

YANÉ DE CARVALHO

**DENSIDADE E ATIVIDADE DOS MICRORGANISMOS  
DO SOLO EM PLANTIO DIRETO E CONVENCIONAL,  
NA REGIÃO DE CARAMBEÍ – PR.**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Agronomia. Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração "Ciência do Solo", Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Honório R. Santos.

CURITIBA

1997

À Chula Maria,

Zâmis Tila

e à todos aqueles que

enchem de luz este planeta.

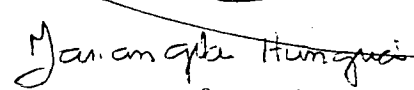
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO CIÊNCIA DO SOLO  
"MESTRADO"

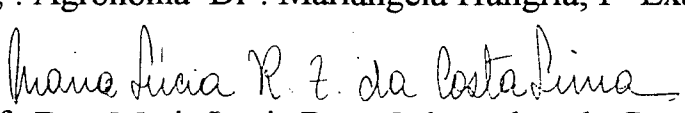
PARECER

Os Membros da Comissão Examinadora, designados pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pela candidata **YANE DE CARVALHO**, com o título: "**Densidade e atividade dos microorganismos do solo em plantio direto e convencional, na região de Carambeí-PR**", para obtenção do grau de Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo" do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haver analisado o referido trabalho e arguido a candidata, são de Parecer pela "**APROVAÇÃO**" da Dissertação com média 9,5, conceito "**A**" completando assim, os requisitos necessários para receber o diploma de **Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo"**.

Secretaria do Curso de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", em Curitiba 14 de março de 1997.

  
Prof. Dr. Honório Roberto dos Santos, Presidente.

  
Eng.ª Agrônoma Dr.ª Mariangela Hungria, Iª Examinadora.

  
Profa. Dra. Maria Lucia Rosa Zaksevskas da Costa Lima, IIª Examinadora



## SUMÁRIO

	página
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	iii
<b>LISTA DE TABELAS</b>	iv
<b>RESUMO</b>	v
<b>SUMMARY</b>	iv
<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>4</b>
2.1 Caracterização do solo sob plantio direto e convencional	4
2.1.1 Propriedades físicas	4
2.1.2 Propriedades químicas	7
2.2 Influência do manejo do solo sobre a população microbiana	12
2.2.1 População geral: fungos, bactérias e actinomicetos	12
2.2.2 Microrganismos solubilizadores de fosfato	18
2.2.3 Bactérias nitrificantes	23
2.3 Influência do manejo do solo sobre a biomassa microbiana	27
2.4 Influência do manejo do solo sobre a os teores de nitrato e amônio	33
2.5 Flutuação sazonal dos parâmetros medidos	37
2.5.1 População e biomassa microbiana	37
2.5.2 Teores de nitrato e amônio	43
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>45</b>
3.1 Localização e caracterização da área experimental	45
3.2 Amostragens	46
3.3 Estimativa da população microbiana	49
3.3.1 Método da contagem em placas de Petri	49
3.3.2 Contagem de bactérias nitrificantes	50
3.4 Avaliação da biomassa microbiana	50
3.5 Avaliação da amonificação e nitrificação	52
3.6 Umidade atual	53
3.7 Análises físicas e químicas do solo	53
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>56</b>
4.1 Características físicas e químicas do solo	56
4.2 Influência do manejo do solo sobre a população microbiana	59

4.2	Influência do manejo do solo sobre a população microbiana	59
4.2.1.	Fungos, bactérias e actinomicetos	59
4.2.2.	Microrganismos solubilizadores de fosfato e nitrificantes	63
4.3.	Influência do manejo do solo sobre a biomassa microbiana	66
4.4.	Influência do manejo do solo sobre a atividade microbiana	69
4.5.	Flutuação sazonal dos parâmetros medidos	72
4.5.1.	Umidade do solo	72
4.5.2.	Densidade de fungos, bactérias e actinomicetos	72
4.5.3.	Densidade de microrganismos solubilizadores e nitrificantes	78
4.5.4.	Biomassa microbiana do solo	83
4.5.5.	Teores de amônio e nitrato	86
5.	<b>CONCLUSÕES</b>	90
6.	<b>ANEXO</b>	91
7.	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	88

**LISTA DE FIGURAS**

FIGURA 1. Esquema de Campo	48
FIGURA 2. Temperaturas mínimas e máximas do solo	54
FIGURA 3. Pluviosidade semanal	54
FIGURA 4. População de fungos	59
FIGURA 5. População de bactérias	61
FIGURA 6. População de actinomicetos	62
FIGURA 7. População de microrganismos solubilizadores de fosfato	63
FIGURA 8. População de bactérias <i>Nitrosomonas</i>	65
FIGURA 9. População de bactérias <i>Nitrobacter</i>	65
FIGURA 10. Biomassa microbiana do solo	67
FIGURA 11. Teores de amônio	69
FIGURA 12. Teores de nitrato	71
FIGURA 13. Flutuação sazonal dos teores de umidade do solo.	73
FIGURA 14. Flutuação sazonal da população fúngica	74
FIGURA 15. Flutuação sazonal da população bacteriana	76
FIGURA 16. Flutuação sazonal da população de actinomicetos	77
FIGURA 17. Flutuação sazonal da população de microrganismos solubilizadores	79
FIGURA 18. Flutuação sazonal da população de <i>Nitrosomonas</i>	81
FIGURA 19. Flutuação sazonal da população de <i>Nitrobacter</i>	82
FIGURA 20. Flutuação sazonal da biomassa microbiana	84
FIGURA 21. Flutuação sazonal dos teores de amônio	87
FIGURA 22. Flutuação sazonal dos teores de nitrato	88

**LISTA DE TABELAS**

<b>TABELA 1. Sistema de rotação da Gleba 5A</b>	<b>46</b>
<b>TABELA 2. Calendário das amostragens e fases das culturas</b>	<b>47</b>
<b>TABELA 3. Características físicas e químicas do solo</b>	<b>56</b>
<b>TABELA 4. Teores de Umidade do solo (%)</b>	<b>58</b>

## RESUMO

O manejo do solo agrícola modifica as características físicas, químicas e biológicas do ecossistema edáfico. Dentre as práticas de cultivo executadas, a mobilização do solo e restos culturais para o plantio constitui um parâmetro de grande efeito sobre os microrganismos do solo. A incorporação dos restos vegetais através da aração no plantio convencional e a deposição dos mesmos na superfície do solo, sob plantio direto definirão a população de microrganismos, assim como a distribuição e ciclagem de nutrientes. Com o objetivo de avaliar as diferenças provocadas pelo tipo de preparo do solo na densidade e atividade da microbiota edáfica a diversas profundidades (0,0 -2,5/ 2,5 - 5,0/ 5,0 -10,0/ 10,0 -20,0/ 20,0 -30,0 cm), foram monitorados durante o período de um ano, parcelas de solo sob sistema de plantio direto e convencional, durante as culturas de aveia preta (*Avena strigosa*) e soja (*Glycine max*), na região de Carambeí- PR, sul do Brasil. A população de fungos, bactérias, actinomicetos, microrganismos solubilizadores de fosfato e bactérias nitrificantes refletiu a mobilização do solo; sob plantio direto concentrou-se nos 5,0 cm superficiais do solo, em densidades superiores as observadas para a superfície do plantio convencional, nas demais profundidades a situação inverteu-se, com o plantio convencional apresentando, maiores densidades, distribuídas homoganeamente na camada arada. A biomassa microbiana do solo sob plantio direto foi superior a encontrada sob plantio convencional, com exceção da profundidade 20,0 -30,0 cm. Os teores de nitrato e amônio concentraram-se na superfície do solo sob plantio direto, sendo superiores aos encontrados sob plantio convencional para todas as profundidades exceto na camada 10,0 -20,0 cm.

## SUMMARY

Soil management in agricultural crop systems markedly influence soil physical, chemical and biological properties. Incorporation of crop residues in conventional tilled soils and the presence of cultural residues on soil surface under no-till management, determine microbial population, as also nutrient recycling and distribution in the profile. Conventionally tilled and no-till experimental field areas with black oat (*Avena strigosa*) and soybean (*Glycine max*) crop rotation were studied during one year at the Carambei region (PR), Southern Brazil. Soil was sampled at five different depths (0-2.5, 5.0, 10.0, 20.0 and 30.0 cm) to evaluate microbial population and activity in both management systems. The no-tilled soil showed higher populations of fungi, bacteria, actinomycetes, phosphate solubilizers and nitrifying bacteria, that were highly concentrated near soil surface (0-5.0 cm depth) when compared to the conventional till system. The soil microbial biomass was higher when compared to the conventional till system, except at the 20.0 to 30.0 cm soil depth. Soil nitrate (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) and ammonium (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) levels were also higher in the no-tilled soil when compared to the conventional till system and highly concentrated near soil surface (0-5.0 cm depth).

## 1 - INTRODUÇÃO

Como meio de crescimento microbiano, o solo é heterogêneo, descontínuo e estruturado, com grande variabilidade no tamanho das partículas, compondo um ambiente de inúmeros microhabitats que possuem condições químicas e físicas particulares para a colonização dos microrganismos .

Os sistemas de cultivo do solo modificam as características físicas, químicas e biológica do ecossistema edáfico, sendo que a amplitude destas mudanças corresponderá diretamente ao nível de perturbação do ambiente, combinado com o tipo de solo e fatores climáticos.

Um acesso favorável à influência do cultivo sobre as propriedades do solo pode ser obtido quando se compara dois tipos de cultivo com marcantes diferenças no grau de mobilização do solo, como plantio convencional e plantio direto.

No plantio convencional são utilizadas as operações de cultivo primário como aração (arado de disco, aiveca ou escarificador ) a 20 cm de profundidade, seguida pelo cultivo secundário com grade de disco pesada. A aração e gradagem podem ainda ser feitas em uma única operação, com uma grade de disco. O maquinário e procedimento variam de acordo com a região e país.

A aração causa ruptura física da superfície do solo, aumentando temporariamente o nível de oxigenação, ao mesmo tempo, resíduos e adubo presentes na superfície são incorporados ao perfil, promovendo condições ideais para aumento da atividade microbiana. Este efeito entretanto, é de curta duração, pois a decomposição do substrato orgânico e as flutuações térmicas e hídricas podem limitar o crescimento e atividade dos microrganismos (SMITH et al., 1992).

O plantio direto é o processo de semeadura em solo não revolvido e sob resíduos da cultura anterior, no qual a semente é colocada em sulcos ou covas com largura e profundidade suficientes para se obter adequada cobertura e contato da semente com o solo, através de maquinário especial. O controle das plantas daninhas é feito através de métodos químicos, combinados ou não com práticas mecânicas e culturais específicas. Geralmente, menos de 10 % da superfície do solo é mobilizada no plantio direto (UNGER, 1984).

Historicamente, o cultivo reduzido significa diminuição da perda de solo por erosão e conservação da água do solo para a produção de grãos. Os estímulos para o cultivo reduzido são: o renovado interesse no combate à erosão e a necessidade de redução no emprego de combustíveis de petróleo e mão-de-obra para a produção agrícola (DORAN, 1980b).

A quantidade de restos culturais nos sistemas de plantio direto e convencional é a mesma, diferindo apenas na sua localização, o que influenciará incisivamente a taxa de decomposição, imobilização e lixiviação dos nutrientes.

No plantio direto, a palhada deixada na superfície do solo, forma uma camada de resíduos vegetais em diversos estágios de decomposição, chamada cobertura morta. A presença desta cobertura promove um ambiente semelhante ao dos ecossistemas florestais, onde há lenta decomposição de resíduos, e máxima conservação dos nutrientes.

O solo sob plantio direto possui características distintas, quando comparado ao solo sob plantio convencional. Dentre as propriedades físicas diversos trabalhos indicam que o solo sob palhada é mais frio e úmido, possui agregados mais estáveis e maior taxa de infiltração. Analisado quimicamente, há uma concentração de nutrientes próxima a superfície do solo sob plantio direto, enquanto sob plantio convencional há uma distribuição homogênea de nutrientes na camada arada (BLEVINS et al., 1977; DICK, 1983 e MUZZILI, 1985).

Embora a queima e a remoção dos resíduos possam ser igualmente ou até mais danosa, o cultivo é a maior causa da perda da matéria orgânica nos solos agrícolas. Após a aração há aumento da oxidação, que juntamente com erosão superficial do solo diminui o teor de matéria orgânica (SMITH et al., 1992). Quando comparado ao plantio convencional, o plantio direto favorece o acúmulo de matéria orgânica e biomassa microbiana no solo.

O ecossistema particular formado pela presença dos restos vegetais na superfície do solo influenciará a comunidade microbiana, que se concentrará nos 5 cm superficiais do solo sob plantio direto, enquanto no plantio convencional, a superfície do solo com menor teor de umidade torna-se menos favorável para os microrganismos.

A microflora edáfica tem papel fundamental tanto no fluxo de energia do solo quanto na dinâmica dos nutrientes. Segundo diversos pesquisadores (BLEVINS et al., 1977; DICK, 1983; COLLINS et al., 1992) a decomposição da matéria orgânica sob o plantio direto é mais lenta e, quando combinada com uma alta taxa de imobilização, leva a gradual disponibilidade dos nutrientes. Sob cultivo convencional, a rápida ciclagem dos resíduos incorporados pode aumentar a perda de nutrientes por lixiviação.

Outros fatores que afetam a densidade e atividade dos microrganismos do solo são a profundidade e os fatores climáticos. Em condições naturais a população microbiana se concentra nas camadas superficiais do solo, reduzindo-se drasticamente a partir dos 30 cm, devido à redução nas trocas gasosas e disponibilidade de

nutrientes. A flutuação estacional devido às diferenças de umidade e temperatura terá efeito mais pronunciado nas camadas superficiais do solo, sendo particular a cada grupo de microrganismos.

O sistema de plantio direto é originário do início da década de 60, quando os agricultores do centro oeste dos EUA, preocupados com a crescente erosão do solo nas terras agricultáveis, aderiram a um programa de conservação dos solos. Utilizaram então herbicidas dessecantes, descobertos na Inglaterra para cultivar milho na palha, e o sistema, eficaz no controle da erosão, foi amplamente adotado (DERPSCH et al., 1991).

No Brasil, o plantio direto iniciou-se no Paraná, no fim da década de 60, primeiramente como objeto de pesquisa em Londrina-PR, sendo depois adotado extensivamente pelos agricultores da região dos Campos Gerais, principalmente nos municípios de Ponta Grossa e Castro. Atualmente é utilizado nos estados do Paraná, Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Goiás e Mato Grosso do Sul, (MUZZILI, 1985). O Brasil está entre os países que mais evoluíram no aumento da área cultivada em sistema de plantio direto, passando de 1000 a 400.000 ha em apenas 10 anos (DERPSCH et al., 1991).

As pesquisas sobre esse sistema no Brasil começaram na década de 80, analisando principalmente o aspecto químico-físico do solo. A microbiologia dos solos sob plantio direto é uma área extremamente nova na ciência dos solos no Brasil, existindo um número bastante reduzido de trabalhos sobre o assunto (HUNGRIA et al., 1994). Este é o primeiro monitoramento anual da ecologia microbiana em camada de solo estratificada sob plantio direto e convencional na região dos Campos Gerais-PR.

Com o objetivo de avaliar as diferenças na densidade e atividade da microbiota edáfica a diversas profundidades do solo sob sistema de plantio direto e convencional, foram monitoradas durante o período de um ano, parcelas de um experimento envolvendo estes sistemas de cultivo, das culturas de aveia preta (*Avena strigosa*) e soja (*Glycine max*).

## 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 - Caracterização do solo sob Plantio Direto e Plantio Convencional

#### 2.1.1-Propriedades Físicas

O preparo do solo envolve itens como: intensidade de revolvimento, tipo de equipamento utilizado, condições do solo no momento do preparo e manejo de resíduos vegetais. Define-se como sistema de plantio convencional o preparo do solo com aração à profundidade de 20 cm, com movimentação total desta camada, seguido do disco ou grade a profundidade de 8 cm, que nivela o solo para a semeadura.

No plantio direto, utiliza-se maquinário especialmente desenvolvido para cortar o solo e os restos da cultura anterior, que permanecem na superfície, assim o preparo do solo, semeadura e adubação, ocorrem em uma só operação, e o revolvimento do solo se reduz a abertura do sulco de semeadura.

As propriedades físicas do solo são definidas por fatores como: material de origem, processos pedogenéticos, posição na paisagem, tipo de vegetação natural e podem ser modificadas pelo uso e manejo. Dentro do manejo, o preparo do solo está entre as atividades que atuando diretamente na estrutura deste, mais influem no seu comportamento (VIEIRA, 1985).

Muitos processos que ocorrem no solo são controlados por propriedades edáficas influenciadas por resíduos vegetais, tais como: o movimento da água, dentro e através do solo, aeração, condução de calor e erosão (KLADVICO, 1984).

SIDIRAS e PAVAN (1986) analisando o solo sob plantio direto e convencional em cultura de soja no norte do Paraná, verificaram que, durante todo o período vegetativo da cultura, as temperaturas do solo sob plantio direto foram inferiores às encontradas sob plantio convencional. No mesmo experimento, foram verificadas ao longo de sete anos, menores temperaturas e menos oscilações de temperatura ao longo do dia, para o plantio direto.

A temperatura e a umidade do solo são influenciados por vários fatores, como radiação solar incidente, precipitação, infiltração e cobertura do solo. Os fluxos de calor no solo dependem da sua condutibilidade térmica, da densidade aparente e do calor específico, que são produtos da composição, estrutura e umidade do solo (MOTTA, 1983). A cobertura do solo influi na quantidade de calor absorvido, emitido, e na evaporação do solo.

A faixa diurna da temperatura sob solo arado possui maior amplitude do que no solo não cultivado, e o ar a 2 cm acima da superfície é freqüentemente 5 à 10 °C mais quente que sob solo não cultivado. Nos dias mais quentes, abaixo da camada arável, o solos sob plantio direto tem menor flutuação de temperatura, e no inverno esta menor temperatura pode resultar em maiores danos por geadas (MOTTA, 1983).

UNGER (1978) observou que, quanto maior a quantidade de palha sobre o solo maior a diferença entre a temperatura do ar e do solo.

A infiltração de água no solo depende de diversas variáveis, como por exemplo: porosidade, condutividade hidráulica e estabilidade dos agregados. A presença da cobertura morta e a maior densidade global da camada superficial estão entre as variáveis que influem determinadamente na infiltração e diferem o plantio direto do plantio convencional.

