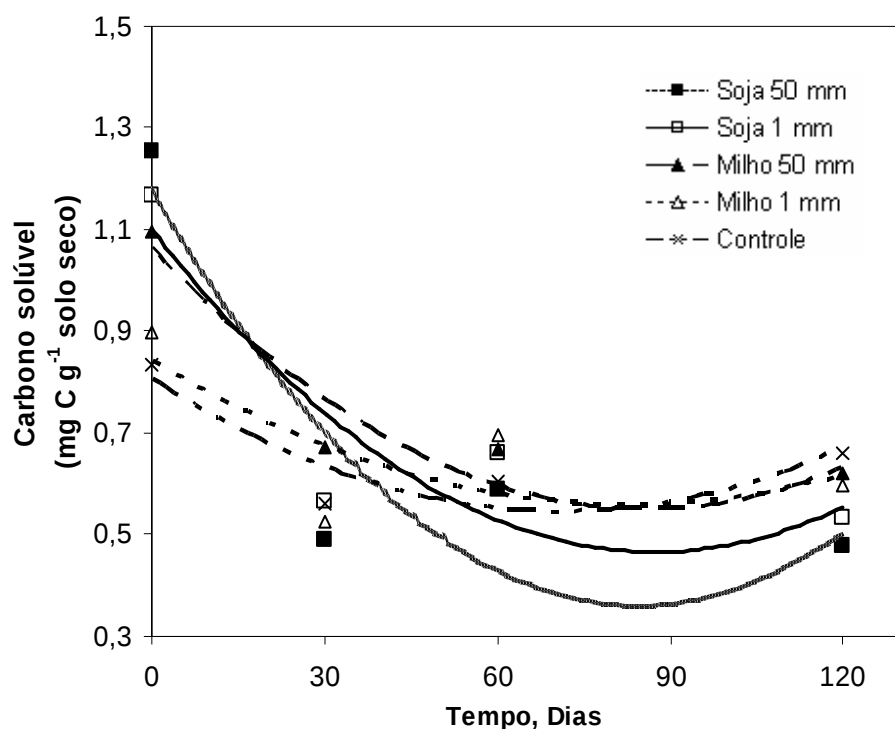


Figura 13. Carbono solúvel do solo devido adição de partículas com diferentes tamanhos. Teste F ** $P < 0,01$.

Soja 50 mm	$R^2=0,8183$	$y = 1,17422727 - 0,01927045x + 0,00011402x^2$ **
Soja 1 mm	$R^2=0,8039$	$y = 1,10043182 - 0,01451553x + 0,00008302x^2$ **
Milho 50 mm	$R^2=0,9006$	$y = 1,06265909 - 0,01190265x + 0,00006926x^2$ **
Milho 1 mm	$R^2=0,5119$	$y = 0,84159091 - 0,00681818x + 0,00004116x^2$ **
Controle	$R^2=0,7933$	$y = 0,81036364 - 0,00741439x + 0,00005215x^2$ **

O conteúdo de fósforo orgânico (Porg) do solo variou de 19,35 a 47,53 $\mu\text{g P g}^{-1}$ de solo seco, tendo decrescido segundo curvas polinomiais de 2º grau (Figura 14). Decréscimo médio de até 43% foi observado após 60 dias de incubação. Entre os vegetais, a maior redução de Porg ocorreu aos 60 dias no solo incorporado com soja 50 mm quando se comparou com os demais solos adicionados com vegetação. Os conteúdos de Porg foram sempre maiores ($p < 0,05$) de 22 a 45% nos solos adicionados de vegetação que o controle, a não ser no tempo zero em que não foram constatadas diferenças significativas (Tabela 22, página 82).

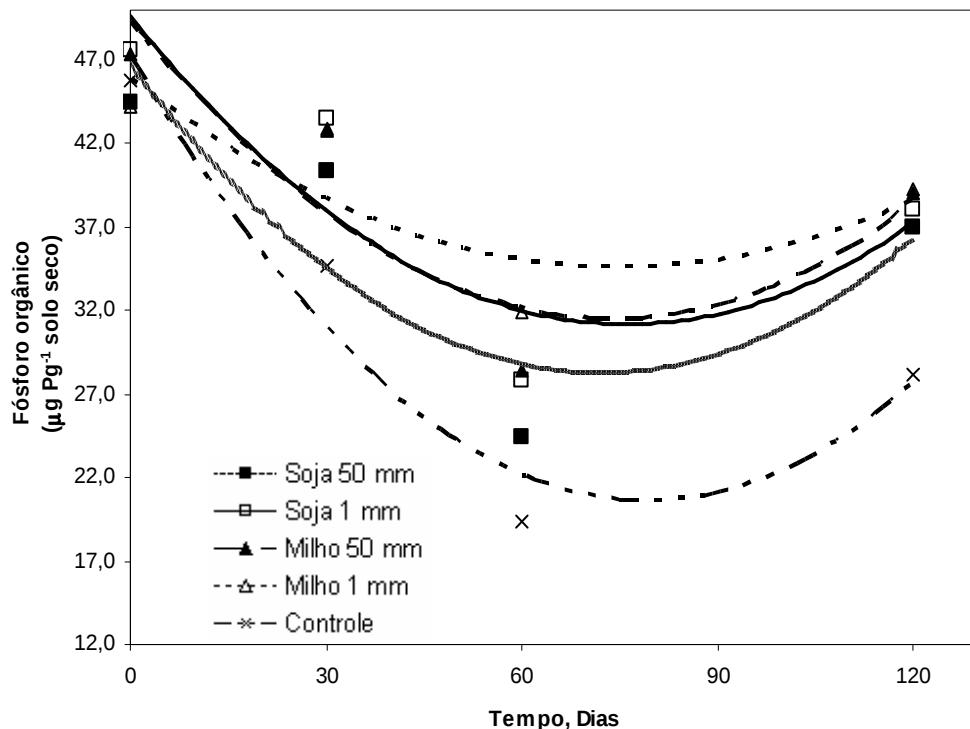


Figura 14. Fósforo orgânico do solo devido a adição de partículas com diferentes tamanhos.
Teste F * $P < 0,05$.

Soja 50 mm	$R^2=0,7423$	$y = 46,6160227 - 0,50760038x + 0,00351029x^2^{**}$
Soja 1 mm	$R^2=0,7577$	$y = 49,6130000 - 0,48465833x + 0,00318472x^2^{**}$
Milho 50 mm	$R^2=0,7805$	$y = 49,2799773 - 0,48063295x + 0,00325360x^2^{**}$
Milho 1 mm	$R^2=0,6636$	$y = 45,8666818 - 0,29991136x + 0,00200038x^2^{**}$
Controle	$R^2=0,9334$	$y = 47,2370909 - 0,67210152x + 0,00424672x^2^{**}$

O pH do solo (Tabela 23, página 82) variou de 5,34 a 5,72. Embora essa variação seja pequena, verificou-se que os resultados ajustaram-se na forma polinomial (Figura 15). O maior aumento médio foi verificado aos 60 dias, com pH = 5,64. Significativo aumento do pH em relação ao controle foi verificado no solo adicionado de soja 1 mm e 50 mm (Tabela 23, página 82).

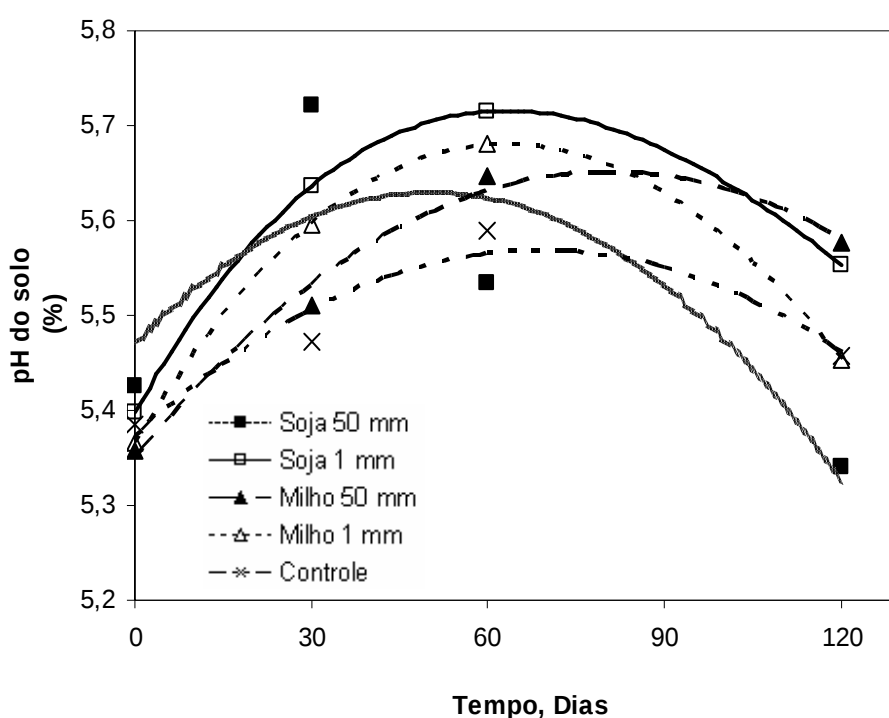


Figura 15. pH do solo devido a adição de partículas com diferentes tamanhos. Teste F ** P < 0,01 e ns não significativo.

Soja 50 mm	R ² =0,7030	y = 5,46959091 + 0,00635682x - 0,00006301x ² **
Soja 1 mm	R ² =0,9962	y = 5,40165909 + 0,00945568x - 0,00006824x ² **
Milho 50 mm	R ² =0,9849	y = 5,34993182 + 0,00747614x - 0,00004615x ² **
Milho 1 mm	R ² =0,9998	y = 5,36609091 + 0,00979848x - 0,00007551x ² **
Controle	R ² =0,9126	y = 5,37259091 + 0,00565682x - 0,00004078x ² **

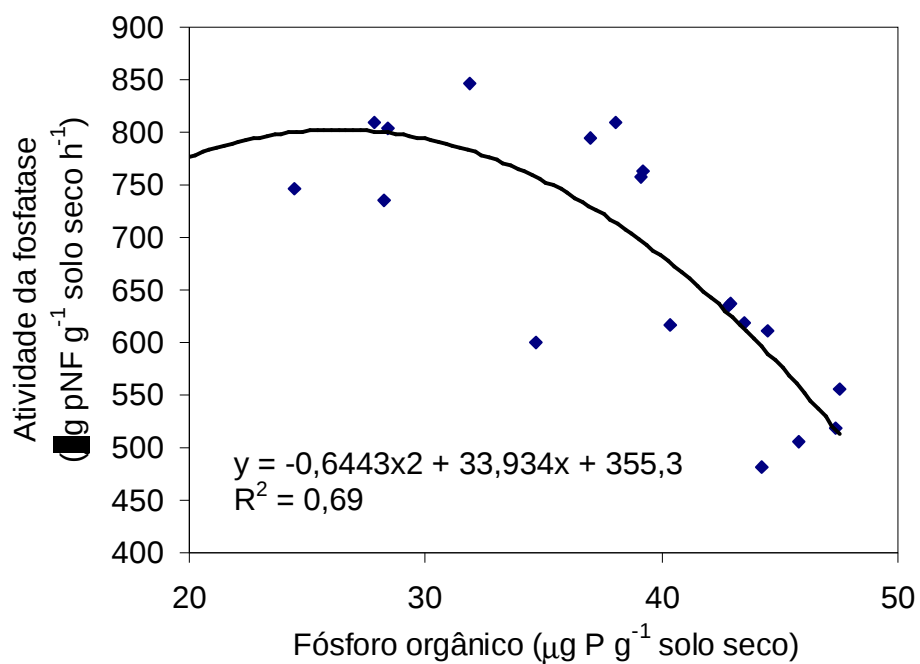


Figura 16. Correlação entre atividade da fosfatase e fósforo orgânico do solo.

5. DISCUSSÃO

5.1 Sistemas plantio direto em rotação de culturas

Este trabalho traz evidências sobre o efeito tanto da sucessão anual como da interação das culturas de inverno e de verão sobre as propriedades microbiológicas e químicas do solo. Significativa interação das sequências de verão e inverno foi observada sob o conteúdo de Corg do solo, com redução do Corg na sequência SM. Similares resultados foram observados por Palma et al. (2000) com significativa redução no conteúdo de Corg do solo também na sequência SM. Estes resultados sugerem que pode ter ocorrido maior oxidação da matéria orgânica nestes sistemas. Por outro lado, autores também observaram conteúdos menores do Corg nas culturas contínuas em relação às culturas em rotação (BENINTENDE et al., 2008; LADD et al., 1994). Pois, estudos anteriores conduzidos por Bayer et al. (2000) mostraram que a rotação com leguminosas incrementou o acúmulo de resíduos e conseqüentemente da matéria orgânica do solo. Entretanto, tem sido reportado que o conteúdo de Corg do solo é um dos principais fatores em afetar os atributos microbiológicos do solo sob diferentes culturas e condições de manejo (GOVAERTS et al., 2006; LOGOMARSINO et al., 2009).

Constatou-se a correlação altamente significativa e positiva entre o conteúdo de Corg e as demais variáveis estudadas, exceto qCO_2 (Tabela 10). Balota et al. (2004a) também verificaram significativa correlação entre o Corg, $qMIC$ e biomassa-C com as atividades enzimáticas celulase, amilase, arilsulfatase e fosfatases (ácida e alcalina) do solo. Estes resultados sugerem maior associação entre os atributos do solo e importante papel do retorno do resíduo das rotações de culturas na formação da matéria orgânica do solo (BAYER et al., 2000).

Foi verificado neste estudo que os solos na sequência SM foram os que mais afetaram a biomassa microbiana com significativo ($P < 0,05$) incremento no

conteúdo do CBM do solo após rotação com as culturas crotalária, girassol, milho e nabo forrageiro, e do NBM e PBM após o cultivo com crotalária (Tabela 2). Estes resultados são confirmados por Ladd et al. (1994), Balota et al. (2003), Benintende et al. (2008), Mercante et al. (2008) e Hungria et al., (2009). Entretanto, Marcelo et al. (2009) mostram que a produtividade de milho na sequência SM aumentou em 540 kg ha^{-1} em relação à cultura de milho contínuo. Este resultado sugere que a produção de maior quantidade de massa verde pode levar ao maior retorno dos resíduos da cultura sob o solo, podendo ter influído no aumento do conteúdo da biomassa microbiana. Essa influência da retenção de resíduos foi demonstrada por Govaerts et al. (2007) resultando em aumento significativo da biomassa-C em relação ao controle sem resíduo.

Além disso, inúmeros trabalhos abordaram o efeito das leguminosas como a cultura de soja no enriquecimento do solo devido à capacidade de fixação biológica do N_2 no solo (FERREIRA et al., 2000; FRANCHINI et al., 2007) que confirmam os altos teores de nitrogênio total em SS. Já as culturas de inverno podem ter influído na biomassa microbiana devido às suas características fisiológicas e densidade de plantas (KLADIVKO, 2001; ANDERSON et al., 2008; TORRES e PERREIRA, 2008). Por exemplo, as culturas de sorgo e guandu promoveram alto conteúdo de polissacarídeos totais nos solos (MARTINS et al., 2009), entre outros fatores importantes que podem ter afetado o microbiota são os diferentes exsudatos e componentes orgânicos liberados pelo sistema radicular e dos resíduos (BALOTA et al., 2004a). Embora sob diferentes condições experimentais, Mercante et al. (2008) verificaram o aumento no conteúdo de CBM com o cultivo de mandioca após as culturas de milho, mucuna e sorgo. Da mesma forma, Otsubo et al. (2008) também verificaram incremento na produtividade de mandioca após a cultura do milho.