O cultivo produz um afrouxamento da superfície do solo criando uma camada revolvida com resíduos, de superfície maior que no solo não revolvido, o que reduz o fluxo de calor entre a superfície e as camadas mais profundas do solo. Esta camada não possui nenhuma conexão capilar com as camadas mais profundas e mais úmidas, conseqüentemente, o solo cultivado resseca mais rapidamente na superfície devido à evaporação, porém conserva a umidade no subsolo.

KARLEN et al. (1994b) constataram que em solo sob 12 anos de plantio convencional e plantio direto, o conteúdo de água e microporos capilares nos 50 cm superiores sob plantio direto foram significativamente maiores que sob plantio convencional e a condutividade hidráulica, apesar de maior no plantio direto, não diferiu estatisticamente, mas sugeriu que sob plantio direto deve haver mais canais, fendas e macroporos .

FRANZLUEBBERS et al. (1994) pesquisaram durante dois anos um solo com parcelas submetidas a plantio direto e plantio convencional por nove anos e verificaram que o conteúdo de água para os 5,0 cm superficiais do solo foi superior no plantio direto, em contraste para a camada 5,0 - 12,5 cm, o teor de água no plantio convencional foi maior ou igual ao plantio direto. A aração induziu redução da densidade aparente do solo especialmente na profundidade 5,0 -12,5 cm.

DOUGLAS et al. (1980) e ROTH e MEYER (1983) avaliando a infiltração de água em diferentes sistemas de preparo observaram maiores taxas de infiltração no plantio direto que no plantio convencional; VIERA e MUZILLI (1984), no entanto, em condições semelhantes, verificaram o inverso.

Segundo MANNERING e MEYER (1963), a proteção oferecida pelos resíduos vegetais provoca menores perdas por erosão por diminuir o impacto das gotas de

chuva e contribuir para a manutenção da porosidade, promovendo aumento nos índices de infiltração de água no solo.

Solos com resíduos tem densidade total menor que solos onde os resíduos são removidos; os resíduos têm baixa densidade e sua incorporação diminui a densidade do solo. Quando os resíduos ficam sobre o solo, a densidade total decresce com a lenta incorporação da matéria orgânica no perfil do solo durante a decomposição.

Inicialmente, a densidade total no plantio convencional é menor que no plantio direto e a curto prazo, pequenas quantidades de resíduo não causam diferenças entre os dois sistemas (KLADVICO, 1984).

Vários pesquisadores verificaram que em geral, a densidade aparente do solo na camada arada, é maior sob plantio direto e abaixo desta, os maiores valores são encontrados sob plantio convencional (VIEIRA e MUZZILI, 1984; DERPSCH et al., 1991; CHANG e LINDWALL, 1992; FRANSLUEBBERS et al., 1994).

Várias pesquisas mostram a tendência do solo sob plantio direto apresentar maiores valores de densidade global e microporosidade. Como consequência, há diminuição nos volumes de poros totais e macroporos até 15 cm de profundidade, abaixo desta, os valores são semelhantes aos do solo sob plantio convencional (VIEIRA e MUZZILI, 1984; FRANSLUEBBERS et al., 1994).

Pesquisadores tem encontrado macroporos maiores sob sistema de plantio direto que sob plantio convencional; em muitos casos isto é atribuído à maior atividade de minhocas e insetos e a conservação destes bioporos, que não são destruídos pelo cultivo (KLADVICO, 1984).

HILL et al. (1985) mediram o tamanho dos poros nos dois tipos de plantio e encontraram baixo volume de poros > 30 $\mu$ m diâmetro e aumento nos poros de 300  $\mu$ m no plantio direto, quando comparados ao plantio convencional.

A estabilidade dos agregados está relacionada com índices de infiltração de água e selamento superficial. Em áreas sob plantio direto tem se verificado uma maior estabilidade dos agregados até a profundidade de 15 cm e a preponderância de classes de agregados com maior diâmetro enquanto no plantio convencional as maiores frequências são observadas nas classes de menor diâmetro (SIDDOWAY, 1963; SIDIRAS et al., 1983; VIEIRA e MUZZILI, 1984; KARLEN et al., 1994b).

O impacto das gotas de chuva sobre solo arado pode causar desagregação da camada superficial e obstrução dos poros, formando uma camada de baixa permeabilidade, ao mesmo tempo a alta densidade global e o baixo volume de

macroporos no plantio direto reduzem a infiltração por inundação (VIEIRA e MUZZILI, 1984).

Os resíduos de colheita ajudam a reduzir as crostas e a camada impermeável do solo de duas maneiras: protegendo a superfície do impacto da chuva minimizando o selamento e mantendo a estabilidade dos agregados. UNGER (1984) verificou que no plantio direto as crostas causadas pelas chuvas, oito dias após a mesma, eram menores que sob plantio convencional.

AUERSWALD et al. (1994) submeteram solos com sete anos de plantio convencional e plantio direto à sequência de chuvas artificiais para avaliar perdas de solo e retenção de umidade e constataram que a parcela sob plantio direto perdeu 30% menos solo que a parcela sob convencional, em parte, por conservar mais umidade no início das chuvas. A superfície do plantio convencional foi mais afetada durante os primeiros estágios da chuva, quando os agregados se soltaram por rápido umedecimento e as gotas de chuva atingiram a superfície do solo que não estava protegida por uma suficiente camada de água.

A maior estabilidade dos agregados sob plantio direto deve-se a: (a) agregação favorecida pela matéria orgânica na camada 0,0 -2,0 cm, (b) maior concentração de cátions como  $\text{Ca}^{++}$  e  $\text{Mg}^{++}$  próximo à superfície, afetando positivamente a estrutura do solo, (c) proteção da palhada contra o impacto das gotas de chuva, (d) maior resistência dos agregados, devido ao aumento da densidade global e (e) permanência dos agregados que não foram destruídos pela aração (VIEIRA, 1985).

### 2.1.2 -Propriedades Químicas

As mudanças provocadas pelo preparo do solo na atividade biológica se refletirão na fertilidade do solo e vice-versa. A população microbiana é responsável pela mineralização da matéria orgânica, solubilização e liberação dos nutrientes, e a distribuição destes no perfil do solo é determinada pela infiltração da água, que por sua vez é governada pelos processos físicos aplicados no solo (MUZZILI, 1985).

A localização dos adubos e corretivos é alterada pelo preparo do solo e influenciará sua disponibilidade e aproveitamento pelos microrganismos e plantas. No preparo convencional há mistura do solo, resíduos, fertilizantes e corretivos dentro da camada arada, criando um solo relativamente homogêneo, enquanto no plantio direto este contato se restringe à camada superficial.

O contraste das propriedades químicas e físicas do solo entre o plantio direto e plantio convencional altera os padrões de crescimento das raízes, que no plantio direto aumentam sua densidade próximo à superfície, diminuindo abaixo dos 15 cm de profundidade (VIEIRA, 1985).

O manejo dos resíduos influencia a distribuição e disponibilidade dos nutrientes através da sua imobilização na biomassa microbiana e em formas orgânicas, o que pode aumentar a sua disponibilidade por reduzir a fixação em formas inorgânicas indisponíveis.

DICK (1983) analisando o acúmulo de carbono orgânico em solos com 18 anos de plantio direto, convencional e mínimo, constatou que sob plantio direto, os teores de carbono orgânico na camada 0 -1,25 cm foram duas a três vezes superiores, decrescendo rapidamente com o aumento da profundidade. Quando a camada amostrada foi 0 -7,5 cm, os teores foram em média duas vezes superiores no plantio direto, comparado aos outros tipos de preparo. Os teores do nitrogênio orgânico seguiram a tendência do carbono, concentrando-se na camada superficial do plantio direto.

No sistema de plantio convencional, os teores de matéria orgânica e carbono encontram-se diluídos na camada arada, ao mesmo tempo os menores teores encontrados próximos à superfície resultam da perda da matéria orgânica através da erosão hídrica e eólica.

A estratificação da fertilidade no plantio direto em relação ao preparo convencional, é constatada somente quando a amostragem é efetuada no perfil em camadas de pequena espessura, do contrário, há a mistura do solo, mascarando as diferenças.

Práticas de cultivo reduzido onde uma grande porção de resíduos de colheita é deixada na superfície do solo, tendo sua decomposição reduzida, resultam em estratificação do teor de matéria orgânica e nutrientes, que se concentram próximo à superfície. BLEVINS et al. (1977); DICK (1983) e MUZZILI (1985) citam que após alguns anos de plantio direto, o teor de matéria orgânica do solo se concentrou nos primeiros 5 cm de profundidade.

Várias pesquisas sobre os teores de carbono no plantio direto e convencional evidenciaram maiores teores de carbono na superfície do solo sob plantio direto, havendo porém um rápido declínio em profundidade, enquanto no plantio convencional ocorre distribuição homogênea na camada arada (0- 20 cm) (BLEVINS et al., 1977; MUZZILI, 1983; LANGDALE et al., 1984 e KARLEN et al., 1994a).

A ciclagem, metabolismo e disponibilidade de nitrogênio para as plantas é muito influenciada pelo grau e tipo de cultivo. Indicações de deficiência de nitrogênio e/ou limitações à campo em plantas, foram muito pesquisadas para concluir que altos níveis de fertilizantes nitrogenados são necessários no plantio direto ( DORAN, 1980b).

KARLEN et al. (1994b), amostrando solos sob 12 anos de plantio direto e convencional constataram nas camadas 0 - 2,5 cm e 2,5 -7,5 cm teores de nitrogênio no plantio direto duas vezes maiores que sob plantio convencional; já na profundidade 7,5 à 15 cm o plantio convencional deteve os maiores teores de nitrogênio. Segundo KARLEN et al. (1994b); BLEVINS et al. (1977) e GRANT e LAFOND (1994), o nitrogênio concentrou-se na biomassa, tornado-se conseqüentemente indisponível para a mineralização e possível lixiviação.

THOMAS et al. (1981)<sup>1</sup>, citado por MUZZILI (1983), menciona que o plantio direto favorece a lixiviação do nitrato, pois a capilaridade íntegra do solo não revolvido aumenta o movimento descendente de água.

BLEVINS et al. (1977); THOMAS et al. (1981) citado por MUZZILI (1983) e DICK (1983) observaram o acúmulo dos teores de fósforo e potássio na camada superficial (0,0 - 5,0 cm) de solos sob plantio direto, quando comparados ao plantio convencional onde os teores foram diluídos na camada arada. DICK (1983), constatou teores de fósforo orgânico na camada 2,5-15 cm maiores que os observados na superfície 0,0-2,5 cm, este comportamento, segundo o autor, deve-se ao movimento deste elemento da superfície para o perfil do solo.

TIESSEM et al. (1982) encontraram teores de  $PO_4^-$  extraível na camada 0,0 - 5,0 cm sob plantio direto superiores ao plantio convencional e abaixo de 5,0 cm de profundidade, o teor de fósforo foi semelhante para os dois sistemas. WEIL et al. (1988) postularam que as diferenças observadas na distribuição de formas inorgânicas do fósforo entre plantio convencional e plantio direto em tres solos de Maryland nos EUA foram devido ao aumento dos níveis de matéria orgânica na superfície dos solos sob plantio direto.

Altos teores de matéria orgânica podem aumentar a disponibilidade de fósforo, por proteger este elemento da adsorção pelos colóides do solo. Além disso a aplicação na superfície e redução na homogeneização de adubos fosfatados e solo no plantio direto pode reduzir a fixação do fósforo, permitindo assim sua acumulação sob este sistema de manejo do solo (WEIL et al., 1988).

---

<sup>1</sup>THOMAS, G.H.; WELLS, K.L.; MURDOCK, L. Fertilization and liming. In: PHILIPS, R.E.; THOMAS, C.W.; BLEVINS, L. No-tillage research: Research Reports and Reviews. Univ. Kentucky, College of Agriculture and Agric. Exp. Sta., Lexington. 1981 p. 43-54.

GRANT e LAFOND (1994) estudando os efeitos da rotação de culturas e sistemas de cultivo (plantio direto, convencional e mínimo) sobre as propriedades químicas do solo, concluíram que a distribuição dos teores de fósforo e potássio no perfil do solo, não foram afetados pelo cultivo e rotação.

Após cinco anos de rotação trigo-soja sob plantio direto e convencional na Georgia-USA, DICK (1983), constatou que o teor de nutrientes foi maior próximo à superfície e diminuiu com a profundidade nos solos sob plantio direto, enquanto que nos solos sob plantio convencional, a distribuição foi mais homogênea. Os teores de cálcio, fósforo, magnésio, manganês e zinco foram maiores próximo a superfície do solo sob plantio direto e os níveis de potássio foram menores, quando comparados ao plantio convencional.

Maior acúmulo dos nutrientes fósforo, potássio, cálcio, magnésio e zinco também foram observados por DICK (1983), após tres anos de rotação milho-arroz na camada 0,0 -7,5 cm; a acumulação de nutrientes na superfície do plantio direto foi associada com aplicação superficial de fertilizantes e resíduos de colheita sem incorporação. A estratificação de nutrientes sob plantio direto não foi um obstáculo para o crescimento dos cereais, já que a atividade das raízes na extração dos nutrientes e a média da produtividade de milho durante os três anos de estudo foram maiores sob plantio direto.

Mudanças no pH do solo associadas à adoção do plantio direto foram relacionadas geralmente com a adubação, calagem e mobilização do solo. Os resíduos tem efeito direto muito pequeno sobre o pH; geralmente a aplicação do nitrato de amônio sem incorporação, aumenta a acidez na superfície do solo sob plantio direto, enquanto o pH das camadas inferiores sofre pequenas mudanças quando comparado ao plantio convencional (TRIPLET e VAN DOREN, 1969; SHEAR e MOSCHLER, 1973; BLEVINS et al., 1977; 1983; DICK, 1983).

Pesquisas indicam que sob sistema de plantio direto a acidificação do solo é menor porque a mineralização mais lenta associada ao maior teor de umidade aumenta a diluição dos ácidos, impedindo seu acúmulo (MUZZILI, 1983).

Em contraste SHEAR e MOSCHLER (1973), ao comparar os sistemas de plantio direto e convencional, encontraram teores de pH superiores sob solos arados, devido à melhor homogeneização da mistura solo-calcário.

JUO e LAL (1979) relataram que solos com 6 anos de plantio direto na Nigéria mantiveram altos níveis de Ca trocável, quando comparados aos solos sob plantio convencional, o que foi atribuído ao aumento da capacidade de troca associada com aumento nos níveis de matéria orgânica no plantio direto.

BLEVINS et al. (1983) encontraram, após 10 anos de calagem, valores de pH do solos na camada 0,0 - 5,0 cm, similares para plantio direto e convencional mas, em solos que não receberam calagem os valores do pH no plantio direto foram 0,5 ou mais unidades abaixo. A adubação nitrogenada e o preparo do solo influenciaram o pH nas camadas 5,0 -15,0 e 15,0 - 30,0 cm, mas as diferenças entre os sistemas de preparo foram pequenas. Os pesquisadores concluíram que a aplicação de calagem na superfície do solo sob plantio direto, foi suficiente para superar a acidez do solo resultante da adubação nitrogenada.

Teores de alumínio e manganês podem se tornar um problema em solos com baixo pH. BLEVINS et al. (1983) verificaram que, em solos sob plantio direto não corrigidos os teores de alumínio trocável aumentaram nas camadas 0 -5 cm e 5 -15 cm devido à aplicação de fertilizantes nitrogenados em quantidades superiores à 84 kg/ha, mas permaneceram relativamente baixos no plantio convencional. Os mesmos autores, amostrando sob plantio direto e convencional, durante dez anos, encontraram sob plantio direto, teores de alumínio duas vezes superiores aos constatados sob plantio convencional.

Embora a concentração de nutrientes e distribuição de raízes ocorra na superfície dos solos sob plantio direto, as pesquisas demonstraram que a utilização de nutrientes pelas plantas e produtividade das lavouras pode ser igual ou maior do que a observada em sistemas convencionais.

## 2.2 - Influência do Manejo do Solo sobre a População Microbiana

### 2.2.1- População em Geral: Actinomicetos, Bactérias e Fungos.

Os principais fatores que afetam a densidade e atividade dos microrganismos edáficos são as condições físico-químicas do solo e seu uso e manejo, associados com as variações climáticas. Desses fatores, o manejo do solo será determinante do comportamento físico e químico do solo, influenciando a ação do clima sobre o mesmo, controlando sua temperatura e umidade; sendo assim, o manejo do solo tem uma ação direta sobre a microbiota.

Segundo SAUERBECK<sup>2</sup> (1985), citado por DOMSCH (1985), a interferência humana atinge as propriedades naturais do solo na seguinte ordem: estrutura, aeração, pH, fertilidade, substâncias tóxicas, profundidade da camada arável, umidade, conteúdo de matéria orgânica, microrganismos do solo, capacidade de absorção de cátions e qualidade do húmus.

A biologia edáfica encontra-se em uma posição privilegiada, sendo a macrofauna mais afetada que a microfauna, contudo, permanecem para serem analisadas as interdependências entre as propriedades do solo e a comunidade microbiana.

Dentre as condições de manejo dos solos cultivados, a disposição dos restos culturais, constitui uma prática de grande efeito sobre os microrganismos, visto que representa-lhes a fonte de substrato e energia. A incorporação dos restos vegetais à camada arável, sua queima, sua retirada ou sua permanência sob a superfície terão decisiva importância na quantidade, atividade e seleção dos microrganismos edáficos.

No sistema de plantio convencional, após o preparo do solo, há uma estimulação da atividade microbiana, demonstrada pelo aumento na população e na taxa respiratória do solo. Esta estimulação é resultante da ruptura dos agregados do solo e do aumento na exposição e aeração dos materiais degradáveis. A inversão e fragmentação dos resíduos superficiais cria uma zona de extensa atividade microbiana na camada arada (DORAN, 1980a). Em contraste, o preparo reduzido ou plantio direto, sem incorporação dos resíduos promove a atividade microbiana próximo à superfície (PAUL e CLARK, 1989).

O ambiente microbiano dos solos não arados é caracterizado pela camada de restos vegetais sobre a superfície e a presença de resíduos radiculares não afetados

---

<sup>2</sup>SAUERBECK, D. 'Funktionen, Gute un Belastbarkeit des Bodens aus agrikulturchemischer sicht', Materialien zur Umweltforschung, vol 10, 257p. Verlag W. Kohlha er, Stuttgart und Mainz 1985.

por distúrbios mecânicos. Deste modo solo sob plantio direto tem algumas semelhanças com o solo sob florestas.