Mudanças significativas têm sido observadas na relação $\text{C}_{\text{microbiano}}/\text{C}_{\text{orgânico}}$ (q_{MIC}) do solo em diferentes sistemas de manejo, pastagem (D'ANDREA et al., 2002), rotação de culturas (BENINTENDE et al., 2008) e cultivo orgânico ou convencional (MARINARI et al., 2006). Os resultados

no presente estudo mostraram que o $qMIC$ variou de 0,89 a 2,18% na sequência SS, 0,55 a 3,11% na sequência MM e 1,72 a 5,14% na sequência SM. Contudo, os altos valores de $qMIC$ do solo na sequência SM e na monocultura MM, podem indicar maior qualidade da matéria orgânica do solo (WARDLE, 1992), maior disponibilidade de substrato (ANDERSON, 2003), e possivelmente pode indicar maior qualidade do solo, em razão a diferentes rotação de culturas com acréscimos de C, no solo, ao longo do tempo (MARINARI et al., 2006; Mercante et al., 2008). Estes resultados são confirmados pela significativa e alta correlação do Corg com o $qMIC$ (Tabela 10), que sugerem que os solos com altos teores de $qMIC$ na sequência SM e baixos teores de qCO_2 podem promover maior conservação do Corg do solo (MARINARI et al., 2006). Assim, o C do solo no presente estudo pode ter resultando em maior imobilização pela microbiota.

As atividades da desidrogenase e respiratória refletem diretamente a fisiologia dos microrganismos, estando intrinsecamente relacionadas à comunidade microbiana ativa do solo. Os resultados encontrados mostraram que a atividade da desidrogenase foi estimulada no solo com as sequências em monoculturas SS após o cultivo de sorgo e MM após o cultivo de nabo forrageiro. Possivelmente, este efeito decorra do incremento do conteúdo da biomassa-P verificado nestas sequências. O efeito da sucessão ervilha/trigo em relação no plantio contínuo de ervilha sobre a atividade da desidrogenase e o conteúdo de CBM também foram constatado por Nayyar et al. (2009). Em adição, a relação entre a atividade da desidrogenase e o conteúdo de biomassa-C, N e P foi observado neste estudo através da correlação significativa ($p < 0,0001$) e positiva entre essas variáveis ($r = 0,46, 0,54, 0,76.$), respectivamente, (Tabela 10), evidenciada também por Trasar-Cepeda et al. (2008). Estes resultados mostram maior quantidade de organismo com capacidade oxidativa no sistema SM.

O da atividade respiratória nos solos resultou em maior atividade na sequência SM após o cultivo da crotalária. Diferentemente, Palma et al. (2000) não observaram diferenças significativas entre a produção de CO_2 na rotação das culturas MM e SM. O efeito da rotação com a cultura de soja foi ressaltado

anteriormente sobre a biomassa microbiana e a atividade da desidrogenase. Franchini et al. (2007) verificaram aumento de 13% na emissão de CO₂ após a rotação da cultura com tremoço, conseqüentemente promovendo rápida decomposição. A correlação da atividade respiratória com a biomassa microbiana C ($r = 0,60$) e a atividade da desidrogenase ($r = 0,80$) (Tabela 10) também foram observadas por Trasar-Cepeda et al. (2008) e sugere que a produção de C-CO₂ pode estar associada ao crescimento microbiano.

Os valores do índice ($q\text{CO}_2$) estão dentro da faixa verificada por Trasar-Cepeda et al. (2008) para culturas rotacionadas. Baixos valores de $q\text{CO}_2$ podem indicar boa condição do ambiente sob a microbiota do solo (ANDERSON e DOMSCH, 1993). De forma geral, o $q\text{CO}_2$ foi superior nas monoculturas que na sequência SM, sugerindo que o monocultivo resultou em uma condição adversa a biota do solo, podendo ter baixa eficiência na utilização do substrato (GIL-SOTRE et al., 2005). Os baixos teores de $q\text{CO}_2$ e alta biomassa-C encontradas nos solos na sequência SM podem indicar a seleção de comunidades mais eficientes com menores perdas de C em forma de CO₂ ou comunidades mais estáveis (células mais velhas) que perderiam gastariam menos C que comunidades mais novas.

Nenhum efeito significativo dos sistemas estudados sobre as atividades da urease e da fosfatase conduzidas em plantio direto foi observado neste estudo. Essa resposta também foi reportada por Palma et al. (2000) com relação à atividade da urease. Segundo Green et al. (2007) a atividade enzimática diminui com a profundidade e pode ser influenciada pelo aumento da estratificação vertical da matéria orgânica em solos conduzidos sob plantio direto, com significativa influência na camada de 0-5 cm. Este resultado sugere que em maior profundidade do solo como em nosso estudo (0-15 cm) existe uma menor possibilidade de efeito sobre essa enzima. Em adição, a falta de efeito sobre a atividade da fosfatase pode ser devida à repressão da enzima (BARROSO et al., 2006) em decorrência da concentração média a alta de fósforo (98 kg ha⁻¹ anualmente) do solo observada nesses sistemas (MARCELO et al., 2009). Entretanto, a atividade dessas enzimas foi correlacionada com a biomassa

microbiana C, N e P (Tabela 10), resultando em maiores associações com a ciclagem destes elementos no solo (BALOTA et al., 2004a).

A sequência SM afetou fortemente a maior parte das propriedades do solo, implicando em maior atividade (C-CO₂), suprimento de energia (qMIC) podendo estimular o desenvolvimento da biota do solo (CBM, NBM, PBM e atividade da fosfatase) (Figura 2). Estes resultados sugerem que as sequências em rotação de culturas podem promover melhores condições de desenvolvimento da microbiota e melhorar a qualidade do solo devido a qualidade do material vegetal na superfície do solo (BALOTA et al., 2004; BENINTENDE et al., 2008; HUNGRIA et al., 2009; KASCHUK et al., 2009).

Os componentes principais demonstraram maior sensibilidade em selecionar categoricamente a cultura mais bem adaptada, devido sua alta influência nas propriedades do solo como verificado com as culturas de inverno crotalária, sorgo e guandu, devido a heterogeneidade da distribuição das culturas e dos atributos microbiológicos e químicos (Figura 3), a forte influência destas culturas fez com que grande parte dos atributos do solo agrupassem com estas espécies culturais (BENINTENDE et al., 2008), podendo sugerir que os exsudatos liberados pelas raízes e a decomposição dos resíduos (SYLVIA et al., 2005) podem promover aumento da atividade microbiana resultando em maior equilíbrio nos ciclos biogeoquímicos (PALMA et al., 2000; WARDLE et al., 2004; TRASAR-CEPEDA et al., 2008).

No entanto, os solos cultivados com estas culturas podem estar passando por algum estresse ambiental devido sua relação com $q\text{CO}_2$, diferentemente das culturas de nabo forrageiro e milheto que além de estimularem o desenvolvimento microbiano (CBM e NBM), comportam bom índices de qualidade nutricional da matéria orgânica do solo (qMIC) com melhor utilização do substrato (MERCANTE et al., 2008). (Figura 3), que possivelmente ocorreu devido a sua positiva e significativa correlação com as biomassas C, N, Corg, MO e Nt (Tabela 10). Por outro lado, o girassol tem proporcionado perda das propriedades microbiológicas do solo, podendo ser devido à intensidade de ciclos produtivos, baixo aporte de

cobertura do solo. A menor influencia do milho pode ter sido devido à intensificação da colheita dos grãos, podendo ter depauperado a qualidade dos atributos biológicos e químicos do solo (GOVAERTS et al., 2007).

5.2 Decomposição de resíduos vegetais de diferentes tamanhos das partículas de soja e milho em influencia do tempo

No cultivo convencional, os restos de cultura são incorporados utilizando-se práticas de revolvimento do solo com grades de disco e arado, decompostos pelos microrganismos, fornecendo, assim, inúmeros nutrientes para a próxima cultura (WEDDERBURN e CARTER, 1999). O efeito da incorporação de restos de cultura tem sido abordado por vários autores (Aquino et al., 2005; Singh et al., 2006) que demonstraram alterações na atividade microbiana e carbono solúvel do solo. Constatou-se que inúmeros atributos do solo foram alterados em decorrência da incorporação de frações de resíduos de soja e de milho em um período que se prolongou por até 120 dias.

Ficou comprovado que a intensidade da atividade respiratória microbiana depende da quantidade de palha adicionada ao solo (SIMS e FEDERICK, 1970; AMBUS e JENSEN, 1997). Quando foram utilizadas 8 t ha⁻¹ de palha, a atividade respiratória foi maior que o controle (sem palha) mas não houve diferença entre as diferentes frações dos vegetais. Aumentando-se as quantidades de palha para 28 e 58 t ha⁻¹ pode-se inferir que: a) houve maior estímulo da atividade respiratória no solo adicionado de soja em relação ao milho e da fração de 50 mm em comparação à de 1 mm; b) a atividade culminou logo aos 4 dias de incubação. Chahal e Wagner (1965) também observaram que o pico do C-CO₂ evoluído ocorreu em curto espaço de tempo, no primeiro e segundo dia. A rápida decomposição da matéria orgânica é decorrente de uma baixa relação C/N (TORRES et al., 2005; BÔER et al., 2008), o que não foi observado com os resíduos utilizados neste estudo. Porém, o estímulo da atividade respiratória no

solo adicionado de soja pode ser devido à maior concentração de C e de N e menor relação C/N que o milho.

A relação C/N ideal para que ocorra maior mineralização que imobilização tem sido descrita como de 20 a 30 (DOUGLAS et al., 1980; PALM e SANCHEZ, 1991). Para ambas as espécies vegetais a relação C/N foi bem acima de 30. Conforme verificado por Torres et al. (2005) e Bôer et al. (2008), o que sugere a maior imobilização do N nas etapas iniciais de incubação do solo. De fato, o maior potencial nitrificante ocorreu após 60 dias quando a relação C/N do solo deve ter diminuído ocorrendo a mineralização do N. Esta resposta foi mais evidente no solo adicionado de soja por conter maior quantidade de N que o milho. Resíduos que apresentam baixa quantidade de lignina e relação C/N liberam rapidamente os nutrientes com elevada perda de massa (WEDDERBURN e CARTER, 1999).

Os resultados mostram que o carbono solúvel (Csol) diminuiu com o tempo de incubação. Resultados similares foram verificados por Singh et al. (2006) utilizando diferentes frações de resíduo de canola. Gale e Gilmour (1988) verificaram que ao longo de 30 dias de incubação o Csol não variou durante a incubação aeróbia, porém em anaerobiose alcançou o pico aos 14 dias de incubação.

A atividade da desidrogenase constitui uma resposta à biomassa microbiana viável do solo (TRASAR-CEPEDA et al., 2008). Portanto, pode-se concluir que o perfil parabólico apresentado pelas curvas com aumento até os 60 dias de incubação seguida de diminuição da atividade desta enzima tenha resultado da variação do tamanho da população microbiana. É possível que o crescimento da população microbiana seja consequência da influência do pH do solo que aumentou aos 60 dias de incubação. Além do mais, pode se verificar que o aumento da atividade no solo com os vegetais em relação ao controle seja o resultado do estímulo da população da microbiota.

A atividade da urease está relacionada ao crescimento da população microbiana heterotrófica (GARCIA e NAHAS, 2007) e o potencial nitrificante é uma resposta da nitrificação do NH_4^+ por bactérias autotróficas (CANTARELLA et al.,

1992). Ambas as atividades aumentaram após incubação do solo e depois diminuíram. A atividade da urease seguiu a mesma tendência da atividade da desidrogenase variando conforme curvas parabólicas e com aumento da atividade no solo com vegetais incorporados em relação ao controle. A variação do pH do solo pode ter influído nestes resultados da mesma forma do que ocorreu com a atividade da desidrogenase. Em adição, a diminuição do conteúdo de C solúvel no solo durante o período de incubação pode ter influído na diminuição da população microbiana e conseqüentemente na atividade dessas enzimas. O efeito do pH sobre as bactérias autotróficas nitrificantes tem sido citado na literatura entre 5 e 6 (LI et al., 2001). Portanto, o aumento do potencial nitrificante pode ser resposta ao crescimento dessas bactérias em função do pH do solo, principalmente no solo adicionado de soja.

A fosfatase ácida é produzida por diferentes organismos e sua atividade pode ser reprimida pela concentração de fósforo (BARROSO et al., 2006). Os resultados da figura 16 mostram que a atividade da fosfatase aumentou quando o conteúdo de Porg diminui. Com a diminuição do conteúdo de Porg e concomitantemente do fósforo inorgânico, a atividade da enzima pode ser expressa (NAHAS et al., 1994).

6. CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo sugerem que a rotação anual de culturas de verão e de inverno e suas interações tiveram um incremento significativo nos atributos microbiológicos. A rotação de culturas tem visado a saúde do solo, porém devido à variedade de resíduos vegetais depositados no solo e às próprias características das culturas utilizadas ao longo do tempo (2002-2008) diferentes respostas nas suas atividades metabólicas foram obtidas. Ficou evidente que dentre as culturas de verão, a sequência SM influenciou mais os atributos microbiológicos que as monoculturas MM e SS. E essa influência foi mais clara ao se verificar o acúmulo do C, N e P da biomassa microbiana e maior atividade microbiana, indicando melhor qualidade do solo devido à alta relação das propriedades do solo. Os componentes principais das sequências de verão mostraram forte influência sob as propriedades do solo, sendo o maior efeito verificado na sequência SM. Quanto às culturas de inverno o menor efeito foi verificado com girassol e milho.

A incorporação de restos de culturas é uma prática que visa favorecer a decomposição dos vegetais propiciando nutrientes para a nova planta. A adição da palha de soja ou de milho no solo mostrou claramente que os atributos bioquímicos, quando se comparou com o solo controle, foram alterados durante o processo de decomposição possivelmente favorecendo a disponibilidade de nutrientes. Enquanto a atividade respiratória e os atributos químicos como matéria orgânica, C solúvel e fósforo orgânico diminuíram durante o período de incubação do solo, as atividades da desidrogenase, nitrificante, urease e fosfatase e o índice de pH aumentaram até os 60 dias. As atividades das enzimas desidrogenase e da urease e as atividades respiratória e o potencial nitrificante e o conteúdo de Porg aumentaram em relação ao controle, porém nenhum efeito foi observado com relação à atividade da fosfatase, conteúdo de matéria orgânica e índice pH. O efeito da espécie vegetal e do tamanho da partícula não ficou suficientemente claro.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMBUS, P.; JENSEN, E.S. Nitrogen mineralization and denitrification as in by crop residue particle size. **Plant Soil**, v. 197, p. 261-270, 1997.

ANDERSON, J.D.; INGRAN, J.S.I. **Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods**. 2 ed. Wallingford, CAB International, 171 p., 1996.

ANDERSON, J.D.; INGRAM, L.J.; STAHL, P.D. Influence of reclamation manegement practices on microbial biomass carbon and soil organic carbon accumulation in semiarid mined lands of Wyoming. **Applied Soil Ecology**, v. 40, p. 387-397, 2008.

ANDERSON, T.H. Microbial eco-physiological indicators to asses soil quality. **Agriculture Ecosystems and Environment**, v. 98, p. 285-293, 2003.

ANDERSON, T.H.; DOMSCH, K.H.. Application of eco-phisiological quotiens (qCO_2 and qD) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 22, p. 251– 255, 1990.

ANDERSON, T.H., DOMSCH, K.H. The metabolic quotient for CO_2 (qCO_2) as a specific activity parameter to assess the effects of environment conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil. Biology and Biochemistry**, v. 25, p. 393-395, 1993.