As diferenças impostas pelo enterrio dos resíduos vegetais ou sua deposição na superfície do solo associadas ao ambiente microclimático, podem influenciar fortemente a composição da comunidade decompositora. A manutenção dos resíduos na superfície restringe a atividade decompositora à camada de contato do resíduo com o solo e, ao mesmo tempo, diminui as flutuações térmicas e hídricas e, conseqüentemente, diminui os sucessivos estímulos provocados na população microbiana. Nestas condições, pode-se esperar que o plantio direto proporcione uma distribuição da população microbiana e sua atividade dentro do perfil do solo que seja bem diferente dos solos arados.

Geralmente a população microbiana é maior na superfície dos solos onde os resíduos não são incorporados do que sob solos arados. Estudos iniciais sob palhada de trigo indicaram que a população de fungos, actinomicetos e bactérias foram significativamente mais altas nos 5,0 cm superficiais do solo sob plantio direto, que no solo sob plantio convencional (NORSTAD e McCALLA, 1969).

CATELLAN (1989) analisando a influência dos sistemas de rotação de culturas sobre a população microbiana, comparou várias coberturas vegetais com campo nativo e solo descoberto, e encontrou as menores populações em solo descoberto, creditando isso à ausência de restos vegetais e sistema radicular. Entre todos os tratamentos, a maior densidade de microrganismos foi encontrada na camada 0,0- 5,0 cm, sendo a população de bactérias relacionada a resíduos de baixa relação C/N: actinomicetos e fungos relacionaram-se com teor de matéria orgânica.

DORAN (1980b) em um experimento em Nebraska-EUA, avaliou a população microbiana sob sistema de plantio direto e convencional em duas profundidades do solo. (0,0 -7,5 e 7,5-15,0 cm). A relação entre população microbiana e preparo do solo, foi altamente relacionada com o conteúdo de C, N, e água do solo. Para a camada de 0,0 -7,5 cm, a população microbiana sob plantio direto foi muito superior aquela sob plantio convencional (35% a mais), sendo os grupos que mais se destacaram: fungos e bactérias e bactérias denitrificadoras com números 1.57, 1.41 e 2.7 vezes superiores sob plantio direto. Já na camada de 7,5 à 15 cm a população de todos os grupos aeróbios, com exceção dos actinomicetos foi 25 à 45% superior sob plantio convencional. Sob plantio direto, constatou-se que a proporção denitrificadores/aeróbios totais e atividade de microrganismos anaeróbios foi superior ao encontrada sob plantio convencional.

A aração e o cultivo aceleram o processo de oxidação da matéria orgânica, e em geral, o cultivo aumenta a população microbiana em dependência da profundidade e intensidade da aração. DORAN (1980a) observou que o número de anaeróbios facultativos e denitrificantes, sob plantio direto, diminuiu pouco com a profundidade, sendo mais numerosos na camada 7,5 - 15 cm deste sistema que sob plantio convencional. Segundo o autor, o aumento da água no solo e a densidade de solo muitas vezes associada com a limitada difusão de oxigênio do plantio direto, estabelecem um ambiente menos aeróbio em comparação com solos arados.

LINN e DORAN (1984) pesquisaram a influência da aração sobre os microrganismos aeróbios e anaeróbios em seis solos sob plantio direto e convencional nos Estados Unidos. Amostrando à 3 profundidades (0 -7,5; 7,5 -15 e 15- 30 cm), os autores verificaram na camada superficial, uma população de anaeróbios e aeróbios maior que as encontradas sob plantio convencional. Para as camadas subsequentes (7,5 - 30 cm), esta tendência foi invertida, com o número de microrganismos aeróbios sendo substancialmente maior sob plantio convencional. Na camada 7,5 -15 cm este aumento foi relacionado ao menor teor de água nos microporos sob plantio convencional comparado ao plantio direto. A população de anaeróbios, para as três profundidades amostradas foi superior, para o plantio direto.

SILVA FILHO (1984) comparando a população microbiana em diferentes sistemas de manejo do solo no Rio Grande do Sul, constatou um pequeno estímulo do plantio direto sobre actinomicetos e fungos em relação ao plantio convencional. O autor acredita que a espessura da camada amostrada (0 -17 cm) provocou o efeito de diluição na população de microrganismos, subestimando a população significativamente maior dos 2,5 cm superficiais sob plantio direto.

Várias informações sobre população microbiana sob plantio direto e plantio convencional (GAMBLE et al., 1952; NORSTAD & McCALLA, 1969; DORAN, 1980a; RICE e SMITH, 1983) consideram que a população microbiana na camada 0 -7,5 cm sob preparo reduzido é significativamente maior que sob preparo convencional. No entanto, abaixo de 7,6 cm a situação se inverte, demonstrando a importância da profundidade de amostragem na avaliação dos efeitos do preparo do solo sobre os microrganismos.

As diferenças entre palhada superficial e enterrada foram mais pronunciadas para organismos dependentes do filme de água, no experimento de BEARE et al. (1992). Na palhada enterrada, o número de bactérias foi sete à nove vezes maior que na superficial, enquanto a população de fungos foi três à quatro vezes mais alta sob plantio direto.

DORAN (1980a) amostrou as linhas e entrelinhas de um solo coberto com palhada, e verificou que a resposta dos microrganismos à cobertura morta foi influenciada pela distribuição do solo e resíduo dentro do sistema solo-planta. A população foi mais estimulada nas entrelinhas onde há maior disponibilidade de água, maior acúmulo e mineralização dos resíduos, e pH mais alto.

Na camada 0- 7,5 cm sob linhas e entrelinhas a população de todos os grupos de microrganismos, com exceção dos fungos, aumentou de 1,4 a 20 vezes com a aplicação de resíduo na superfície (nitrificantes aumentaram 26 vezes na entrelinha). Aparentemente, o aumento do teor de umidade no solo sob a palhada é o principal fator influenciando a comunidade microbiana.

HARRIS et al. (1995) avaliaram o número de bactérias, bactérias nitrificantes, actinomicetos e fungos nas camadas 0,0 - 2,0 cm e 2,0 -15,0 cm do plantio direto sob a cultura da soja na rotação trigo-soja submetidos à queima da palha e aplicação de herbicidas, não encontrando entre os tratamentos, diferenças significativas na camada 2,0 -15,0 cm. Na camada superficial não foi verificado o efeito de herbicidas sobre todos os microrganismos, e a queima de resíduos não afetou a população de bactérias e nitrificantes. O número de actinomicetos e fungos foi ligeiramente superior sob as parcelas do plantio direto sem queima.

HOLLAND e COLEMAN (1987) em experimento de laboratório contendo 3 níveis de palhada e tres níveis de nitrogênio em campo sob plantio direto e convencional com e sem adubação nitrogenada, obtiveram como resultados um significativo aumento de fungos nos tratamentos, onde a palhada permaneceu na superfície, tanto no laboratório, quanto no campo. O peso das hifas nos 10 cm superficiais em solo com palhada na superfície foram 4,8 mg/g e sob a palhada enterrada 3,3 mg/g de solo (média de 12 coletas), resultando num total de 44% a mais de fungos sob plantio direto.

A biomassa fúngica e a retenção dos teores de carbono e nitrogênio da palhada sofrem uma redução maior quando os resíduos são incorporados, do que quando são deixados na superfície (HOLLAND e COLEMAN, 1987). No experimento de laboratório, a fração fúngica da biomassa-C foi mais elevada nos tratamentos com alto e médio nível de nitrogênio na palhada superficial e o inverso foi verificado nos tratamento com palhada incorporada, onde, quanto mais baixo o nível de nitrogênio, maiores foram a biomassas-C e N de bactérias e fungos. No experimento de campo, a fração fúngica da biomassa-C total (peso de hifas) dos tratamentos com palhada na superfície foi maior em todas as coletas do que na palhada enterrada.

Sistemas estáveis em temperatura, umidade e nutrientes atrasam o período reprodutivo dos fungos, que diminuem o número de esporos por unidade vegetativa. Já sistemas desfavoráveis, produzem grande número de esporos (de onde proviriam as colônias presentes nas placas de Petri). Então sistemas estáveis podem apresentar maior biomassa (maior atividade) e os desfavoráveis maior número de colônias.

Os fungos, com sua extensa rede de hifas são capazes de formar pontes de hifas entre o carbono da palhada e o nitrogênio do solo, permitindo um melhor uso de ambos recursos (HENDRIX et al., 1986). Deste modo, a extensão de hifas sobre a interface palhada-solo no plantio direto pode melhorar o acesso aos nutrientes limitantes, via translocação fúngica (HOLLAND E COLEMAN, 1987). Além disso, como produto do crescimento dos tecidos fúngicos, os nutrientes são imobilizados nas paredes celulares das hifas abandonadas, onde seu potencial de mineralização é baixo, reduzindo a decomposição e aumentando a retenção de nutrientes (KASSIN et al., 1981).

A camada de palhada superficial do sistema de plantio direto, cria um ambiente favorável aos fungos que pode deliberar vantagens sobre as bactérias; ao contrário destas, as hifas fúngicas não ficam restritas ao filme de água, podendo manter o crescimento e atividade em baixo teor de umidade e pH (GRIFFIN, 1972; HENDRIX et al., 1986). Além disto, a forma de crescimento do tecido fúngico, em hifas, permite a translocação citoplasmática dentro do micélio, o que conserva a energia e recicla nutrientes (PAUSTIAN<sup>3</sup>, 1985 citado por HOLLAND e COLEMAN, 1987).

Em solos arados, onde resíduos são enterrados, há menor variação do ambiente microclimático abaixo da superfície e a estreita associação do reservatório de nutrientes (BLEVINS et al., 1983) deve promover o aumento da população bacteriana no resíduo enterrado (HENDRIX et al., 1986).

Em sistemas de plantio direto, os fungos saprofíticos exercem maior controle sobre a decomposição dos resíduos superficiais e no fluxo de nitrogênio que as bactérias. COOKE e RAYNER (1984), declararam que o micélio fúngico é adaptado a penetrar e invadir os espessos fragmentos da palhada, enquanto as bactérias são mais eficientes para decompor resíduos diminutos.

BEARE et. al. (1992), trabalhando com bactericidas e fungicidas em sistemas de plantio direto e convencional, verificaram que a taxa de decomposição bacteriana da palhada nos tratamentos com bactericidas no plantio direto, 25%, foi menor que sob o plantio convencional, 35%. Já com a aplicação de fungicida o decréscimo na taxa de

<sup>3</sup> PAUSTIAN, K. Influence of fungal growth pattern on decomposition and nitrogen mineralization in a model systems. In: FITTER, A.H; ATKINSON, D.; READ, D.J.; USHER, M.B. (Ed.) Ecological interactions in soil. Special Publication n° 4- British Ecological Society. Blackwell Scientific, Oxford. 1985.

decomposição para o plantio direto foi 36% e para o plantio convencional 21%, diminuindo o peso do material mais grosseiro e sugerindo que os fungos são mais importantes na decomposição do resíduo enterrado.

Adicionalmente, o aumento da decomposição fúngica pode ajudar na retenção da matéria orgânica por dois mecanismos: a eficiência da assimilação do carbono tende a ser significativamente mais alta para os fungos que para bactérias (ADU e OADES, 1978), isto significa que a maior proporção do carbono metabolizado por fungos é retida na biomassa, e não liberado como CO<sub>2</sub>, enquanto a eficiência na assimilação do carbono na fase de crescimento estacionário é de 30 -70% para fungos e para bactérias é 20-40%.

A biomassa fúngica possui maior proporção de parede celular, quando comparada à biomassa bacteriana. Este tecido se decompõe lentamente e o produto da decomposição é estabilizado como biomassa final mais rapidamente que o material citoplasmático (KASSIM et al., 1981). Conseqüentemente, a decomposição fúngica produz mais matéria orgânica recalcitrante que a bacteriana.

Os primeiros estágios de degradação da matéria orgânica estão à cargo de bactérias e fungos, e os últimos se devem à ação dos actinomicetos. Inaptos à competição e desenvolvendo-se com sucesso em matéria orgânica parcialmente degradada, os actinomicetos são capazes de degradar quitina e filamentos fúngicos (DOMERGUES e MANGENOT, 1970). Assim, a entrada de restos vegetais não causa estímulo imediato à população de actinomicetos, que permanece sem grandes flutuações.

HENDRIX et al. (1986) e BEARE et al. (1992), propõem a hipótese de que o sistema de plantio direto contém sua comunidade de decompositores com base nos fungos, proporcionando lenta decomposição e alta retenção de nutrientes (HOLLAND e COLEMAN, 1987), enquanto no sistema de preparo convencional a comunidade de decompositores é formada principalmente por bactérias, o que aumenta a decomposição dos resíduos e a mineralização dos nutrientes, ADU e OADES, (1978) consideram essa razão como determinante da maior perda dos teores de matéria orgânica nos solos arados, comparado aos solos sob plantio direto.

Poucos estudos tem relatado a composição da rede de decompositores de resíduos dos agroecossistemas. Aqueles que o citam concluem que a aração favorece organismos com ciclo rápido de vida, tamanho pequeno, dispersão rápida e hábitos alimentares generalistas ( STEEM<sup>4</sup>, 1983; ANDREN<sup>5</sup> et al., 1990 citados por BEARE et

---

<sup>4</sup>STEEN, E.. Soil animals in relation to agricultural practices and soil productivity. Swedish Journal of Agricultural Research 13: 157-165 .1993.

al., 1992). Estas características são comumente atribuídas a organismos de ecossistemas perturbados.

Grande parte da decomposição de resíduos incorporados ou não ao solo pode ser devido principalmente a microrganismos pertencentes ao resíduo e não ao solo. HUMFIELD e SMITH (1932)<sup>6</sup> citados por COCHRAN et al. (1984), estudando a colonização bacteriana em resíduos de leguminosas incorporados ao solo, observaram que a decomposição inicial foi acompanhada pelo aumento da população microbiana do resíduo, e aconteceu independente da população microbiana do solo.

BRODER e WAGNER (1988) comparando a população colonizadora em resíduos de soja, trigo e milho, relataram a predominância de fungos nos resíduos de milho, enquanto que actinomicetos e bactérias foram mais numerosos sob o resíduo de soja, mas as mudanças na população decompositora foram relacionadas mais à fatores abióticos do que a mudanças bioquímicas do resíduo.

Deve ser salientado que as mudanças químicas, bioquímicas e microbiológicas dos solos sob plantio direto só se aplicam à camada 0- 10 cm. A maiores profundidades, em comparação com solos arados, existem diferentes níveis ou padrões de distribuição, que são invertidos de acordo com as condições (água, oxigênio, ou substrato disponível), para vários intervalos após a aração.

### 2.2.2. - Microrganismos Solubilizadores de Fosfato

O fósforo é um dos macronutrientes essenciais à nutrição vegetal, existindo em formas inorgânica e orgânicas provenientes de restos vegetais e animais. A litosfera é a fonte e reservatório deste nutriente na forma de fosfatos inorgânicos pouco solúveis como os de cálcio, alumínio, ferro e manganês. O radical fosfato pode ser também retido pelos minerais de argila, fixado em formas não disponíveis às plantas e como consequência, sua concentração iônica na solução do solo é bastante baixa, da ordem de 0,1 µg/g.

As plantas absorvem o fósforo quase que exclusivamente da solução do solo, sendo necessária sua solubilização. Dentre as relações envolvendo o fósforo e os microrganismos edáficos estão: a mineralização e imobilização de compostos orgânicos de fósforo e solubilização de compostos de fosfato inorgânicos, de grande importância para o aumento do teor de fósforo disponível às plantas.

---

<sup>5</sup> ANDRÉN, O. ;LINDBERG, T. ;PAUSTIAN, K. ;ROSSWALL, T. Editors, 1990. Ecology of arable lands - organisms, carbon and nitrogen cycling. Ecological Bulletins NFR 40.

<sup>6</sup> HUMFIELD, H. SMITH, N.R. The decomposition of vetch green manure in relation to the surrounding soil. Journal of agricultural Research. 44: 113, 1932.

Os microrganismos solubilizadores de fosfato pertencem aos mais diversos gêneros de bactérias (*Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Agrobacterium*, etc.), fungos (*Penicillium*, *Aspergillus*, *Sclerotium*, etc.) e actinomicetos (*Streptomyces*, etc), estão presentes em todos os tipos de solo e representam 10 à 15% da população microbiana, percentagem que pode se elevar até a 95% em certos solos (KATZNELSON et al., 1962 e DOMERGUES e MANGENOT, 1970).

MOLLA (1984) isolou e identificou a população de microrganismos solubilizadores de fosfato na rizosfera e solo sob centeio e trigo. Na contagem em placas, 51% do total de microrganismos solubilizadores de fosfato observados foram bactérias, 25% actinomicetos e 23% fungos.

Várias pesquisas demonstraram que as bactérias estão presentes no solo, em maior número; no entanto os fungos são considerados mais eficientes no processo de solubilização. KUCEY (1983) considera que os fungos são capazes de atravessar distâncias maiores que as bactérias, sendo mais importantes para a solubilização em geral. No estudo de persistência da habilidade de solubilização, somente os fungos conservaram sua capacidade para colônias em subcultura após dois anos (SPERBER, 1958).

Os mecanismos de solubilização microbiana são:

(a) Solubilização direta por microrganismos quimiorganotróficos: Produção de ácidos orgânicos (ácidos cítrico, málico, succínico, oxálico, tartárico e lático) que reagem com  $Fe^{+++}$  e  $Al^{+++}$ , liberando o fosfato. Produção de ácidos minerais fracos: ( $H_2CO_3$ ) formado a partir do  $CO_2$  do metabolismo respiratório dos microrganismos também liberando fosfato.

(b) Solubilização direta por microrganismos quimiolitotróficos: Produção de ácidos minerais fortes como  $H_2SO_4$ ,  $HNO_3$  e  $HNO_3$  por *Thiobacillus ssp.* e *Nitrosomonas*.

Produção de substâncias quelantes de  $Ca^{++}$  e  $Al^{++}$  como ácido 2-cetoglutárico por *Pseudomonas* e produção de  $H_2S$  por *Bacillus megatherium*.

(c) Solubilização microbiana após imobilização transitória: Microrganismos capazes de assimilar fosfato insolúvel acumulam no interior de suas células grande quantidade de fósforo mineral e orgânico, imobilizando-o temporariamente e excretando na forma de compostos solúveis como o ortofosfato, pela morte das células microbianas. (DOMERGUES e MANGENOT, 1970 e KUCEY, 1983). Segundo NAPLEOKOVA (1967), fungos celulolíticos assimilam formas insolúveis de fósforo e liberam depois como solúveis.