ANDREOLA, F.; FERNANDES, S.A.P.A **Microbiota do Solo na Agricultura Orgânica e no Manejo das Culturas**. In: Microbiota do solo e qualidade ambiental. SILVEIRA, A. P. D.;FREITAS, S. S. (Eds.), Campinas: Instituto Agronômico, SP, pp. 21-38, 2007.

ANGERS, D.A.; BISSONNETTE, N.; LÉGÈRE, A.; SAMSON, N. Microbial and biochemical changes induced by rotation and tillage in a soil under barley production. **Canadian Journal Soil Science**, v.73, p.39-50, 1993.

AQUINO, A.M.; ALMEIDA, D.L.; GUERRA, J.G. M.; DE-POLLI, H. Biomassa microbiana, colóides orgânicos e nitrogênio inorgânico durante a vermicompostagem de diferentes substratos **Pesquisa agropecuária Brasileira**, v.40, p.1087-1093, 2005.

BALOTA, E. L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D. S.; HUNGRIA, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 641-649, 1998.

BALOTA, E. L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D. S.; DICK, R. P. Microbial biomass in soils under different tillage in crop rotation systems. **Biology Fertility Soils**, v. 38, p. 15-20, 2003.

BALOTA, E.L.; KANASHIRO, M.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D.S.; DICK, R.P. Soil enzyme activities under long-term tillage an crop rotation systems in subtropical agro-ecosystems. **Brazilian Journal of Microbiology**. v. 35, p. 300-306, 2004a.

BALOTA, E.L.; COLOZZI FILHO, A.; ANDRADE, D.S.; DICK, R.P. Long-term tillage and crop rotation effects on microbial biomass and C and N mineralization in a Brazilian Oxisol. **Soil and Tillage Research**, v. 77, p. 137-145, 2004b.

BARETTA, D; SANTOS, J.C. P; FIGUEIREDO, S.R; KLAUBERG-FILHO, O. efeito do monocultivo de pinus e da queima do campo nativo em atributos biológicos do

solo no planalto sul Catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 715-724, 2005.

BARROSO, C.B.; PEREIRA, G.T.; NAHAS, E. Solubilization of CaHPO_4 and AlPO_4 by *Aspergillus niger* in culture media with different carbon and nitrogen sources. **Brazilian Journal Microbiology**, v. 37, p. 434-438, 2006.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; AMADO, T.J.C.; MARTINS-NETO, L.; FERNÁNDEZ, S.V. Organic matter storage in a sand clay loam acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 54, p. 101-109, 2000.

BENINTENDE, S.M.; MARÍA C.; BENINTENDE, M.A.; STERREN JUAN J. De BATTISTA. Soil microbiological indicators of soil quality in four rice rotations systems. **Ecological Indicators**, v. 8, p. 704-708, 2008.

BÔER, C.A.; ASSIS, R.L.; SILVA, G.P.; BRAZ, A.J.B.P.; BARROSO, A.L.L.; CARGNELUTTI Filho, A.; PIRES, F.R. Biomassa, decomposição e cobertura do solo ocasionada por resíduos culturais de três espécies vegetais na região Centro-Oeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.843-851, 2008.

BREMNER, J.M.; MULVANEY, C.S. Nitrogen-total. In: PAGE, A.L.; MILLER, R.H.; KEENEY, D.R., eds. Methods of soil analysis: Chemical and microbiological properties. 2.ed. Madison, **American Society of Agronomy**, 1982. Part 2. p.595-624.

BROOKES, P.C.; POWLSON, D. S.; JENKINSON, D.S. Mensurement of microbial biomass phosphorus in soil. **Soil. Biology and Biochemistry**, v. 14, p. 319-329, 1982.

BROOKES, P.C.; LANDMAN, A.; PRUDEN, G.; JENKINSON, D.S. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. **Soil. Biology and Biochemistry**, v. 17, p. 837-842, 1985.

CANTARELLA, H.; ABREU, C.A. de; BERTON, R.S. **Fornecimento de nutrientes pela matéria orgânica do solo**. In: ENCONTRO SOBRE MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO – PROBLEMAS E SOLUÇÕES, 1992, Botucatu. Anais. Botucatu: Faculdade de Ciências Agronômicas, 1992. Editado por I. A. Guerrini, L. T. Bull. p.63-122.

CASIDA JR, L.E. Microbial metabolic activity in soil as measured by dehydrogenase determinations. **Applied and Environmental Microbiology**. v.34, p. 630-636, 1977.

CHAHAL, K.S.; WAGNER, G.K. Decomposition of organic matter in sanborn field soils amended with C14 glucose. **Soil Science**, v. 100, p. 96-103, 1965.

COLOZZI-FILHO, A. **Plantio direto: microrganismos e processos**. In: ASSOCIAÇÃO DE PLANTIO DIRETO NO CERRADO. Atualização em fertilidade e biodinâmica no sistema plantio direto. Brasília: APDC, 2000. p. 29-42 (Programa de treinamento).

D'ANDREA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; SIQUEIRA, J.O.; CARNEIRO, M.A.C. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do Cerrado no sul do estado de Goiás. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 26, p. 913–923, 2002.

DE-POLLI, H.; GUERRA, J.G.M. **Determinação do carbono da biomassa microbiana do solo: método da fumigação-extração**. Seropédica: Embrapa–CNPAB, 1997. 13 p. (Documentos, 37).

DE-POLLI, H.; GUERRA, J. G. M. **C, N e P na biomassa microbiana do solo**. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 389-411.

DICK, R.P. Soil enzymes activities as indicator of soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.f.; STEWAR, B.A. (Eds.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 327-335. (SSSA Special Publication, Number 49).

DORAN, J.W. Soil health and sustainability: Translating science into practice. **Agriculture Ecosystems Environment**, v. 88, p. 119-127, 2002.

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W. et al. (Ed.). **Defining soil quality for sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 3-21. (Special Publication, 35)

DORAN. J.W.; ZEISS. R.M. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. **Applied Soil Ecology**, v. 15, p. 3–11, 2000.

DOUGLAS, C.L.; ALMMARAS, Jr.R.R.; RASMUSSEN, P.E.; RAMIG, R.E.; ROAGER, Jr.N.C. Wheat straw composition and placement effects on decomposition in dryland agriculture of the pacific northewest. **Soil Science Society American Journal**. v. 44, p. 833-837, 1980.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema** Brasileiro de Classificação do Solo. Rio de Janeiro, Embrapa/CNPS, 1999. 412p.

FEDERAÇÃO Brasileira de Plantio Direto na Palha: histórico. Disponível em: <<http://www.febrapdp.org.br/historico.htm>>. Acesso em 15 de maio, 2009.

FERREIRA, M.C.; ANDRADE, D.S.; CHUEIRE, L.M.O.; TAKEMURA, S.M.; HUNGRIA, M. Effects of tillage method and crop rotation on the population sizes and diversity of bradyrhizobia nodulating soybean. **Soil Biological Biochemistry**, v. 32, p. 627–637, 2000.

FRANCHINI, J.C.; CRISPINO, C.C.; SOUZA, R.A.; TORRES, E.; HUNGRIA, M. Microbiological parameters as indicators soil quality under various soil management and crop rotation systems in southern Brasil. **Soil and Tillage Research**, v. 92, n.1-2, p.18-29, 2007.

FRANCO-VIZCAÍNO, E. Soil quality in Central Michigan: rotation with high and low diversity of crops and manure. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (Eds.). **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p. 327-335. (SSSA Special Publication, Number 49).

GALE, P.M.; GILMOUR, J.T. Net mineralization of carbon and nitrogen under aerobic and anaerobic conditions. **Soil Science Society American Journal**. v. 52, p. 1006-1010, 1988.

GARCIA, M.R.L.; NAHAS, E. Biomassa e atividade microbiana de solo pastejado por diferentes lotações de ovinos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 269-276, 2007.