HARRISON et al. (1972) em pesquisas sobre a eficiência dos microrganismos em solubilizar diversas formas de fosfato, relatam a seguinte ordem decrescente de solubilização:  $\text{CaHPO}_4$ ,  $\text{Ca}(\text{PO}_4)_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{Mn}(\text{PO}_4)_2$  e  $\text{Al}(\text{PO}_4)_2$ . Os autores ainda associaram a solubilização a meio aeróbico e a presença de carboidratos.

Várias pesquisas relatam o aumento da densidade de microrganismos solubilizadores de fosfato sob a rizosfera. A rizosfera representa uma fonte local e renovada de substrato na forma de tecidos mortos e excreções de enzimas e carboidratos que estimulam a população microbiana. Além da disponibilidade de produtos orgânicos, há também na rizosfera um ambiente diferenciado no teor de nutrientes inorgânicos, pH e concentrações de  $\text{O}_2$  e  $\text{CO}_2$ .

ROSA et al. (1982) pesquisaram a densidade dos microrganismos solubilizadores de fosfato na rizosfera de várias leguminosas, encontrando populações que variaram entre  $10^5$  à  $10^6$  unidades formadoras de colônia /g.de solo seco. Não se encontrou diferença significativa entre as espécies de leguminosas testadas (*Glicine max*, *Dolichos lablab*, *Pueraria phasoloides*, *Centrosema pubescens*), e o teor de umidade do solo. Para as profundidades amostradas ( 5,0; 10,0; 20,0; ou 30,0 cm ), também não foram verificadas diferenças na densidade de microrganismos, segundo os autores devido a alta densidade de raízes até os 30 cm de profundidade, comum para as leguminosas testadas. Encontrou-se uma correlação negativa entre densidade dos microrganismos e temperatura do solo.

SANDOVAL et al. (1982) pesquisando a população de solubilizadores de fosfato na rizosfera de quatro gramíneas *Brachiaria decumbens*, *Cynodon dactylon*, *Hyparrhenia rufa* e *Panicum maximum*, não encontraram correlação entre as espécies, teor umidade e temperatura do solo nas 20 semanas de pesquisa. A maior densidade de microrganismos encontrada ( $10^6$  ufc/gss) sob a rizosfera de *Hyparrhenia*, foi explicada pela maior quantidade de exudatos radiculares, já que a gramínea se encontrava em período de floração. A profundidade de amostragem demonstrou efeito sobre a população de microrganismos a 5 cm de profundidade, somente entre a 5ª e 12ª semana do experimento, na fase reprodutiva de todas as plantas, quando o efeito da rizosfera foi mais influente na população encontrada.

Tendo em vista que a solubilização microbiana de fosfatos naturais depende, direta e indiretamente, dos produtos metabólicos microbianos, um aumento deste metabolismo pode incrementar a solubilização. Efeitos da adição de matéria orgânica como indutor de solubilização de fosfato, foram inicialmente interpretados como resultado da formação de complexos de alumínio e ferro por ácidos orgânicos, hoje

porém, admite-se que a solubilização resulta da ativação dos microorganismos pela adição de substrato orgânico (DOMERGUES e MANGENOT, 1970).

THOMAS et al. (1985) analisou a densidade de microorganismos solubilizadores de fosfato, atividade solubilizadora e a sobrevivência do inóculo no solo, pesquisando quatro tipos de solo em 32 locais da Índia à 0-30 cm de profundidade. A população máxima encontrada foi na ordem de  $10^3$  em solos com maior teor de matéria orgânica e as menores nos solos arenosos com baixos teores de umidade e matéria orgânica.

VENKTESWARLU et al. (1984), pesquisando solos desérticos a 0 - 23 cm de profundidade encontraram densidade relativamente baixa de solubilizadores de fosfato, (de  $10^2$  à  $10^5$  ufc/gss) em comparação à outros solos tropicais, provavelmente, devido ao baixo teor de matéria orgânica, altas temperaturas e baixa umidade do solo. Os autores verificaram ainda, uma correlação positiva entre o número de solubilizadores de fosfato e teor de matéria orgânica. As bactérias foram o grupo dominante na contagem em placas, mas os fungos se mostraram mais eficientes no experimento de solubilização.

De acordo com TARDIEUX-ROCHE (1966)<sup>7</sup>, citado por DOMERGUES e MANGENOT (1970) o conteúdo de matéria orgânica humificada no solo não tem efeito sobre a densidade dos microorganismos solubilizadores. Em compensação a matéria orgânica fresca é favorável à proliferação destes microorganismos pois induz a uma ativação da solubilização.

KUCEY (1983) pesquisando a população de solubilizadores de 29 solos de 17 locais nos EUA, não encontrou correlação entre: cobertura vegetal, teor de fósforo total, teor de fósforo disponível e número de bactérias solubilizadoras de fosfato. O autor encontrou correlação significativa, entre a população total de fungos e a de fungos solubilizadores de fosfato com o teor de fósforo total. Os solos com teor de matéria orgânica elevada apresentaram a população de fungos solubilizadores superior a dos solos com menor conteúdo.

RIBAS Jr (1987), em experimento envolvendo fosfato de rocha, composto de lixo urbano e lodo de esgoto aeróbico, verificou que, a partir dos 120 dias do experimento, a população de fungos solubilizadores foi maior no tratamento lixo urbano. Para bactérias, as maiores populações se encontraram nos tratamentos lixo urbano e lixo urbano + fosfato natural. O autor relatou, ainda, que a adição de compostos orgânicos ao fosfato natural aumentou o teor de fosfato solúvel.

---

<sup>7</sup>TARDIEUX-ROCHE, A. Contribution a l'étude des interactions entre phosphates naturels et microflore du sol. *Annales Agronomiques*. 17: 403-471, 1966.

DALTON et al. (1952), em experimento com trevo ladino suplementado com várias doses de fosfato inorgânico e várias fontes de matéria orgânica, verificaram que os tratamentos que combinaram fosfato de rocha e matéria orgânica disponibilizaram mais fosfato solúvel, ao trevo que os tratamentos sem o suplemento orgânico.

NAHAS et al. (1994a) pesquisando a população de microrganismos solubilizadores de fosfato na camada 0-15 cm de diversos solos, sob várias coberturas vegetais, não encontraram correlação entre classe de solo e tipo de vegetação; constatando a presença de populações maiores sob solos fertilizados. Uma correlação positiva foi encontrada entre o número total de microrganismos e solubilizadores indicando que os fatores que favorecem os microrganismos solubilizadores, favorece a população em geral.

Sendo a solubilização um processo biológico, está sujeito às condições do ambiente que favorecem a produção de fosfatases. NAHAS et al. (1994b) analisaram 13 solos quanto ao seu pH, teor de matéria orgânica, classificação textural, teores de fósforo total e orgânico e correlacionaram com o teor de fosfatases e população de microrganismos solubilizadores. A atividade da fosfatase foi maior sob floresta nativa seguida de pasto, vegetação arbustiva, área experimentos agrícolas e reflorestamento. A população de fungos obteve correlação positiva com teor de fósforo disponível, e a população de bactérias com o teor de matéria orgânica e pH. Quanto maior o pH do solo, maiores níveis de solubilização.

SILVA FILHO (1984) comparando a população de microrganismos do solo sob diferentes sistemas de manejo, na camada 0-17 cm, encontrou as maiores médias da população de solubilizadores de fosfato, sob sistema de plantio convencional e as menores sob plantio direto. Entre as diversas coberturas vegetais pesquisadas, as menores médias anuais foram encontradas sob culturas e as maiores sob pastagem cultivada e nativa, onde a rizosfera foi menos perturbada.

A relação C/N do substrato é outro fator de importância para solubilização microbiana. A adição de fosfato de amônio num solo podzólico vermelho amarelo incubado com apatita de Araxá com diversas relações C/N, demonstrou que altas relações C/N propiciaram não só uma solubilização mais rápida do fosfato rocha, mas também a manutenção de níveis elevados de P solúvel (EIRA e CARVALHO, 1969<sup>8</sup> citado por EIRA, 1992).

---

<sup>8</sup>EIRA, A.F.; CARVALHO, P.C.T. de. Determinação da influência da relação C/N na solubilização da apatita de Araxá, pela microflora do solo. 51ª Reunião Anual, Seção Regional da Sociedade Botânica do Brasil, Piracicaba, 1969.

CARVALHO et al. (1977) analisando a influência da relação C/N dos substratos na solubilização da apatita de Araxá pelos microrganismos edáficos, verificaram que na ausência de matéria orgânica não houve solubilização e que em tratamentos onde a relação C/N do substrato foi maior, tornaram mais eficiente o processo de solubilização.

MINHONI et al. (1991) estudaram o efeito de cinco fontes de carbono (palha de soja, palha de milho, bagaço de cana, vinhaça e glicose) na solubilização da apatita de Araxá por microrganismos heterotróficos. A adição de matéria orgânica de alta relação C/N como bagaço de cana e palha de milho não promoveu solubilização significativa de fosfato, mas quando este material foi suplementado com fontes de nitrogênio, houve aumento nos níveis de solubilização, evidenciando o nitrogênio como fator limitante. Glicose e vinhaça foram os tratamentos que produziram os maiores teores de fosfato solúvel; a vinhaça por conter altos teores de compostos orgânicos facilmente degradáveis e a glicose por apresentar-se como padrão de fonte de carbono de rápida degradação.

### 2.2.3- Bactérias Nitrificantes

A nitrificação é um processo realizado por bactérias quimioautotróficas pertencentes à família *Nitrobacteriaceae*, e é composta de dois estágios, a oxidação do amônio a nitrito, e a oxidação de nitrito a nitrato. Os nitrificantes são especializados unicamente em uma ou outra destas fases. (BELSER, 1982).

Quatro gêneros de oxidantes de amônio têm sido isolados em ambientes edáficos: *Nitrossomonas*, *Nitrosovibrio*, *Nitrosospira* e *Nitrosolobus*. Um único gênero de oxidante de nitrito encontra-se no solo, o *Nitrobacter* (BELSER, 1982). Os nitrificantes autotróficos não formam endosporos e sua forma é variável, incluindo bacilos, cocos e espirilos. Apesar de não haver homogeneidade morfológica, existe uma similaridade fisiológica, particularmente com respeito às reações produtoras de energia, que se derivam somente do metabolismo do amônio e nitrato (MEIKLEJOHN, 1953).

Caracteristicamente, os autotrofos nitrificantes são aeróbios e dependentes obrigatórios dos materiais inorgânicos para obtenção de energia. O carbono para a síntese celular provem unicamente do CO<sub>2</sub>, carbonatos e bicarbonatos, enquanto a energia para a redução do CO<sub>2</sub> é obtida da oxidação de compostos de nitrogênio inorgânico. (ALEXANDER, 1980).

Muitos microbiologistas tem investigado a abundância destes microrganismos na natureza; o número de oxidadores de amônio varia de zero à 1 milhão ou mais por grama de solo. Dentre os fatores edáficos que mais influenciam a atividade das bactérias nitrificadoras, está o pH. Segundo VICTÓRIA et al. (1992), seu crescimento ideal encontra-se na faixa 7-7,6. MEIKLEJOHN (1953) menciona cepas de *Nitrosomonas* encontrados em solos com pH próximo a 6,0 e BELSER (1982) considera que os nitrificantes são mais sensíveis a baixo pH que os amonificadores.

Entretanto embora os nitrificadores ocorram em número mais elevado em pH 6,0, diversos habitats com pH neutro ou alcalino apresentam baixa população devido a outros fatores edáficos. Em solos ácidos a densidade populacional é baixa e pode ser estimulada pela calagem. Há evidências de que a nitrificação é proporcional a capacidade de intercâmbio catiônico (ALEXANDER, 1980).

MORRIL e DAWSON (1967) com o objetivo de investigar os efeitos das propriedades do solo sobre a nitrificação e nitrificantes amostraram 55 solos dos EUA, constatando que somente os fatores relacionados com pH apresentaram correlação com a nitrificação ( teores de  $\text{Ca}^+$   $\text{Fe}^{+++}$  e  $\text{Al}^{+++}$ ).

DORAN (1980b) pesquisando as mudanças na comunidade microbiana associadas ao tipo de cultivo, amostrou o solo sob plantio direto e convencional, nas seguintes profundidades: 0 -7,5; 7,5 -15 e 15 -30 cm. O pH se apresentou como maior fator afetando a densidade dos nitrificantes. Para quatro dos sete locais amostrados; a população de nitrificantes da camada 0 - 7,5 cm do plantio direto foi superior à encontrada sob solo arado (pH 6,0). Nos outros três solos o pH desta camada sob palhada era mais baixo que no solo sob plantio convencional (pH 5,1 -5,6).

Ainda nesse experimento em um determinado local onde a amostragem foi feita durante o pousio, o elevado teor de umidade (18%) na superfície do solo sob plantio direto, favoreceu a população de bactérias, em detrimento da baixa umidade apresentada sob plantio convencional (5%). Para a segunda camada (7,5 -15 cm ), a situação se inverteu, com o plantio convencional apresentando maior população (DORAN, 1980b).

O teor de água no solo afeta a população nitrificadora e como a maioria da microflora edáfica, sua atividade aumenta diretamente com o aumento do conteúdo de água, até o nível de capacidade de campo, quando a partir de um ponto há a diminuição da aeração e o comprometimento da atividade, exclusivamente aeróbica. Sendo assim a maior aeração da superfície encontrada nos solos arados seria vantajosa quando comparada à superfície do solo sob plantio direto, como confirmam

os trabalhos de DOWDELL et al. (1983); BRODER et al. (1984) e KARLEN et al. (1994a.).

As bactérias nitrificantes têm seu intervalo de atividade em 8-20 °C, mas a faixa de temperatura ótima para a nitrificação ocorre entre 30-35°C, diminuindo à medida que se aproxima dos extremos 5°C e 40°C (ALEXANDER, 1980).

Para MAHENDRAPPA et al. (1966) e ANDERSON et al. (1971) os nitrificantes se adaptam ao clima particular de cada região, demonstrando diferentes tolerâncias à várias temperaturas. A interpretação de dados sobre a adaptação de nitrificantes à varios climas é dificultada pela ausência de um conhecimento profundo sobre os gêneros e espécies que compõem a comunidade nitrificadora no solo.

Em climas temperados os nitrificadores são numerosos durante a primavera e bastante raros durante os verões secos e quentes assim como no inverno, a seca ou neve diminuem a densidade mas não os eliminam totalmente (ALEXANDER, 1980).

BRODER et al. (1984) avaliaram as mudanças na população de bactérias nitrificantes e denitrificantes no solo sob cultivo mínimo, plantio direto e convencional nas profundidades de 0 -7,5; 7,5 -15 e 15 -30 cm, sob cultura de trigo. Nitrificantes e o nitrogênio disponível no solo na primavera durante o crescimento do trigo, foram significativamente influenciados pelas práticas de cultivo impostos nos 8-12 meses anteriores; na camada 0-7,5 cm, as densidades bacterianas foram similares entre as práticas de cultivo, com leve vantagem para o plantio convencional.

Na camada 7,5-15 cm, o número de *Nitrobacter* e *Nitrosomonas* foi duas e 16 vezes mais alto sob plantio convencional (média de três amostragens). O conteúdo de umidade e temperatura foram as principais fatores influenciando a densidade dos nitrificantes nos dois tipos de preparo. A temperatura do solo (0-5 cm ) sob plantio direto foi em média 2°C mais baixa que sob plantio convencional. Segundo PARKER e LARSON (1962) estes 2°C de diferença na temperatura do solo, na faixa de 8-20°C, podem influenciar significativamente o número de nitrificantes.

Embora discuta-se que um amplo grupo de compostos orgânicos, como a glicose, inibe a *Nitrosomonas* em níveis mais baixos que para heterotrofos comuns, não há suficiente base para se concluir que a oxidação do amônio seja inibida pela matéria orgânica *per se*. O fato de que com carboidratos diminui o conteúdo de nitrato no solo não se deve às bactérias produtoras de nitrato, mas ao esgotamento das reservas de nitrogênio inorgânico pela flora para a decomposição dos carboidratos (MEIKLEJOHN, 1953).

Os resíduos influenciam os nitrificantes pois embora sejam autotróficos são beneficiados, direta e indiretamente, pela mineralização da matéria orgânica e fixação

biológica do nitrogênio, que controla a disponibilidade do nitrogênio inorgânico (ALEXANDER e CLARCK, 1965; MEIKLEJOHN, 1965 e ALEXANDER, 1980).

KRUGLOV et al. (1979)<sup>9</sup> citados por BRODER et al. (1984), atribuem a baixa população de nitrificantes encontrada sob plantio direto, comparada ao plantio convencional, durante o pousio dos solos, à reduzida mistura de resíduos de trigo com solo diminuindo, assim, a mineralização e disponibilidade de nitrogênio inorgânico aos nitrificantes.

SILVA FILHO (1984) pesquisou, no Rio Grande do Sul, a população de nitrificantes em solos submetidos a diferentes sistemas de manejo, que incluíam plantio direto e convencional. A maior densidade de *Nitrosomonas* foi encontrada em solos sob pastagem ( $2,28 \times 10^4$  ufc/g de solo seco) seguida do plantio direto ( $0,76 \times 10^4$  ufc) e por último plantio convencional ( $0,47 \times 10^4$  ufc). Já a população de *Nitrobacter* foi nitidamente favorecida pelo plantio direto, apresentando  $159 \times 10^4$  ufc, seguida pela pastagem ( $136 \times 10^4$  ufc) e plantio convencional, ( $0,68 \times 10^4$  ufc).

Segundo PAUL e CLARK (1989) e ALEXANDER (1980), a rizosfera tem influência sobre os nitrificantes, aumentando a população e atividade dos amonificadores e reduzindo a dos nitrificadores, por efeito inibitório de seus exudatos ou imobilização do amônio pelas raízes.

A aplicação de fertilizantes nitrogenados, como  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , pode aumentar significativamente a densidade dos nitrificantes no solo, por aumentar a disponibilidade imediata de nitrogênio, como observaram BRODER et al. (1984). Após aplicação de  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , a população de ambos grupos de nitrificadores na superfície do solo (0 -7,5 cm) sob plantio direto e convencional aumentou de seis a nove vezes. A maior densidade de *Nitrosomonas* foi constatada sob plantio convencional e de *Nitrobacter* sob plantio direto. Já na segunda camada amostrada (7,5-15 cm), a população de nitrificadores foi superior no plantio convencional.