GIL-SOTRES, F.; TESAR-CEPEDA, C; LEIRÓS, M.C.; SEOANE, S. Different approaches to evaluating soil quality using biochemical properties. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 37, p. 877-887, 2005.

GOVAERTS, B.; SAYRE, K.D.; DECKERS, J. A minimum data set for soil quality assessment of wheat and maize cropping in the highlands of Mexico. **Soil and Tillage Research**, v. 87, p. 163–174, 2006.

GOVAERTS, B.; MEZZALAMA, M.; UNO, Y.; SAYRE, K.D.; LUNA-GUIDO, M.; VANHERCK, K.; DENDOOVEN, L.; DECKERS, J. Influence of tillage, residue management, and crop rotation on soil microbial biomass and catabolic diversity. **Applied Soil Ecology**, v. 37, p. 18-30, 2007.

GOVAERTS, B.; MEZZALAMA, M.; SAYRE, K.D.; CROSSA, J.; LICHTER, K.; TROCH, V.; VANHERCK, K.; DE CORTE, P.; DECKERS, J. Long-term consequences of tillage, residue management, and crop rotation on selected soil micro-flora groups in the subtropical highlands. **Applied Soil Ecology**, v. 38, p. 197-210, 2008.

GREEN, V.S.; STOTT, D.E.; CRUZ, J.C.; CURI, N. Tillage impacts on soil biological activity and aggregation in a Brazilian Cerrado Oxisol. **Soil and Tillage Research**, v. 92, p. 114–121, 2007.

GUALBERTO, V.; MELLO, C.R.; NÓBREGA, J.C.A. O uso do solo no contexto agroecológico: uma pausa para reflexão. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 24, p.18-28, 2003.

HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J.C.; BRANDÃO-Junior, O.; KASCHUK, G.; SOUZA, R.A. Soil microbial activity and crop sustainability in a long-term experiment with

tree soil-tillage and two crop-rotation systems. **Applied Soil Ecology**, v. 42, p. 288-296, 2009.

JENKINSON, D.S.; LADD, J.N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: PAUL, E.A.; LADD, J.N. (Ed.). **Soil biochemistry**. New York: Marcel Dekker, 1981. v. 5, p. 415-471.

KASCHUK, G., ALBERTON, O., HUNGRIA, M. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: Lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. **Soil Biology and Biochemistry**, 1–13. doi:10.1016/j.soilbio.2009.08.020, 2009.

KEENEY, D.R.; NELSON, D.W. Nitrogen-inorganic forms. **Methods of soil Analysis**, v. 2, p. 643-698, 1982.

KLADIVKO, E.J. Tillage systems and soil ecology. **Soil and Tillage Research**, v. 61, p.61-76, 2001.

KREMER, R.J.; LI, J. Developing weed-suppressive soil through improved soil quality management. **Soil and Tillage Research**, v. 72, p. 193-202, 2003.

LADD, J.N.; AMATO, M.; LI-KAI, Z.; SCHULTZ, J.E. Differential effects of rotation, plant residue and nitrogen fertilizer on microbial biomass and organic matter in an Australian Alfisol. **Soil Biology Biochemistry**, v. 26, p. 821-831, 1994.

LAL, R. Climate change and food security soil carbon sequestration impacts on global. **Science**, v. 304, p. 1623-1627, 2004.

LI, Z.; PENG, S.; ERA, D.J.; ZHOU, G. Litter decomposition and nitrogen mineralization of soils in subtropical plantation forests of southern China, with

special attention to comparisons between legumes and non-legumes. **Plant and Soil**, v. 229, p. 105–116, 2001.

LOGOMARSINO, A.; MOSCATELLI, M.C.; DI TIZIO, A.; MANCINELLI, R.; GREGO, S.; MARINARI, S. Soil biochemical indicators as a tool to assess the short-term impact of agricultural management on changes in organic C in a Mediterranean environment. **Ecological Indicators**, v. 9, p. 518-527, 2009.

MARCELO, A.V., CORÁ, J.E., FERNANDES, C., MARTINS, M.R., JORGE, R.F. Crop sequences in no-tillage system: effects on soil fertility and soybean, maize and rice yield. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 33, p. 417-428. 2009.

MARINARI, S.; MANCINELLI, R.; CAMPIGLIA, E.; GREGO, S. Chemical and biological indicators of soil quality in organic and conventional farming systems in Central Italy. **Ecological Indicators**, v. 6, p. 701-711, 2006.

MARTINS, M.R.; CORÁ, J.E.; JORGE, R.F.; MARCELO, A.V. Crop type influences soil aggregation and organic matter under no-tillage. **Soil and Tillage Research**, v.104, p. 22-29, 2009.

MERCANTE, F.M.; SILVA, R.F.; FRANCELINO, C.S.F.; CAVALHEIRO, J.C.T.; OTSUBO, A.A. Biomassa microbiana, em um Argissolo Vermelho, em diferentes coberturas vegetais, em área cultivada com mandioca. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 34, p. 479-485, 2008.

Mc GARITY, J.W.; MYERS, M.G. A survey of urease activity in soils of Northern South Wales. **Plant Soil**, v. 27, p. 217-238, 1967.

NAHAS, E.; CENTURION, J.F; ASSIS, L.C. Efeito das características químicas dos solos sobre os microrganismos solubilizadores de fosfato e produtores de fosfatase. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 18, p. 49-53, 1994.

NAYYAR, A.; HAMEL, C.; LAFOND, G.; GOSSEN, B.D.; HANSON, K.; GERMIDA, J. Soil microbial quality associated with yield reduction in continuous-pea. **Applied. Soil Ecology**, v. 43, p. 111-121, 2009.

OTSUBO, A.A.; MERCANTE, F.M.; SILVA, R.F.; BORGES, C.D. Desenvolvimento e produtividade de mandioca em cultivo mínimo sob diferentes coberturas vegetais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, p. 327-332, 2008.

PALM, C.A.; SANCHEZ, P.A. Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents. **Soil Biology and Biochemistry**, v.21, p. 83-88, 1991.

PALMA, R.M.; ARRIGO, N.M.; SAUBIDET, M.I.; CONTI, M.E. Chemical and biochemical properties as potential indicators of disturbances. **Biology Fertility Soils**, v. 32, p. 381-384, 2000.

POWLSON, D.S.; BROOKES, P.C.; CHRISTENSEN, B.T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. **Soil and Tillage Research**, v. 19, p.159-164, 1987.

RAIJ, B. VAN.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.) Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2. ed. Campinas:**Instituto Agrônômico e Fundação IAC**, 1997. 285 p. (Boletim Técnico 100).

REZENDE, L.A.; ASSIS, L.C.; NAHAS, E. Carbon, nitrogen and phosphorus mineralization in two soils amended with distillery yeast. **Bioresource Technology**, v. 94, p. 159-167, 2004.

SAUNDERS, W.M.H.; WILLIAMS, E.G. Observations on the determination of total organic phosphorus in soil. **Journal Soil Science**, v. 6, p. 254-267, 1955.

SCHMIDT, E.L.; BELSER, L.W. **Autotrophic nitrifying bacteria**. In: WEAVER, R.W.; ANGLE, S.; BOTTOMLEY, D.; BEZDICEK, D.; SMITH, S. TABATABAI, A.; WOLLUM, A., eds. Methods of soils analysis. Microbiological and biochemical properties. Madison, Soil Science Society of America, 1994. p.159-177. Part 2. (SSSA Book Series, 5)

SPOSITO, G.; ZABEL, A. The assessment of soil quality. **Geoderma**, Amsterdam, v. 114, n. 3/4, p. 143-144, Jun. 2003.

SILVA, R.F.; AQUINO, A.M.; MERCANTE, F.M.; GUIMARÃES, F. Macrofauna invertebrada sob diferentes sistemas de produção em Latossolo da Região do Cerrado. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 41, p. 697-704, 2006.

SILVA, R.F.; TOMAZI, M.; PEZARICO, C.R.; AQUINO, A.M.; MERCANTE, F. M. Macrofauna invertebrada em cultivo de mandioca sob sistema de cobertura do solo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 42, p. 865-871, 2007.

SIMS, J.L.; FEDERICK, L.R. Nitrogen immobilization and decomposition of corn residue in soil and sand as effect by residue particle size. **Soil Science**, v. 109, p. 355-361, 1970.

SIMS, J.R.; HABY, V.A. Simplified colorimetric determination of soil organic matter. **Soil Science**, v. 112, p. 137-141, 1971.

SINGH, B.; RENGEL, Z.; BOWDEN, J. W. Carbon, nitrogen and sulphur cycling following incorporation of canola residue of different sizes into a nutrient-poor sandy soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 38, p. 32-42, 2006.

SPARLING, G.P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. **Australian Journal Soil Research**, v. 30, p. 195-207, 1992.

STEENWERTH, K.; BELINA, K.M. Cover crops enhance soil organic matter, carbon dynamics and microbiological function in vineyard agroecosystem. **Applied Soil Ecology**, v. 40, p. 359-369, 2008.

SUMMEREL, B.A.; BURGESS, L.W. Decomposition and chemical composition of cereal straw. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 21, p. 551-559, 1989.

SYLVIA, D.M.; FUHRMANN, J.J., HARTEL, P.G., ZUBERER, D.A. **Principles and Applications of Soil Microbiology**. 2^o ed. Pearson, New Jersey, 640pp, 2005.

TABATABAI, M.A.; BREMNER, J. M. Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 1, p. 301-307, 1969.

TORRES, J.L.R.; PEREIRA, M.G. Dinâmica do potássio nos resíduos vegetais de plantas de cobertura no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 32, p. 1609-1618, 2008.

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

TÓTOLA, M.R.; CHAER, G.M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores de qualidade dos solos. **Tópicos em Ciência do solo**, v. 2, p. 200-201, 2002.

TRASAR-CEPEDA, C.; LEIRÓS, M.C.; SEOANE S.; GIL-SOTRES, F. Biochemical properties of soils under crop rotation. **Applied Soil Ecology**, v. 39, n. 2, p. 133-143, Jun., 2008.

VAN BRUGGEN, A.H.C.; SEMENOV, A.M. In search of biological indicators for soil health and disease suppression. **Applied Soil Ecology**, v.15, p.13-24, Jan. 2000.

VAN SOEST, P.J., WINE, R.H. The determination of lignin and cellulose in acid-detergent fiber with permanganate. **Journal Assoc. Official Agriculture Chemistry**, v. 51, p. 780-785, 1968.

VANCE, E.D., BROOKES, P.C.; JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 19, p. 703-707, 1987.

VARGAS, L.K. O papel da microbiologia nos estudos de qualidade do solo. **Revista Científica Rural**, v. 8, p. 57-67, 2003.

WARDLE, D.A. A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. **Biology Review**. v. 67, p. 321-358, 1992.

WATANABE, F. S.; OLSEN, S. R. Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and NaHCO₃ extracts from soil. **Soil Science Society American Proceeding**, v. 29, p. 677-678, 1965.

WEDDERBURN, M.E.; CARTER, J. Litter decomposition by four functional tree types for use in silvopastoral systems. **Soil Biology Biochemistry**, v. 31, p. 455-461, 1999.

WILSON, H. M.; AL-KAISI, M. M. Crop rotation and nitrogen fertilization effect on soil CO₂ emissions in central Iowa. **Applied Soil Ecology**, v. 39, 264-270, 2008.

WRIGHT, A. L.; HONS, F. M.; LEMON, R. G.; McFARLAND, M. L.; NICHOLS, R. L. Microbial activity and soil C sequestration for reduced and conventional tillage cotton. **Applied. Soil Ecology**, v. 38, p. 168-173, 2008.

8. APÊNDICE

Tabela 12. Atividade da enzima desidrogenase do solo devido à adição de partículas com diferentes tamanhos.

<i>Partículas vegetais</i> ^(P)	Tempo de incubação (Dias)^(T)			
	Zero	30	60	120
	(µg TFF g ⁻¹ de solo seco 24h ⁻¹)			
Controle	85,94 aB	105,08 cA	87,58 bB	88,03 bAB
Soja 50 mm	102,23 aB	135,79 bA	113,88 aB	109,81 aB
Soja 1 mm	92,12 aC	135,3 bA	112,53 aB	102,36 abBC
Milho 50 mm	94,88 aC	139,37 bA	112,62 aB	111,11 aBC
Milho 1 mm	89,81 aC	158,47 aA	123,75 aB	100,55 abC
Partículas	21,27**			
Tempo	75,35**			
P vs T	3,39**			
CV	8,38			

Letras minúsculas iguais na coluna e letras maiúsculas iguais na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Níveis de significância (*) P < 0,05, (**) P < 0,01 e (ns) não significativo.

Tabela 13. Atividade respiratória microbiana do solo devido à adição de partículas com diferentes tamanhos.

<i>Partículas vegetais</i> ^(P)	Tempo de incubação (Dias)^(T)			
	30	60	90	120
	(µg C-CO ₂ 100 g ⁻¹ de solo seco)			
Controle	54,05 bA	58,96 bA	52,65 bA	49,35 bA
Soja 50 mm	243,91 aA	176,00 aB	122,61 aB	77,29 aC
Soja 1 mm	221,69 aA	157,30 aB	98,85 aC	64,09 abD
Milho 50 mm	243,03 aA	178,86 aB	108,09 aC	71,35 aD
Milho 1 mm	233,35 aA	189,20 aB	115,35 aC	67,39 abD
Partículas	138,45**			
Tempo	290,61**			
P vs T	18,07**			
CV	11,26			

Letras minúsculas iguais na coluna e letras maiúsculas iguais na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Níveis de significância (*) P < 0,05, (**) P < 0,01 e (ns) não significativo.

Tabela 14. Atividade respiratória microbiana do solo devido à adição de partículas com diferentes tamanhos.

Partículas vegetais ^(P)	Tempo de incubação (Dias)^(T)			
	2	4	6	8
	(µg C-CO ₂ 100 g ⁻¹ de solo seco)			
Controle	10,12 bA	10,12 cA	8,07 bA	6,45 cA
Soja 50 mm	58,30 aBC	67,98 bA	60,21 aB	53,97 aC
Soja 1 mm	62,92 aB	79,20 aA	55,37 aC	44,95 bD
Milho 50 mm	57,20 aBC	65,78 bA	61,31 aAB	53,75 aC
Milho 1 mm	57,20 aB	76,12 aA	61,09 aB	49,13 abC
Partículas	873,31**			
Tempo	114,71**			
P vs T	12,35**			
CV	6,25			

Letras minúsculas iguais na coluna e letras maiúsculas iguais na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Níveis de significância (*) P < 0,05, (**) P < 0,01 e (ns) não significativo. Equivalente a 28 t ha⁻¹ ano.

Tabela 15. Atividade respiratória microbiana do solo devido à adição de partículas com diferentes tamanhos.

Partículas vegetais ^(P)	Tempo de incubação (Dias)^(T)			
	2	4	6	8
	(µg C-CO ₂ 100 g ⁻¹ de solo seco)			
Controle	10,12 dA	10,12 cA	8,07 cA	6,45 cA
Soja 50 mm	82,94 bcB	104,28 abA	88,15 aB	79,71 aB
Soja 1 mm	95,48 aB	107,58 aA	72,75 bC	61,89 bD
Milho 50 mm	74,80 cB	96,25 bA	89,91 aA	75,53 aB
Milho 1 mm	89,32 abB	109,78 aA	76,71 bC	61,89 bD
Partículas	908,93**			
Tempo	134,14			
P vs T	18,46			
CV	6,5			

Letras minúsculas iguais na coluna e letras maiúsculas iguais na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Níveis de significância (*) P < 0,05, (**) P < 0,01 e (ns) não significativo. Equivalente a 58 t ha⁻¹ ano.