---

<sup>9</sup> KRUGLOV, Y.; PERTSEVA, A.N.; SOSNIN, N.A.; VAS'KOSKAYA, G.S. Change of microbiological characteristics in soil with various fallow maintenance methods. *Pochvovedenie*. 8: 82-87, 1979.

### 2.3- Influência do Manejo do Solo sobre a Biomassa Microbiana

A biomassa do solo, composta de bactérias, fungos, actinomicetos, microfauna e algas, é definida como o componente microbiano vivo do solo. O conceito de que, para determinados estudos, a população microbiana poderia ser tratada como um todo, foi proposto por JENKINSON (1966).

A biomassa microbiana do solo é um pequeno, mas marcante componente da matéria orgânica do solo. Ela é considerada um componente crítico de todos os ecossistemas, pois é o agente regulador da taxa de decomposição de resíduos, ciclagem de nutrientes e reciclagem da matéria orgânica (COLLINS et al., 1992). Esta função deve-se à capacidade da biomassa microbiana de imobilizar nutrientes, sendo um depósito temporário, e mineralizá-los, agindo como fonte imediata (WARDLE e HUNGRIA, 1994; LOVELL et al., 1995).

A dinâmica da biomassa microbiana está intimamente correlacionada à dinâmica da matéria orgânica; fatores que alteram os teores da matéria orgânica do solo conseqüentemente provocam alterações na biomassa microbiana. Práticas agrícolas como aração, adubação, e deposição de resíduos, que afetam as condições químicas e físicas do solo, terão seu reflexo na biomassa microbiana.

A dependência da biomassa microbiana em relação à matéria orgânica na forma de resíduos pode ser observada nos solos sob pousio, onde é baixa (CARTER, 1986 e SANTRUCKOVA et al., 1992). Solos sob cultivo possuem uma biomassa maior, que aumenta de acordo com o conteúdo de carbono orgânico dos solos, prevalecendo na camada 0-5 cm dos solos sob campo e floresta. SANTRUCKOVA et al. (1992) encontraram sob floresta baixos valores da relação carbono microbiano/Carbono orgânico, enquanto que no pousio estes valores foram altos. Isso indica que a elevada taxa de mineralização do carbono é resultado de uma otimização energética nos solos cultivados, que quando comparados aos solos de ecossistemas naturais, possuem menores entradas de carbono e maiores taxas de mineralização.

Muitos pesquisadores relatam que as práticas reduzidas de cultivo e adição de matéria orgânica do solo por meio de resíduos podem manter ou aumentar os níveis de carbono e nitrogênio do solo (CAMPBELL et al., 1989) causando aumento na biomassa microbiana (DORAN, 1980a; CARTER, 1986 e KARLEN et al., 1994b) no metabolismo e diversidade dos microrganismos (CARTER e RENNIE, 1982 ) e na mineralização do carbono e nitrogênio (CAMPBELL et al., 1989).

Rápidas respostas da biomassa à adição de carbono e nitrogênio prontamente disponíveis provenientes dos resíduos sugerem que a maioria dos componentes da microflora é limitada por estes nutrientes. KNAPP et al. (1983) e INSAN (1990) sugerem que o teor de carbono é o fator limitante para a biomassa do solo, resultando em crescimento lento ou estado de dormência nos microrganismos, em solos deficientes deste elemento. Outros pesquisadores, em estudos sobre a decomposição da cobertura vegetal morta afirmaram que é o nitrogênio e não o carbono que regula a atividade dos microrganismos decompositores e a taxa de decomposição (SWIFT et al., 1979<sup>10</sup>; citado por WARDLE e HUNGRIA, 1994).

Os dados apresentados por BEARE et al. (1992) demonstraram que a biomassa microbiana sob cobertura vegetal morta é correlacionada positivamente com o teor de nitrogênio e negativamente com o teor de Carbono. Segundo WARDLE, (1994), a proporção do carbono orgânico do solo imobilizado na biomassa ou relação Biomassa-C /Carbono orgânico está frequentemente correlacionada negativamente com a relação C:N do resíduo.

Experimentos que combinam a presença de resíduos vegetais e adubação nitrogenada, apresentam maiores valores de biomassa microbiana, evidenciando o benefício da diminuição da relação C:N sobre os microrganismos colonizadores da palhada. SINGH e SINGH (1993) pesquisando os efeitos de palhada de trigo no solo e adubação nitrogenada encontraram a maior biomassa microbiana no tratamento que combinava palhada e fertilizantes nitrogenados. A média dos valores no tratamento com adubo foi 77% superior aos valores encontrados para a testemunha, sem palhada e sem fertilizante. Em ordem decrescente de biomassa estavam o tratamento palhada sozinha, seguida do fertilizante sozinho e testemunha.

COLLINS et al. (1992) analisaram os efeitos do manejo dos resíduos e adubação nitrogenada sob a biomassa-C do solo nas profundidades 0-10 e 10-20 cm. Os tratamentos consistiam de combinações entre adubação nitrogenada química e orgânica (esterco bovino), com palhada incorporada ou queimada. A queima da palhada reduziu a biomassa microbiana do solo pela diminuição do retorno de material orgânico ao solo. As parcelas com esterco bovino apresentaram maior biomassa microbiana do solo, do que com fertilizante químico, pois supriram a biomassa do carbono e nitrogênio, que já se encontrava em forma prontamente disponível aos microrganismos.

---

<sup>10</sup>SWIFT, M.J.; HEAL, O.W.; ANDERSON, J.M. *Decomposition in Terrestrial Ecosystems*. Berkeley University of California Press, 1979.

Os efeitos de 20 anos de cultivo, manejo de resíduos e adubação sobre os teores de Carbono, nitrogênio e biomassa microbiana nas camadas 0,0 -2,5; 2,5 -5,0 e 5,0 -10,0 cm foram analisados por DALAL et al. (1991). Os tratamentos consistiram de combinações de plantio convencional e direto, resíduo retido ou queimado e aplicação de ureia. Os maiores valores de biomassa, nitrogênio e carbono orgânico foram encontrados na profundidade 0,0 -2,5 cm do tratamento plantio direto, com resíduo retido e aplicação de 69 kg/ha/ano de N. Considerando-se a camada 0 -10 cm foram observadas tendências similares com a aplicação de fertilizante ou retenção do resíduo, mas o tipo de cultivo não obteve efeito nos teores de carbono e nitrogênio, embora os maiores valores da biomassa microbiana tenham sido encontrados sob plantio direto.

Técnicas de manejo conservacionista do solo, especialmente plantio direto, resultam na acumulação superficial da biomassa e atividade biológica, embora paradoxalmente, a decomposição dos resíduos vegetais, seja aparentemente, reduzida (STALEY et al., 1988; WARDLE e HUNGRIA, 1994 ). Um aumento no teor de carbono lábil na superfície do solo sob plantio direto tem sido observado quando comparado ao plantio convencional. A camada superficial de resíduos, diminui a temperatura e a umidade do solo, diminuindo a mineralização da matéria orgânica e esta baixa taxa de mineralização parece ser a causa do acúmulo de carbono orgânico no plantio direto.

DORAN (1987) pesquisou a distribuição da biomassa microbiana do solo e o potencial de mineralização do nitrogênio em sete solos cultivados em plantio direto e convencional nos EUA. A biomassa e o potencial de mineralização foram respectivamente, em média, 54% e 37% superiores sob o plantio direto. A biomassa microbiana do solo relacionou-se com a distribuição de carbono solúvel, carbono e nitrogênio total, teor de umidade e apresentou influência do cultivo. Os níveis de nitrogênio mineralizado foram associados primeiramente com a distribuição de biomassa microbiana do solo e nitrogênio total. BUCHANAN e KING (1992) e SIMARD et al.(1994), ao contrário consideraram a taxa de mineralização do nitrogênio por unidade de biomassa maior com o menor preparo do solo.

Após vários anos com o mesmo tipo de manejo, solos sob plantio direto ou preparo reduzido concentram maiores taxas de carbono na superfície do que solos arados. Já os níveis de carbono na profundidade abaixo são similares para os dois sistemas, ou levemente superiores sob solos arados (BLEVINS et al., 1977; MUZZILLI, 1983; LANGDALE et al., 1984; FOLLET e SCHIMEL, 1989; KARLEN et al., 1994a e ALVARES et al., 1995). A biomassa microbiana do solo mostra uma estratificação igual, em consequência dos efeitos benéficos da conservação dos resíduos pelo

plantio direto na camada 0 -5 cm do solo, no entanto, esta estratificação só poderá ser verificada com a divisão vertical do perfil do solo durante as amostragens (KAISER e HEINEMEYER, 1993).

CARTER (1986), pesquisou vários solos sob plantio direto e convencional de regiões úmidas e semi-áridas do Canadá. Os solos onde anteriormente havia pastagem, por ocasião da amostragem estavam com dois anos de cultivo. Foram encontradas diferenças nos teores de biomassa entre os dois sistemas, que na camada 0 -5 cm foram maiores sob plantio direto e, na camada de 5-10 cm no plantio convencional. Embora os gradientes de biomassa-C e atividade microbiana tenham sido evidentes através da profundidade, a biomassa total foi similar entre os tipos de cultivo para a camada 0,0 -10,0 cm.

VAN GESTEL et al. (1992) determinaram a biomassa-C em várias profundidades do solo (0 -2,5; 2,5 -5; 5 -7,5; 7,5-10 e 10-15 cm) na Austrália, após 10 anos de práticas de cultivo contrastante: cultivo mínimo e plantio convencional. A maior queda nos valores da biomassa foi verificada na camada 0,0- 2,5 cm para a camada subsequente (2,5-5,0 cm) do plantio mínimo, entre as demais profundidades, as diferenças foram menores.

A mobilização do solo, por proporcionar aeração e incorporação de resíduos orgânicos, pode elevar a biomassa microbiana a curto prazo, mas, a longo prazo pode ter efeitos negativos. SIMARD et al. (1994), em experimento envolvendo níveis de calagem, e adubação fosfatada em três tipos de cultivo (preparo mínimo, plantio convencional e arado de aiveca), verificaram o efeito significativo da mobilização do solo sobre a biomassa-C, que foi maior sob preparo mínimo e menor sob plantio convencional.

Já BUCHANAN e KING (1992), observando a flutuação na densidade e atividade da biomassa microbiana do solo na camada 0,0 -20,0 cm sob plantio direto e cultivo reduzido em milho contínuo e rotação milho-trigo-soja, verificaram uma significativa flutuação da biomassa-C que tendeu a ser maior sob cultivo reduzido, devido à aração e incorporação de resíduos.

Dentre as práticas culturais, o manejo dos restos de cultura possui maior influência sobre a biomassa microbiana. Sistemas de manejo do solo podem alterar a dinâmica da biomassa microbiana do solo por alterar o tempo, local, quantidade e qualidade dos resíduos adicionados ao solo, bem como condições ambientais e fertilidade do solo (FRANZLEUBBERS et al., 1994).

FOLLET e SCHIMEL (1989), constataram, após 16 anos de trigo-pousio em plantio direto, convencional e "mulching", mudanças na biomassa microbiana do solo,

que decresceu para 57% no plantio direto, 52% no "mulching" e 36% no convencional quando comparados aos teores da biomassa do solo sob manejo anterior, pastagem.

Há numerosos estudos sobre o efeito que a localização dos resíduos, provocada por mudanças nas práticas de cultivo, tem na biomassa do solo. A deposição dos resíduos na superfície do solo aumenta a sua densidade microbiana do solo, quando comparado com a superfície do solo onde os resíduos foram incorporados na camada arada.

Vários pesquisadores, analisando o comportamento da biomassa microbiana em solos cultivados sob sistema de plantio convencional e direto com diversos tempos de implantação (4 à 16 anos), verificaram que a biomassa microbiana da camada superficial do solo (0 -5,0 cm) tem seus maiores valores para o plantio direto. Para as profundidades subsequentes (5,0-20,0 cm), os maiores valores são encontrados na camada arada do plantio convencional (CARTER e RENNIE, 1982; CARTER, 1986, GRANATSTEIN et al., 1987; FRANZLEUBBERS et al., 1994, KARLEN et al., 1994b; ALVARES et al., 1995).

KARLEN et al. (1994a), estudaram os efeitos químicos, físicos e biológicos de dez anos de deposição de resíduos de milho na superfície (0 -5 cm) do solo em tratamentos com adição normal de resíduos, remoção e duplicação de resíduos. Constatou-se uma relação direta entre a quantidade de resíduos e a densidade da biomassa, que, no tratamento com duplicação de resíduos foi o dobro do tratamento que recebeu o volume normal de resíduos e o triplo do tratamento com ausência destes. LANGDALE et al. (1984) mencionaram que, com o aumento na adição de resíduos na superfície do solo, a profundidade influenciada também aumenta.

A influência dos restos culturais na biomassa do solo em rotação de culturas, depende da quantidade de material vegetal deixado pela cultura anterior, como pode ser constatado no trabalho de GRANATSTEIN et al. (1987). Estes pesquisadores analisaram a biomassa microbiana de três solos após dez anos de plantio direto e convencional com três rotações de leguminosas e verificaram que a biomassa foi superior no solo onde a cultura amostrada foi precedida por uma cultura que deixou maior quantidade de resíduo.

ANDRADE et al. (1993) constataram que, após 17 anos de cultivo, as condições do solo na camada 0-15 cm sob plantio direto eram mais favoráveis aos microrganismos que sob plantio convencional, contabilizando uma biomassa microbiana 52% superior à encontrada sob plantio convencional para uma média de sete amostragens em 14 meses. Com estes dados colhidos do Brasil, evidenciam-se as diferenças em relação aos resultados obtidos previamente em outros países, onde

os incrementos na biomassa microbiana encontrados no plantio direto em relação ao convencional são de apenas 10-20% (WARDLE, 1994).

Vários pesquisadores, comparando o conteúdo de compostos orgânicos e a biomassa microbiana encontrada na superfície do solo sob plantio direto e convencional, creditaram os maiores valores encontrados sob plantio direto à concentração de raízes superficiais sob este sistema de plantio (BLEVINS, 1977; LYNCH e PANTING, 1980; DORAN, 1980b; CARTER, 1986 e DICK, 1983).

STALEY et al. (1988) relacionaram o tempo de implantação do sistema de plantio direto com as mudanças nas propriedades químicas e biológicas do solo. Para isso amostraram solos com zero, um, dois, quatro, sete, nove, 15 e 20 anos sob plantio direto e que anteriormente foram cultivados convencionalmente por 50 anos. O tratamento zero correspondeu às parcelas que permaneceram em plantio convencional. As amostragens foram realizadas em camadas de solo (0 -7,5; 7,5 -15 e 15-30 cm) para se verificar a estratificação da biomassa. Os resultados demonstraram que os tratamentos com pouco tempo de implantação de plantio direto (um até sete anos) continham 30-45% da sua biomassa microbiana na 3ª camada (15 -30 cm) enquanto nas parcelas com mais de nove anos de plantio direto decresceram para valores em torno de 22%.

O tempo necessário para constatar as diferenças observáveis na biomassa microbiana do solo parece estar relacionado com a localização geográfica, pois altas latitudes atrasam o aparecimento das diferenças (COCHRAN et al., 1989).

CARTER (1986) pesquisando a biomassa em solos sob clima úmido e semi árido, constatou que sob o clima semi árido, maior período de tempo foi necessário para desenvolver os gradientes de biomassa.

Respostas rápidas no incremento da biomassa através de práticas de deposição de resíduo tem sido relatadas por STALEY et al. (1988) que em Ohio -EUA encontraram um significativo enriquecimento na superfície do solo após um ano de plantio direto. Outros pesquisadores mencionaram que maior tempo é requerido antes que diferenças significativas ocorram. CARTER E RENNIE (1982), no Canadá, por exemplo, não encontraram diferenças na biomassa microbiana do solo entre plantio direto e convencional, após dois anos, mas sim após quatro anos. COCHRAN et al. (1989) não constataram diferenças nos níveis de biomassa microbiana do solo na camada 0 -10 cm após quatro anos de plantio direto e convencional, no Alasca.

No Brasil, CATELLAN e TORRES (dados não publicados e citados por HUNGRIA et al., 1994) encontraram alterações na biomassa microbiana em apenas

tres anos manejo do solo em plantio convencional com cruzador e plantio direto, encontrando sob plantio direto teores mais elevados de biomassa microbiana do solo.

## 2.4 - Influência do Manejo do Solo nos Teores de Amônio e Nitrato

No processo de mineralização da matéria orgânica o nitrogênio orgânico não disponível na forma de húmus, proteínas e ácidos nucleicos, passa a ser liberado na forma inorgânica (ALEXANDER, 1980). As principais formas de nitrogênio mineral são o amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), forma mais estável que sendo um cátion pode ser adsorvido pelos coloides minerais, e o nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) por sua vez um ânion, mais sujeito à lixiviação.

As práticas de preparo do solo alteram os processos da nitrificação e denitrificação do solo e dependem da interação de fatores químicos, físicos e biológicos, bem como de fatores climáticos.

A presença da palhada e maior concentração de raízes na superfície do solo parece promover o crescimento da população microbiana nas camadas superficiais do plantio direto produzindo assim, maiores teores de nitrogênio orgânico, (BLEVINS, 1977; DICK, 1983; SIDIRAS e PAVAN, 1986 e UNGER, 1991). O nitrogênio orgânico incorporado na biomassa microbiana torna-se menos disponível para mineralização e possível lixiviação (KARLEN et al., 1994b).

CARTER e RENNIE (1984) estudaram os efeitos do plantio direto e convencional nas propriedades químicas do solo sob cultivo a 2, 4, 12 e 16 anos, e observaram que, excetuando a área sob dois anos de plantio direto, o nitrogênio da biomassa microbiana foi significativamente maior na superfície do solo sob este tipo de cultivo. A maiores profundidades no entanto, ocorreu o inverso, quando no preparo convencional o nitrogênio da biomassa em valores maiores que os encontrados sob plantio direto, se distribuiu uniformemente na camada arada.

No plantio direto, tem-se pequena área de condições ótimas para a nitrificação enquanto no plantio convencional tem-se grande área de condições subótimas, embora geralmente a mineralização total seja menor sob plantio direto (DORAN 1980). Pesquisas anteriores tem sugerido que o plantio direto tem taxas de denitrificação maiores e de nitrificação menores que o plantio convencional (GROFMAN, 1985).