Tabela 16. Potencial amonificante do solo devido à adição de partículas com diferentes tamanhos.

Partículas vegetais^(P)	Tempo de incubação (Dias)^(T)			
	Zero	30	60	120
	(µg NH ₄ -N g ⁻¹ de solo seco)			
Controle	2,20 aA	2,24 aA	2,19 bA	2,19 dA
Soja 50 mm	2,19 aC	2,20 aC	4,41 aB	7,66 aA
Soja 1 mm	2,22 aC	2,24 aC	4,35 aB	5,49 bA
Milho 50 mm	2,23 aB	2,28 aB	2,05 bB	5,52 bA
Milho 1 mm	2,20 aB	2,20 aB	4,36 aA	4,43 cA
Partículas	31,31**			
Tempo	142,00**			
P vs T	18,17**			
CV	15,59			

Letras minúsculas iguais na coluna e letras maiúsculas iguais na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Níveis de significância (*) P < 0,05, (**) P < 0,01 e (ns) não significativo.

Tabela 17. Potencial nitrificante do solo devido à adição de partículas com diferentes tamanhos.

Partículas vegetais^(P)	Tempo de incubação (Dias)^(T)			
	Zero	30	60	120
	(µg NO ₃ -N g ⁻¹ de solo seco)			
Controle	8,83 bA	8,91 dA	8,77 dA	5,45 cA
Soja 50 mm	16,5 aC	18,19 abBC	22,02 abA	20,67 aAB
Soja 1 mm	15,45 aB	17,15 bcB	25,65 aA	16,45 aB
Milho 50 mm	11,64 bC	13,39 cC	21,18 bA	17,12 abB
Milho 1 mm	18,24 aAB	21,52 aA	13,64 cC	16,68 bC
Partículas	93,31**			
Tempo	16,64**			
P vs T	12,31**			
CV	12			

Letras minúsculas iguais na coluna e letras maiúsculas iguais na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Níveis de significância (*) P < 0,05, (**) P < 0,01 e (ns) não significativo.

Tabela 18. Atividade da enzima urease do solo devido à adição de partículas com diferentes tamanhos.

Partículas vegetais^(P)	Tempo de incubação (Dias)^(T)			
	Zero	30	60	120
(µg NH ₄ -N g ⁻¹ de solo seco 3h ⁻¹)				
Controle	39,91 aA	44,31 bA	44,22 bA	40,58 aA
Soja 50 mm	40,77 aB	61,68 aA	49,89 abB	43,44 aB
Soja 1 mm	39,8 aB	67,00 aA	48,22 bB	42,19 aB
Milho 50 mm	40,44 aC	57,85 aA	50,58 abAB	41,14 aBC
Milho 1 mm	46,09 aB	57,86 aA	59,54 aA	46,77 aB
Partículas	8,18**			
Tempo	40,97**			
P vs T	2,80**			
CV	10,97			

Letras minúsculas iguais na coluna e letras maiúsculas iguais na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Níveis de significância (*) P < 0,05, (**) P < 0,01 e (ns) não significativo.

Tabela 19. Atividade da enzima fosfatase do solo devido à adição de partículas com diferentes tamanhos.

Partículas vegetais^(P)	Tempo de incubação (Dias)^(T)			
	Zero	30	60	120
(µg pNF g ⁻¹ de solo seco h ⁻¹)				
Controle	505,03 bD	599,47 aC	817,72 abA	734,44 bB
Soja 50 mm	610,35 aB	616,02 aB	745,83 bA	794,01 aA
Soja 1 mm	555,47 abB	619,04 aB	809,81 abA	810,14 aA
Milho 50 mm	519,04 bC	634,32 aB	804,07 abA	758,12 abA
Milho 1 mm	481,73 bD	636,32 aC	845,40 aA	763,43 abB
Partículas	2,58*			
Tempo	226,37**			
P vs T	4,30**			
CV	5,5			

Letras minúsculas iguais na coluna e letras maiúsculas iguais na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Níveis de significância (*) P < 0,05, (**) P < 0,01 e (ns) não significativo.

Tabela 20. Matéria orgânica do solo devido à adição de partículas com diferentes tamanhos.

<i>Partículas vegetais</i> ^(P)	Tempo de incubação (Dias) ^(T)			
	Zero	30	60	120
	(mg C g ⁻¹ de solo seco)			
Controle	9,85 aA	10,36 aA	9,32 aA	9,79 aA
Soja 50 mm	10,34 aA	10,20 aA	10,06 aA	9,77 aA
Soja 1 mm	10,09 aA	9,92 aA	9,98 aA	9,84 aA
Milho 50 mm	9,94 aA	9,63 aA	9,62 aA	9,91 aA
Milho 1 mm	9,57 aA	9,78 aA	9,18 aA	9,61 aA
Partículas	6,24**			
Tempo	3,80*			
P vs T	1,35ns			
CV	3,44			

Letras minúsculas iguais na coluna e letras maiúsculas iguais na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Níveis de significância (*) P < 0,05, (**) P < 0,01 e (ns) não significativo.

Tabela 21. Carbono solúvel do solo devido à adição de partículas com diferentes tamanhos.

<i>Partículas vegetais</i> ^(P)	Tempo de incubação (Dias) ^(T)			
	Zero	30	60	120
	(mg C g ⁻¹ de solo seco)			
Controle	0,84 bA	0,56 abB	0,61 aB	0,66 aB
Soja 50 mm	1,25 aA	0,49 bB	0,59 aB	0,48 bB
Soja 1 mm	1,17 aA	0,57 abB	0,66 aB	0,53 abB
Milho 50 mm	1,1 aA	0,67 aB	0,67 aB	0,62 abB
Milho 1 mm	0,90 bA	0,52 abC	0,70 aB	0,60 abBC
Partículas	3,33*			
Tempo	139,05**			
P vs T	6,48**			
CV	12,32			

Letras minúsculas iguais na coluna e letras maiúsculas iguais na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Níveis de significância (*) P < 0,05, (**) P < 0,01 e (ns) não significativo.

Tabela 22. Fósforo orgânico do solo devido à adição de partículas com diferentes tamanhos.

<i>Partículas vegetais</i> ^(P)	Tempo de incubação (Dias)^(T)			
	Zero	30	60	120
	(µg P g ⁻¹ de solo seco)			
Controle	45,81 aA	34,69 bAB	19,35 cD	28,21 bC
Soja 50 mm	44,45 aA	40,33 aAB	24,46 bC	36,97 aB
Soja 1 mm	47,53 aA	43,49 aA	27,84 abC	38,01 aB
Milho 50 mm	47,4 aA	42,8 aAB	28,39 abC	39,08 aB
Milho 1 mm	44,27 aA	42,93 aAB	31,88 aC	39,21 aB
Partículas	25,79**			
Tempo	212,48**			
P vs T	3,62**			
CV	6,81			

Letras minúsculas iguais na coluna e letras maiúsculas iguais na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Níveis de significância (*) P < 0,05, (**) P < 0,01 e (ns) não significativo.

Tabela 23. pH do solo devido à adição de partículas com diferentes tamanhos.

<i>Partículas vegetais</i> ^(P)	Tempo de incubação (Dias)^(T)			
	Zero	30	60	120
	%			
Controle	5,39 aB	5,47 bAB	5,59 aA	5,46 abAB
Soja 50 mm	5,43 aBC	5,72 aA	5,54 aB	5,34 bC
Soja 1 mm	5,40 aB	5,64 abA	5,72 aA	5,55 aAB
Milho 50 mm	5,36 aB	5,51 bAB	5,65 aA	5,58 aA
Milho 1 mm	5,37 aC	5,60 abAB	5,68 aA	5,45 abBC
Partículas	2,52ns			
Tempo	30,07**			
P vs T	3,17**			
CV	1,64			

Letras minúsculas iguais na coluna e letras maiúsculas iguais na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Níveis de significância (*) P < 0,05, (**) P < 0,01 e (ns) não significativo.