A mineralização-imobilização é o principal fator de controle da nitrificação; os baixos níveis de mineralização sob o plantio direto causam os baixos níveis de nitrificação.

Segundo DOMSCH (1985); THOMAS et al (1989) e UNGER (1991), em solos com resíduo ocorreu maior imobilização do nitrogênio na biomassa microbiana, devido ao maior consumo do nitrato pelos microrganismos resultando portanto em menores teores de  $\text{NO}_3$ . Por outro lado, a mineralização no solo sob plantio convencional é promovida pelo revolvimento do solo, causando melhores condições de oxidação e quebra dos agregados e expondo substratos menos acessíveis ao metabolismo microbiano (STINER et al., 1983; DOWNDELL et al., 1983).

COCHRAN et al. (1980) e RICE e SMITH (1983) consideram que N mineralizado no resíduo superficial é imobilizado, não sendo sujeito à lixiviação, enquanto o N mineralizado do resíduo incorporado não é prontamente mineralizado, sendo submetido às perdas por lixiviação. ELLIOTT et al. (1986)<sup>11</sup> citados por SMITH et al. (1992) constataram que o nitrato mineralizado em solos arados, foi mais sujeito a lixiviação que sob plantio direto.

Os efeitos do cultivo na nitrificação, dependem das condições de umidade e temperatura do solo. DOWNDELL et al. (1983), encontraram baixos níveis de  $\text{NO}_3$  em solos sob plantio direto, comparados ao plantio convencional e sugeriram que a nitrificação foi reduzida pelo excesso de umidade. Em contraste, RICE e SMITH (1983) encontraram sob plantio direto níveis de nitrificação mais altos que sobre plantio convencional, devido às condições de umidade mais favoráveis ao processo .

A composição da comunidade microbiana com alta densidade de denitrificantes e menor densidade de nitrificantes pode determinar menores teores de nitrogênio nítrico do solo, relatados na camada superficial do plantio direto (DORAN, 1980b; DOWDELL et al., 1983; AULAKH et al., 1984). Isto ocorre devido às condições de oxigenação e temperatura mais favoráveis aos denitrificantes, que são anaeróbios e na sua maioria mais resistentes à baixas temperaturas.

A cobertura morta, ao mesmo tempo que aumenta a superfície de energia disponível aos microrganismos, reduz a evaporação, diminuindo a concentração de  $\text{O}_2$ , ocasionado assim, um ambiente propício à população anaeróbia de denitrificantes, nas camadas superficiais do plantio direto. BURFORD et al. (1981) e RICE e SMITH (1982) constataram, sob plantio direto, taxas de denitrificação e perdas gasosas de  $\text{N}_2\text{O}$ , duas a três vezes maiores que as encontradas sob plantio convencional. DORAN (1980b), atribuiu a ocorrência de menores teores de nitrogênio nítrico no plantio direto à alta densidade de denitrificadores, encontrada nas camadas superficiais do solo.

---

<sup>11</sup>ELLIOTT, L.F.; PAPENDICK, R.I. Crop residue management for improved soil productivity. *Biol. Agric. Hort.*. 3: 519-323, 1983.

A adubação nitrogenada pode aumentar a nitrificação na superfície do solo sob plantio direto, por aumentar a quantidade de substrato disponível, mas as taxas de denitrificação também aumentam, como demonstram os experimentos de RICE e SMITH (1983) e AULAKH et al. (1984) e onde a adição de adubação nitrogenada à palhada duplicou a perda de  $N_2O$ .

RICE e SMITH (1983) examinando as taxas de nitrificação a diversas profundidades (0 -5; 5 -15 e 15 -30 cm) em solos com 13 anos de plantio direto e convencional, constataram teores de  $NH_4^+$  concentrados na superfície do solo sob plantio direto. Segundo os pesquisadores, isto seria resultado das propícias condições de umidade e potencial de imobilização deste tipo de manejo.

STINNER et al. (1983) constataram, sob plantio direto, maiores teores de amônio do que nitrato, sendo a maior concentração destes na camada 0 -10 cm do solo. Foram relatados valores de 3,8 e 1,2 mg/kg de N na forma nítrica e 24,4 e 9,3 mg/kg na forma amoniacal, respectivamente nas profundidades 0-10 cm e 10-20 cm.

Os efeitos de 12 anos de plantio direto e convencional sobre várias propriedades químicas do solo, foram pesquisados por KARLEN et al. (1994b), que constataram que, embora não demonstrando diferenças estatísticas entre os tipos de cultivo, o conteúdo de  $NH_4^+$  na superfície do solo sob plantio direto foi superior à encontrada sob a superfície do plantio convencional. A 5,0 cm os teores se igualaram e na camada 5,0-25,0 cm, os teores de amônio foram superiores sob plantio convencional, tornando a se igualar abaixo disto. Por outro lado os níveis de nitrato foram significativamente diferentes, sendo na camada 0-2,5 cm do plantio direto duas vezes maiores que sob plantio convencional e na camada 7,5-15,0 cm ocorreu o inverso. Abaixo dos 15 cm, apesar dos níveis de  $NO_3^-$  encontrados sob plantio convencional serem substancialmente mais altos que sob plantio direto, os teores não foram estatisticamente diferentes.

Alguns pesquisadores como THOMAS et al. (1973; 1989); DORAN (1980b); CAMPBELL e BIEDERBECK (1982); DOWNDELL et al. (1983); BRODER et al. (1984) e UNGER (1991), comparando teores de nitrato no solo sob plantio direto e plantio convencional, encontraram os menores teores sob plantio direto, quando consideraram o teor total encontrado no perfil do solo e não dividido em camadas.

Tres mecanismos parecem contribuir para a grande perda de  $NO_3^-$  no solo sob plantio direto : (a) o movimento ascendente de sais+água é nulo, isto é, a evaporação da água do solo sob palhada é pequena comparada à evaporação do solo descoberto, (b) a superfície do solo é mais úmida sob o plantio direto, e os agregados úmidos tendem a não absorver água ou nitrato, por isso o principal fluxo de água e nitrato é

via macroporos, resultando em lixiviação destes (THOMAS et al., 1973 e MUZZILI, 1983) (c): a porosidade contínua do plantio direto, que altera o movimento de água no solo (DOWNDELL et al., 1983).

UNGER (1991) avaliou a distribuição de matéria orgânica, N total e  $\text{NO}_3^-$  em solo sob 10 anos de plantio direto com rotação trigo-sorgo-pousio nas profundidades 0,0 - 1,0; 1,0 - 2,0; 2,0 - 4,0; 4,0 - 6,0; 6,0 - 8,0; 8,0 - 10,0; 10,0 - 15,0 e 15,0 - 30,0 cm. A matéria orgânica, assim como o N total e o  $\text{NO}_3^-$  concentraram-se nos 2 cm superficiais do solo, a concentração de  $\text{NO}_3^-$  decresceu abaixo dos 8 cm.

Nos solos sob vários anos de plantio direto os teores de nitrato edáfico parecem se concentrar nas camadas superficiais do perfil, principalmente na camada 0 - 5 cm (TRACY et al., 1990; UNGER, 1991 e SÁ, 1993). Os altos níveis de nitrificação podem estar ligados aos altos níveis de umidade, C e N orgânicos e pH alcalino da camada adjacente à palhada ( ARHENS, 1976).

TRACY et al. (1990), monitorando os teores de nitrato em solos sob 16 anos de plantio direto e convencional a 0 - 2,5; 2,5-5 e 5-15 cm de profundidade, encontraram maiores teores de  $\text{NO}_3^-$  na camada 0,0 - 5,0 cm sob plantio direto, abaixo dos 5,0 cm o conteúdo foi similar para os dois tipos de manejo e após os 15,0 cm de profundidade não se constatou efeito do manejo sobre os teores de  $\text{NO}_3^-$ .

Pesquisando os teores de nitrogênio mineral em latossolos sob 10 anos de plantio direto e convencional na região de Castro-PR, SÁ (1993), observou que os conteúdos de N mineral na camada 0,0 - 7,0 cm do plantio direto, foram aproximadamente o triplo dos teores encontrados sob a mesma camada do plantio convencional, sendo a maior parte composta de  $\text{NO}_3^-$ . Nos dois tipos de manejo pesquisados o  $\text{NO}_3^-$  foi a forma de nitrogênio mais abundante na camada 0,0 - 25,0 cm do solo. Abaixo dos 30 cm de profundidade ocorreu uma inversão com os teores de amônio constituindo a maior proporção do N mineral no solo.

HOLTZ (1995) pesquisando a distribuição dos teores de carbono e nitrogênio sob plantio direto em Carambeí- PR, encontrou os maiores teores de  $\text{NH}_4^+$  na superfície do solo (0 - 2,5 cm), enquanto os teores de  $\text{NO}_3^-$  distribuíram-se na camada 0 - 10 cm do perfil.

KARLEN et al. (1994a) pesquisando a influência da palhada sob as propriedades químicas do solo, em experimento utilizando remoção, duplicação e quantidades normais de palha de milho no plantio direto, observaram teores significativamente superiores de  $\text{NO}_3^-$  na camada 0,0 - 7,5 cm dos tratamentos utilizando quantidades normais e duplicadas de palha sobre o solo; em maiores

profundidades (40 - 60 cm) os teores de nitrato entre os dois tipos de manejo de solo foram semelhantes.

CAMPBELL e ZETNER (1992), monitorando rotações de cultura durante 24 anos confirmaram os resultados de KARLEN et al. (1994a), quando observaram que o aumento das doses de palhada aplicada na superfície do solo, promoveu aumento na quantidade de N total na superfície do solo, e conseqüentemente aumentaram as concentrações de nitrogênio na forma amoniacal e nítrica.

Por outro lado, o aumento da superfície de contato entre solo e palhada, assim como melhores condições de oxidação promovidas pela aração do solo, propiciaram maior mineralização dos restos vegetais, disponibilizando o nitrogênio orgânico para as plantas ou lixiviação, o que causou diminuição nos teores de nitrogênio mineral nas camadas superficiais do solo, e concentração nas camadas mais profundas (COCHRAN et al., 1980 e ELLIOT et al., 1986 ).

Comparando a distribuição de nutrientes sob plantio mínimo, direto e convencional, GRANT e LAFOND (1994) relataram concentrações de  $\text{NO}_3$  superiores para as profundidades 15,0-60,0 cm do plantio convencional.

## 2.5- Flutuação Sazonal dos Parâmetros Medidos

### 2.5.1- População e Biomassa Microbiana

De acordo com GRAY e WILLIAMS (1971), "O desenredar dos efeitos dos fatores ambientais sobre os microrganismos é difícil em qualquer habitat. No solo o fator interação deve ser adicionado às dificuldades apresentadas pelos problemas de medição exata de fatores em microescala".

O número de microrganismos na superfície do solo nunca é estacionário, a população microbiana sofre alterações em sua densidade no período de dias e até de horas (THORNTON e TAYLOR, 1935<sup>12</sup> citado por CAMPBELL e BIEDERBECK, 1976), devido a seu breve ciclo de vida, alta taxa reprodutiva, recursos de reprodução vegetativa e formação de esporos. A extensão desta variação depende da coincidência de fatores hidrotérmicos, edáficos, antropogênicos e outros.

Não se pode generalizar a influência das estações climáticas sobre os microrganismos edáficos, pois os fatores constituintes do clima, ou seja, umidade e

---

<sup>12</sup>THORNTON, H.G.; TAYLOR, C.B. Short-period fluctuations in bacterial numbers in soil. *Trans. 3rd Int. Congr. Soil Sci. Oxford I* :175-179, 1935.

temperatura, obedecem a padrões distintos para cada zona climática do globo terrestre. Assim o verão quente e seco das regiões desérticas e quente e úmido das regiões tropicais determinarão diferentes flutuações de verão na comunidade microbiana.

Do mesmo modo, os microrganismos adaptados a cada região do globo reagem diversamente, tendo seus máximos e mínimos de temperatura particulares. RHANO et al., (1978) declararam que microrganismos de zonas polares tem seu metabolismo adaptado a baixas temperaturas.

O teor de umidade do solo está intimamente associado às suas condições de aeração. Geralmente, há acréscimo na densidade da maioria da microbiota, isto é, fungos, actinomicetos e bactérias aeróbias a partir de um mínimo de umidade, até um ponto entre 50 e 60% da capacidade de campo, mas com a inundação dos macroporos a atividade se restringe à bactérias anaeróbias facultativas e obrigatórias.

Vários pesquisadores tem usado a técnica de plaqueamento para relatarem a dinâmica populacional referente a mudanças nos fatores ambientais e a maioria concorda que o número de microrganismos é diretamente proporcional ao teor de umidade (SILVA FILHO, 1984; CATELLAN, 1989; HOWARD e HOWARD, 1993). A influência da temperatura na dinâmica populacional sob condições de campo é consideravelmente menos clara .

A umidade do solo afeta a microbiota de três maneiras a) com o aumento da umidade, diminui a aeração e o crescimento microbiano cessa temporariamente b) com o aumento da umidade, a água é mais facilmente absorvida pelas células microbianas e c) os ciclos de secagem e umedecimento tendem a aumentar a quantidade de substrato microbiano disponível (CAMPBELL e BIEDERBECK, 1976).

CAMPBELL e BIEDERBECK (1976), observaram os efeitos da umidade e temperatura do solo sobre actinomicetos e bactérias, em experimento à campo com parcelas cobertas e descobertas. Nas parcelas cobertas, a temperatura foi o fator determinante na variação do número de microrganismos. Já, nas parcelas descobertas, a interação umidade/temperatura definiu as mudanças na população microbiana, que foi diretamente proporcional ao teor de umidade proporcionado pelas chuvas.

Está demonstrado que a umidade é o fator vital para o desenvolvimento de fungos do solo, provocando um aumento linear na população fúngica até 30% de umidade e acima disto ocorrendo uma certa queda (ALEXANDER, 1980; CATELLAN, 1989).

Durante os 21 anos de amostragem, RHANO et al. (1978) observaram que a dinâmica do número de fungos variou de ano para ano, com máximos e mínimos ocorrendo em diferentes estações, mas a maioria dos números máximos ocorreu no inverno (25 em 45 amostragens) e raramente no verão (cinco em 54 amostragens), apesar das baixas temperaturas do inverno (média  $-8^{\circ}\text{C}$ ). Os autores destacaram que o fator promotor do desenvolvimento fúngico não foi a baixa temperatura, mas a alta umidade, que durante todo o período de investigação, predominou no inverno.

O efeito da umidade está intimamente relacionado ao teor de umidade inicial do solo, BIRCH (1960) relata pronunciados fluxos na atividade microbiana após pequenas chuvas em solo seco, causando o mesmo efeito que grandes chuvas. O orvalho noturno pode contribuir consideravelmente para o aumento da população nas camadas superiores, tendo um efeito de pequenas chuvas, principalmente em solo seco (CAMPBELL e BIEDERBECK, 1976; 1982).

A resistência dos microrganismos edáficos a variações extremas no teor de umidade é influenciada por sua atividade metabólica, que é determinada por seu tipo ou estado fisiológico. Os microrganismos estrategistas-R, células jovens, com alta atividade metabólica como os responsáveis pela nitrificação são mais suscetíveis ao decréscimo da umidade e quedas bruscas de temperatura que os microrganismos estrategistas-K, mais velhos, menos ativos e de lento crescimento. (BIEDERBECK e CAMPBELL, 1971; VAN GESTEL et al., 1993).

VAN GESTEL et al. (1993) analisaram a produção de  $\text{CO}_2$  em solos submetidos a secagem e reumedecimento e concluíram que a secagem seguida de reumedecimento, causa decréscimo na biomassa e aumento da mineralização do carbono, e o decréscimo da biomassa parece ser maior em comunidades com alta taxa respiratória específica ( $\text{CO}_2$ /unidade de biomassa-C).

HOWARD e HOWARD (1993) mediram a evolução de  $\text{CO}_2$  em oito tipos de solo incubados à diferentes teores de umidade e temperatura e constataram que em baixas temperaturas, a umidade do solo tem menos efeito na evolução de  $\text{CO}_2$  que em altas temperaturas. A relação entre  $\text{CO}_2$  e temperatura foi linear, crescendo até  $30^{\circ}\text{C}$  e a umidade foi linear até 60% da capacidade de campo, decrescendo a partir daí.

INSAN (1990) pesquisou em laboratório a influência da precipitação e evaporação edáfica na razão carbono microbiano/ carbono orgânico do solo. A taxa C-microbiano/C orgânico foi mínima quando a precipitação foi igual a evaporação, e aumentou quando a taxa precipitação/evaporação obteve um acréscimo. O autor considera que o aumento da umidade e temperatura favorecem a decomposição do carbono orgânico em detrimento do carbono microbiano. Em longos períodos de seca,

uma alta razão carbono microbiano/carbono orgânico pode ser mantida pois a matéria orgânica é metabolizada somente durante curtos períodos em que a população microbiana é ativada, diminuindo a velocidade de decomposição.

RHANO et al. (1978) monitorando a população microbiana durante 21 anos, nos quatro solos principais da Estônia, constataram uma maior frequência de bactérias amonificadoras e denitrificantes no inverno (10 -15 °C), bactérias nitrificantes na primavera e microrganismos celulolíticos no outono. O autor acredita que há coexistência de condições particularmente propícias de umidade para cada organismo durante as estações.

A temperatura do solo influencia principalmente a taxa de divisão e atividade metabólica dos microrganismos e com o decréscimo da temperatura, os processos bioquímicos tornam-se mais lentos. De acordo com a lei de Vant'Hoff, quando a temperatura cai, em média 10 °C, abaixo do nível ótimo, todos processos caem para a metade de sua velocidade usual (RHANO et al., 1978).

A inferência das variações de temperatura adquirem menor intensidade com o aumento da profundidade do solo, devido ao decréscimo de oxigênio e substrato orgânico abaixo da camada arável e a própria barreira física constituída pela camadas de solo, ar e água. A flutuação no número de organismos nas camadas mais profundas é similar à da superfície do solo, porém, menos pronunciada (CAMPBELL e BIEDERBECK, 1976; 1982 e CATELLAN, 1989).

BIEDERBECK e CAMPBELL (1971; 1973) e CAMPBELL e BIEDERBECK (1982) pesquisaram durante vários anos a ação da temperatura sobre a microflora edáfica e concluíram que a atividade dos microrganismos é estimulada por temperaturas altas (25-30°C) e constantes. Quedas bruscas de temperatura, provocaram efeitos biocidas na população quando as temperaturas passaram de altas a médias e médias a baixas, principalmente nas baixas temperaturas do inverno, afetando principalmente as células vegetativas de bactérias e fungos. O congelamento do solo afetou mais seriamente as bactérias nitrificantes autotróficas que os organismos heterotróficos, diminuindo a nitrificação.

Segundo CAMPBELL e BIEDERBECK (1982) uma das razões para o lento crescimento de população dos solos incubados em baixas temperaturas cíclicas deveu-se a certos grupos de microrganismos mais sensíveis à baixa temperatura, como bactérias Gram -, e não esporuláveis. Repentinos decréscimos da temperatura, principalmente abaixo da média da estação, constituem um dos maiores mecanismos de disponibilização da biomassa.

Dentre os microrganismos edáficos os actinomicetos surgem como o grupo menos afetado pelo teor umidade do solo. Desenvolvem-se preferencialmente sob baixos níveis de umidade, e requerem maior quantidade de altas temperaturas que os demais microrganismos. Sua flutuação, ao longo do tempo, não apresenta grandes variações (CAMPBELL e BIEDERBECK, 1976; 1982; CATELLAN, 1989; SILVA FILHO, 1984 e COLLINS et al., 1992) em razão da sua natureza autóctone e de decompositores secundário, que trabalham lentamente decompondo os resíduos mais resistentes (DOMERGUES e MANGENOT, 1970; HAINES, 1932<sup>13</sup>, citado por BIEDERBECK e CAMPBELL, 1973).

A competição pelo nicho também é afetada pela umidade; aparentemente o rápido desenvolvimento dos fungos do solo a 25-30% de umidade retarda a reprodução de bactérias, especialmente amonificantes. Com um aumento da umidade para 30-40%, as bactérias tornam a predominar, e em umidade acima de 40 %, os dois grupos se desenvolvem em igual proporção, com pequeno privilégio para as bactérias. Já em baixa umidade, os actinomicetos são favorecidos na competição com fungos e bactérias que diminuem sua população (RHANO et al., 1978; CAMPBELL e BIEDERBECK, 1982).

Outro fator relativo à flutuação da população microbiana é a disponibilidade de substrato orgânico, que é regida pelos estágios de crescimento do vegetal e fases de cultivo, ou seja, o aumento de exudatos devido à maior atividade rizosférica no período de florescimento e a desativação das raízes na senescência da planta (LYNCH e PANTING, 1980; SILVA FILHO, 1984), e a incorporação de resíduos e destruição da estrutura do solo durante o plantio (RHANO, 1978).

A flutuação da biomassa está ligada primeiramente à disponibilidade de substrato radicular (SILVA FILHO, 1984; PATRA et al., 1990; COLLINS et al., 1992; KAISER e HEINEMEYER, 1993); quando a biomassa permanece constante a maior parte do ano isso ocorre possivelmente por uma microflora autóctone que necessita de pequeno suprimento energético. Em contraste, o aumento na biomassa microbiana do solo em resposta à adição de substrato fresco deve-se a microrganismos zimógenos ou fermentativos que morrem rapidamente sem substrato energético (LYNCH e PANTING, 1982).

FRANZLUEBBERS et al. (1994), quantificando as mudanças na biomassa-C sob plantio direto e convencional na rotações trigo-pousio, trigo-soja e trigo-soja-sorgo, constataram aumento significativo da biomassa microbiana no período

---

<sup>13</sup>HAINES, R.B. The influence of temperature on the soil rate of growth of saprophytic actinomycetes. J. Exp. Biol. 9: 45-60. 1932.

compreendido entre plantio e o florescimento para todas sequências de cultura e tipos de manejo. Por ocasião da colheita, a biomassa-C decresceu para níveis semelhantes aos encontrados na semeadura, exceto para o tratamento trigo-pousio. Segundo os autores este padrão sazonal da biomassa-C foi devido à entrada de carbono dos produtos da rizosfera ao solo antes e pelo florescimento, durante as altas temperaturas da primavera.

LYNCH e PANTING (1980), pesquisando a biomassa microbiana na camada 0,0 -5,0 cm de vários solos, encontraram seus maiores valores durante o crescimento da cultura do trigo, na primavera.

MARTYNIUK e WAGNER (1978) pesquisando a comunidade microbiana na camada 0,0-10,0 cm de solos do Missouri-EUA verificaram menores índices populacionais após o cultivo de milho que após o trigo, atribuindo à remoção da palhada de milho e permanência de restos de colheita do trigo. Bactérias, actinomicetos e fungos apresentaram similares flutuações na população durante as estações. No outono, quente e seco, com umidade do solo a 5%, a população microbiana decresceu e um aumento significativo de alguns microrganismos ocorreu na primavera, especialmente após forte chuva, quando o número de fungos aumentou em resposta ao acréscimo de umidade.

O padrão estacional da biomassa reflete o clima da região, variando de acordo com o tipo de solo e sistema de cultivo. Geralmente os maiores valores são encontrados sob o clima ameno da primavera, que além de temperatura e umidade favoráveis representa o fornecimento de carboidratos via raízes das plantas em pleno desenvolvimento (LYNCH e PANTING, 1982; GRANASTEIN et al., 1987 e BUCHANAN e KING, 1992; LOVELL et al., 1995).

As características físicas do solo são fatores determinantes na sobrevivência da população de microrganismos durante inundação e dessecação do solo. VAN GESTEL (1992) observou que igual quantidade de biomassa desaparece em solos com textura e estabilidade de agregados contrastante e CATELLAN (1989) verificou que o excesso hídrico não afetou a população microbiana do solo após um período de alta pluviosidade, devido à boa drenagem do solo.

Poucos solos mantêm uma temperatura uniforme em suas camadas inferiores, as variações podem ser sazonais ou diárias. Devido ao alto calor específico da água, solos úmidos estão menos sujeitos à variações que solos secos (PAUL e CLARK, 1989).

A adsorção às partículas de argila e localização dos microrganismos na estrutura do solo, também influenciam sua sobrevivência durante a secagem do solo.

Segundo HATTORI (1973), os microrganismos que decompõem o substrato adicionado ao solo predominam na periferia dos microagregados, não estando envolvidos pela camada fina de argila.

### 2.5.2 - Teores de nitrato e amônio

O movimento da água dentro do perfil do solo influi nos teores de nitrogênio mineral do mesmo CAMPBELL e BIEDERBECK (1982), monitorando os teores de  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$  nas profundidades 0,0-2,5; 2,5 -15,0 e 15,0 -30,0 cm de um solo sob plantio convencional, observaram que os teores de nitrato na camada 15,0 -30,0 cm foram nitidamente constantes, mas nas camadas 0,0 -2,5 e 2,5 -15 cm responderam às variações da umidade. Observou-se, após chuvas de verão lixiviação do  $\text{NO}_3^-$  na camada 0 -2,5 cm e um concomitante acréscimo de  $\text{NO}_3^-$  na camada abaixo (2,5 -15 cm) e durante os ciclos de umedecimento e secagem o retorno do  $\text{NO}_3^-$  lixiviado pela evaporação, devido ao aumento da temperatura.

THOMAS et al. (1973) analisando o movimento do nitrato e a produtividade do milho sob plantio direto e convencional, observaram, após chuvas fortes, grandes perdas de  $\text{NO}_3^-$  por lixiviação no plantio direto, enquanto, sob plantio convencional houve redistribuição do nitrato em profundidade.

CAMPBELL e BIEDERBECK (1982) observaram aumento no fluxo de  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$  e no número de bactérias na camada 0,0 -2,5 cm após pequenas chuvas, que sucederam um período de seca. O aumento repentino na população microbiana e na mineralização deveu-se, segundo os autores, à disponibilidade de substrato proveniente da biomassa morta pelas condições de seca.

DOWNDELL et al. (1983) amostrando as camadas 0 -10; 10 -20; 20 -40; 40 -60 e 60 - 80 cm de solos cultivados, na Inglaterra, encontraram mais  $\text{NO}_3^-$  sob plantio convencional e  $\text{NH}_4^+$  sob plantio direto. Foram amostrados quatro solos diferentes durante um ano e os maiores teores de  $\text{NO}_3^-$  foram encontrados no outono-inverno, enquanto na primavera a quantidade de  $\text{NH}_4^+$  foi maior. O nitrato no perfil do solo aumentou no fim do outono, após o preparo do solo e permaneceu assim até o começo do inverno, decrescendo na primavera, independente do método de cultivo. Até a primavera, a quantidade total de N mineral ( $\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$ ) a 0-80 cm de profundidade foi maior sob plantio convencional.

Pesquisando as taxas de nitrificação sob varias profundidades do plantio direto (0,0 -5,0; 5,0 -13,0; 13,0 -21 cm), GROFMAN (1985) relatou que a atividade de

nitrificação demonstrou padrões relacionados a profundidade e estações sendo que a nitrificação foi significativamente mais alta na superfície do solo (0,0 -5 cm) sob plantio direto que sob plantio convencional, ocorrendo o inverso abaixo dos 5 cm. Os grandes picos de nitrificação ocorreram depois da colheita ou aração, enfatizando o efeito da adição de resíduos e fertilizantes. As maiores taxas de decomposição e mineralização na superfície do plantio direto aumentaram a disponibilidade de  $\text{NH}_4^+$ , que aliada aos maiores teores de umidade e pH, ocasionaram as maiores taxas de nitrificação no perfil do solo.

Quantidades de  $\text{NO}_3^-$  podem estar disponíveis no início do inverno, como resultado da decomposição e mineralização dos resíduos da colheita e da matéria orgânica do solo, ao mesmo tempo que o consumo pelas plantas e perdas por lixiviação e desnitrificação resultam em menores concentrações do mesmo no fim do inverno. DOWNDELL et al. (1983), monitorando os teores de  $\text{NO}_3^-$  em várias profundidades do solo sob plantio direto e convencional, e HOLTZ (1995), pesquisando a reciclagem do nitrogênio da palhada em plantio direto, constataram maiores concentrações de  $\text{NO}_3^-$  na solução do solo, no fim de outono e começo de inverno.

### 3 - MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa foi realizada com a colaboração do Campo Demonstrativo e Experimental da Cooperativa Agropecuária Batavo - Unidade Carambeí, que gentilmente cedeu o experimento "Ensaio comparativo entre sistemas de plantio", do qual utilizaram-se as parcelas Plantio Direto e Plantio Convencional.

#### 3.1 - LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL.

O Campo Demonstrativo e Experimental situa-se no município de Carambeí-PR, à 25'20" sul e 50'20" oeste. O clima da região, segundo Koeppen (EMBRAPA, 1984), é do tipo Cfb sempre úmido, clima quente temperado, mês mais quente <22° C, 11 meses com temperatura >10°C e cinco geadas noturnas por ano. O solo foi classificado pela EMBRAPA (1984) como Latossolo Vermelho-escuro álico, A proeminente, textura argilosa, fase campo subtropical e relevo suave ondulado, com declividade média de 6% no terço superior.

O experimento "Ensaio comparativo entre sistemas de plantio" iniciado no ano de 1988, é composto por quatro tratamentos principais: Plantio convencional, Plantio direto, Plantio direto "plus" (uma escarificação à cada 6 anos) e Plantio mínimo. Denominado pelo Campo Demonstrativo de Gleba 5A o experimento é composto de parcelas de 8,0 x 12,0 m com 3 repetições, e tem como objetivos, identificar as diferenças químicas, físicas e biológicas entre os sistemas de manejo, bem o como custo de produção e produtividade do mesmos.

Na instalação do experimento, realizou-se a calagem com 4,4 t/ha de calcário elevando a saturação de bases. A adubação nitrogenada consistiu-se de 350 kg/ha de NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> aplicado em cobertura na cultura da soja, no ano de 1988.

Após correção e adubação nitrogenada foi adotada no inverno de 1988 a rotação de culturas composta de culturas de inverno e verão apresentada na TABELA 1.

**TABELA 1** - Sistema de rotação da Gleba 5A

<b>ANO</b>	<b>INVERNO</b>	<b>VERÃO</b>
<b>1988</b>	aveia	soja
<b>1989</b>	trigo	soja
<b>1990</b>	tremoço	milho
<b>1991</b>	aveia branca	soja
<b>1992</b>	trigo	soja
<b>1993</b>	ervilhaca	milho
<b>1994</b>	aveia preta	soja

### 3.2- AMOSTRAGENS

Foram feitas 12 amostragens mensais, especificamente nas datas apresentadas na Tabela 2, com início em junho de 1994, após o plantio da aveia preta (*Avena strigosa*), e com final em maio de 1995, após a colheita da cultura de soja (*Glycine max* cultivar. Br-16). O solo foi coletado à cinco profundidades: 0-2,5; 2,5-5,0; 5,0-10,0; 10,0-20,0 e 20,0-30,0 cm, nos tratamentos Plantio direto e Plantio convencional, compondo os 10 tratamentos analisados neste trabalho (5 profundidades x 2 tipos de plantio).

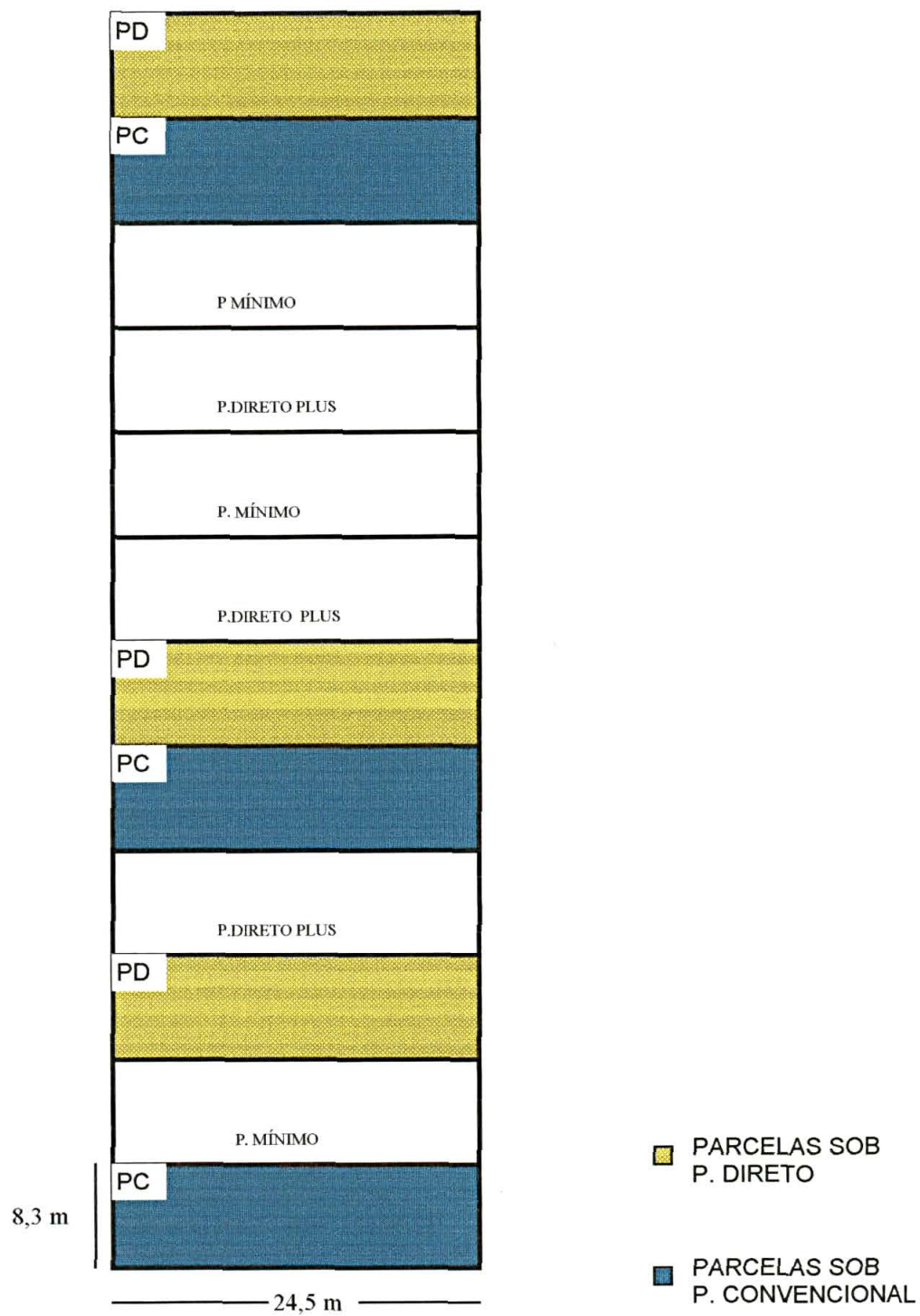
Coletaram-se 20 a 30 sub-amostras por parcela, nas 5 profundidades, para as 3 repetições dos 2 tratamentos, que foram reunidas em 10 amostras compostas. As amostras foram coletadas com auxílio do trado calador (2,0 cm de diâmetro e 30 cm de comprimento), ao acaso, cobrindo toda a parcela e evitando a bordadura. Para o tratamento plantio direto, removeu-se a palhada antes de se inserir o trado. Após tradagem, as amostras ainda no trado foram seccionadas com faca e régua às suas respectivas profundidades e transferidas para baldes plásticos, onde foram acondicionadas em sacos de polietileno, identificadas e transportadas sob refrigeração ao Laboratório de Biologia do Solo da UFPR. No laboratório, as amostras foram homogeneizadas e tamizadas em peneira de malha 2mm. Retirou-se uma porção de 10 a 15g para a determinação do teor de umidade, 10g (peso úmido), para a determinação de nitrato e amônio, e 10g (peso úmido) para a avaliação da população de fungos, bactérias, actinomicetos e microrganismos solubilizadores de fosfato, o restante foi armazenado em refrigerador à 5° C, em potes de polietileno, de 500g.

No dia seguinte à amostragem, de cada tratamento (sistema de manejo de solo x profundidade do solo), foram retiradas duas porções de 100g (peso úmido) para a avaliação da respiração e biomassa microbiana, 10g (peso úmido) para a contagem de microrganismos nitrificantes e 10g para análise do pH. O solo remanescente foi secado em estufa a 60°C para as análises químicas.

**TABELA 2** - Calendário das amostragens e fases das culturas

<b>DATA</b>	<b>ATIVIDADE</b>	<b>FASE DA CULTURA</b>
04/05/94	Semeadura da aveia	-
01/06/94	1ª amostragem	Cresc. vegetativo
12/07/94	2ª amostragem	Cresc. vegetativo
12/08/94	3ª amostragem	Cresc./Pré-floração
14/09/94	4ª amostragem	Floração
14/10/94	5ª amostragem	Grão leitoso
11/11/94	Semeadura da soja	-
20/11/94	6ª amostragem	Cresc. vegetativo
10/12/94	7ª amostragem	Cresc. vegetativo
24/01/95	8ª amostragem	Floração
15/02/95	9ª amostragem	Enchimento de grãos
16/03/95	10ª amostragem	Enchimento de grãos
11/04/95	11ª amostragem	Maturação de grãos
20/04/95	Colheita da soja	-
16/05/95	12ª amostragem	Rebrota da Aveia

Observação: No sistema de plantio convencional a aveia preta foi picada formando a cobertura morta para o plantio da soja e no sistema de plantio convencional a aveia foi colhida.

**FIGURA 1.** Esquema de Campo. Ensaio comparativo entre sistemas de plantio.

### 3.3 - Estimativa da População Microbiana

#### 3.3.1- Método da Contagem de Placas de Petri

Para a estimativa da população de bactérias, fungos, actinomicetos e microrganismos solubilizadores de fosfato, utilizou-se o método de contagem em placas de Petri, com meio de cultura solidificado e três repetições por diluição.

Partiu-se de uma diluição decimal em série de 10g de solo (base úmida), adicionada a 90 ml de NaCl 0,8%, em frascos de 100 ml com três esferas de vidro (5 a 6 mm de diâmetro), agitados por 30' em agitador mecânico. Prosseguiu-se a diluição, transferindo-se 1 ml da solução para tubos de ensaio de 15 ml contendo 9 ml de NaCl 0,8% (JOHNSON e CURL, 1972).

Obtendo-se a diluição desejada, inoculou-se 0,1 ml da solução na superfície do meio de cultura e espalhou-se com alça de Drigalsky. As placas inoculadas foram incubadas em posição invertida, em estufa climatizada a 28°C.

Após período de incubação que variou para cada microrganismo, as colônias foram contadas e os resultados transformados na média de três repetições por diluição e corrigidos para número de unidades formadoras de colônia por grama de solo seco.

Todos os meios de cultura empregados, assim como soluções foram esterilizados em autoclave a 120° C, por 20 minutos e a vidraria e placas de Petri foram esterilizadas por 30 a 40 minutos. A composição detalhada dos meios de cultura e soluções encontra-se no ANEXO.

**Actinomicetos:** Para a contagem de actinomicetos, utilizaram-se as diluições  $10^4$  e  $10^5$  e o meio de cultura amido-caseína-agar, a contagem de colônias efetuada após seis a sete dias de incubação.

**Bactérias:** Para a contagem, empregaram-se as diluições  $10^4$  e  $10^5$  e o meio de cultura de Thornton e a contagem das colônias feita cinco a sete dias após incubação.

**Fungos:** O meio de cultura utilizado foi o de Martin e as diluições usadas  $10^2$  e  $10^3$ , sendo contabilizadas as colônias quatro a cinco dias após incubação.

**Solubilizadores de Fosfato:** Foram utilizadas as diluições  $10^3$  e  $10^4$  e o meio de cultura glicose- extrato de solo, com a utilização de 0,5g de extrato de levedura/l de

meio em substituição ao extrato de solo. No momento da distribuição do meio nas placas adicionaram-se 50 ml/l de  $K_2HPO_4$  10% e 100 ml/l de  $CaCl_2$  10% para a formação do precipitado de fosfato tricálcico. Entre o sétimo e oitavo dia de incubação foram contadas as colônias.

A identificação das colônias de solubilizadores nas placas de Petri foi feita através do halo claro em volta das colônias, referente à solubilização do fosfato.

### 3.3.2- Contagem de Bactérias Nitrificantes

As bactérias *Nitrosomonas* e *Nitrobacter* foram estimadas pela técnica NMP, descrita por ALEXANDER (1965), com cinco repetições até a diluição  $10^6$ . A partir da diluição de 10g de solo em 90 ml de NaCl 0,8%, prosseguiu-se transferindo 1 ml da solução original para tubos de ensaio com 9 ml de NaCl 0,8%, quando inoculou-se 1 ml da diluição desejada em tubos de ensaio contendo 3 ml de meio de cultura.

Para a avaliação de *Nitrosomonas*, utilizou-se o meio de cultura Amônio-Carbonato de Cálcio e para *Nitrobacter* o meio nitrito-carbonato de cálcio. A quantificação da densidade bactérias nitrificantes (tubos positivos) foi efetuada através da adição 3 gotas do reagente de Gries-Ilosvay), tubos inoculados. Os tubos positivos para *Nitrosomonas*, adquiriram cor vermelho púrpura após adição do reagente, enquanto que os tubos positivos para *Nitrobacter* permaneceram incolores. Os resultados foram transferidos para a Tabela de NMP para diluição decimal e 5 tubos por diluição, proposta por COCHRAN (ALEXANDER, 1965), e corrigidos para grama de solo seco.

### 3.4- Avaliação da Biomassa Microbiana

Na determinação da biomassa microbiana do solo empregou-se a metodologia proposta por JENKINSON e POWLSON (1976b), sendo que a evolução de  $CO_2$  foi a estimada pela técnica de STOTZKI (1965).

No dia seguinte à coleta do solo, retiraram-se duas porções (100g base úmida) de solo peneirado e armazenado em refrigerador a  $5^\circ C$ , para cada tratamento. A primeira porção voltou ao refrigerador e a segunda foi fumigada com clorofórmio livre de álcool, por 24 horas, em dessecador forrado com papel toalha umedecido e

ausência de luz. Após a fumigação, o vapor de clorofórmio foi totalmente extraído do solo, através de três sucções sucessivas de um minuto com bomba de vácuo.

As amostras fumigadas e não fumigadas foram então transferidas para vidros de conserva de 1 litro, composto de recipiente e tampa de vidro, borracha vedatória e presilha de ferro, com vedação hermética.

No interior do recipiente foram colocados, junto ao solo, dois Beckers de 25 ml, sendo um contendo 20 ml de NaOH 0,5 N e outro contendo 10 ml de água deionizada. Este procedimento foi repetido para os 10 tratamentos e para a prova em branco, sendo esta ausente de solo.

Quando o solo se encontrava muito seco, elevou-se sua umidade a aproximadamente 60% da capacidade de campo pela adição de água deionizada. As amostras fumigadas foram inoculadas com 1g de solo proveniente das amostras originais e homogeneizados. Os frascos foram então incubados em estufa climatizada a 25° C por 20 dias.

Aos dez dias de incubação procedeu-se a titulação do CO<sub>2</sub> liberado, quando tomaram-se 10 ml dos 20 ml de NaOH incubados; adicionou-se 1 ml de BaCl<sub>2</sub> 3N, 3 gotas de Fenolftaleína 1% e titulou-se com HCl 0,5 N padronizado. Efetuou-se a titulação em todos os tratamentos e na prova em branco. Após a leitura, os frascos foram reincubados com 20 ml de NaOH 0,5 N. Aos 20 dias repetiu-se a titulação para os tratamentos não fumigados e prova em branco.

Para o cálculo da respiração ou liberação do CO<sub>2</sub> do solo utilizaram-se as leituras da titulação das amostras não fumigadas aos dez e vinte dias de incubação e a fórmula (STOTZKY, 1965):

$$\text{mg C - CO}_2 = ( B - V ) . N . E \quad \text{onde,}$$

**mg C-CO<sub>2</sub>**= Miligramas de carbono provenientes do CO<sub>2</sub> liberado

**V** = Volume do ácido gasto na titulação da amostra

**B** = Volume do ácido gasto na titulação da prova em branco

**N** = Normalidade do ácido

**E** = Equivalente grama do carbono ( 6 )

Para o cálculo da biomassa microbiana, utilizaram-se os valores da respiração obtidos na titulação das amostras fumigadas aos 10 dias de incubação e não

fumigadas aos 20 dias de incubação e a fórmula proposta por JENKINSON e POWLSON (1976b):

$$B = (X - Y) / K \quad \text{onde,}$$

**B** = Biomassa microbiana em mg C/100g solo seco

**X** = C-CO<sub>2</sub> liberado pelo solo fumigado no período de 0-10 dias

**Y** = C-CO<sub>2</sub> liberado pelo solo não fumigado no período de 10-20 dias

**K** = 0,45 = fração da biomassa C mineralizada à CO<sub>2</sub>

### 3.5 - Avaliação da Amonificação e Nitrificação

Para a extração dos teores de nitrato e amônio das amostras, retiraram-se, logo após a homogeneização e peneiragem, 10g de solo (peso úmido) de cada tratamento, que foram adicionados a 90 ml de KCl 1N. A solução foi agitada por 30 minutos em agitador mecânico e após decantação, filtrada em papel filtro para análises e armazenada em freezer até sua destilação.

Na destilação utilizou-se a metodologia proposta por BREMER (1965) e o método óxido de magnésio - liga Devarda para nitrato e amônio, destilação em semi-micro Kjeldahl, onde 20 ml de extrato foram, inicialmente, destilados com 0,2g de óxido de magnésio e coletados aproximadamente, 35 ml de destilado, sobre 5 ml de solução indicadora de ácido bórico, para determinação de amônio. Para determinar-se o nitrato, adicionaram-se 0,2g de liga Devarda diretamente no destilador coletando-se, também, 35 ml do destilado sobre a solução indicadora.

Procedeu-se, também, à destilação da prova em branco, que consistiu de 20 ml de KCl 1 N e demais reagentes, em ausência de solo. Os destilados foram titulados com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,005 N e os resultados calculados pela fórmula: (TEDESCO, 1985).

$$\text{mg/kg de N} = (A - B) \cdot 70. /s.s \quad \text{onde,}$$

**mg/kg de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ou NO<sub>3</sub><sup>-</sup>** = nitrogênio presente na amostra na forma  
de amônio ou nitrato

**A** = volume do ácido gasto na titulação da amostra

**B** = volume do ácido gasto na titulação da prova em branco

**70** = mg de nitrogênio neutralizados por 1 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,005 N

**s.s** = solo seco (g)

### 3.6 - Umidade Atual

O teor de umidade das amostras foi determinado coletando-se logo após a peneiragem do solo, cerca de 10 a 20g que foram pesadas e transferidas a estufa a 105° C por 48 horas, até massa constante e calculado seguindo o método descrito por EMBRAPA (1979).

### 3.7 - Análises Físicas e Químicas do Solo

Para os 10 tratamentos (Profundidade x Sistema de plantio), foram analisados os seguintes elementos, (EMBRAPA, 1979 ).

a) pH CaCl<sub>2</sub> 0,01M.

b) cálcio, magnésio: teores de magnésio e cálcio trocáveis segundo o método complexométrico com titulação pelo EDTA.

c) alumínio: alumínio trocável pelo método volumétrico com titulação pelo NaOH.

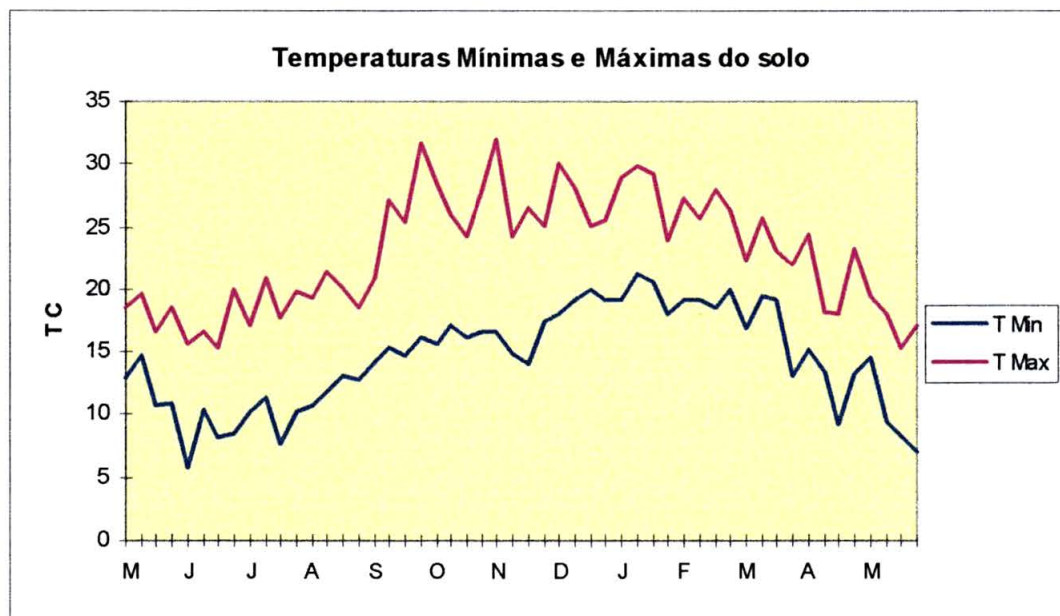
d) potássio: Na determinação do potássio assimilável empregou-se a solução extratora Mehlich e determinação em espectrofotômetro 630nm, segundo o método fotométrico.

e) fósforo: Os teores de fósforo extraível foram analisados pelo Método colorimétrico pelo ácido ascórbico.

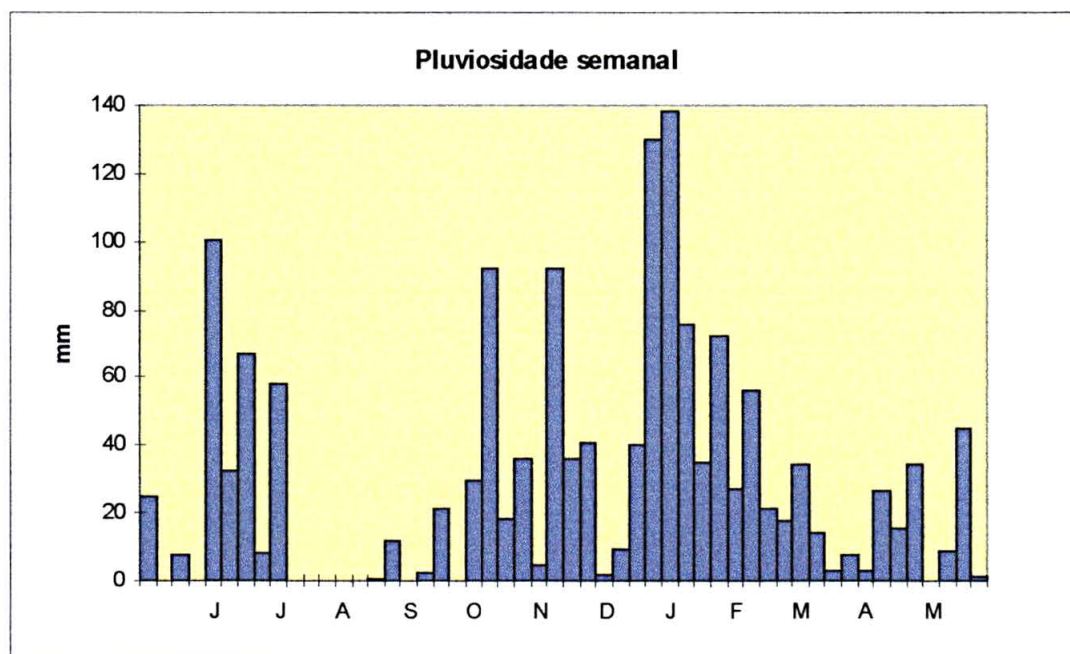
f) carbono: via úmida determinado pelo método Walkley- Black e teor de matéria orgânica multiplicando-se o teor de carbono por 1.72 .

g) Granulometria: efetuada através do Método do Densímetro, com dispersão total.

### 3.8 - Dados Meteorológicos



**Figura 2.** Temperaturas máximas e mínimas em intervalos semanais do período de maio de 1994 a maio de 1995. Fonte: Estação Meteorológica do Campo Demonstrativo e Experimental Batavo -Carambeí-PR.



**Figura 3 .**Pluviosidade semanal no período de maio de 1994 a maio de 1995. Fonte: Estação Meteorológica do Campo Demonstrativo e Experimental Batavo - Carambeí-PR.

Foram utilizados os dados meteorológicos fornecidos pelo Campo Demonstrativo e Experimental da Cooperativa Agro-Pecuária Batavo - Unidade Carambeí, coletados em estação meteorológica, no próprio campo experimental. Foram fornecidas as temperaturas máximas e mínimas diárias para os horários de 7:30, 13:00 e 17:00 horas, temperatura do solo à 15 cm de profundidade e umidade do ar, para os três horários citados, pluviosidade diária e mensal e ocorrência de neblina e geadas.

## 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1- Características físicas e químicas do solo.

Efetuuou-se a análise do solo em amostras de solo proveniente de subamostras (12) coletadas mensalmente nos dez tratamentos (profundidade de solo x sistema de manejo). Os resultados desta análise encontram-se no TABELA 3.

**TABELA 3-** Características físicas e químicas do solo

Camada	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Al <sup>+++</sup>	P	C	M.O	pH	Arg.	Sil t.	Ar.
	centimole.dm <sup>3</sup>				mg/g	g/kg		CaCl	%		
<b>C1</b>	4.9	2.7	0.55	0.0	8.0	2.31	3.97	5.98	40.0	23.6	36.4
<b>C2</b>	5.3	2.6	0.42	0.0	8.0	2.34	4.02	5.98	40.0	22.2	37.8
<b>C3</b>	5.1	2.9	0.39	0.0	8.0	2.31	3.97	5.95	44.0	19.2	36.8
<b>C4</b>	5.2	2.8	0.35	0.0	8.0	2.29	3.93	5.87	46.0	18.0	36.0
<b>C5</b>	4.5	2.8	0.25	0.0	4.0	2.04	3.5	5.74	50.0	17.2	32.8
<b>D1</b>	7.3	3.4	0.87	0.0	29.0	3.07	5.28	6.44	38.0	28.4	33.6
<b>D2</b>	6.2	3.3	0.62	0.0	26.0	2.40	4.28	6.16	46.0	16.6	37.4
<b>D3</b>	5.3	2.3	0.49	0.0	20.0	2.02	3.47	5.76	47.6	15.6	36.8
<b>D4</b>	5.6	1.6	0.34	0.0	11.0	1.89	3.25	5.62	48.0	15.2	36.8
<b>D5</b>	4.4	1.4	0.26	0.0	5.0	1.8	3.09	5.48	50.0	13.4	36.6

**LEGENDA :** C= Plantio convencional, D= Plantio direto . 1= profundidade 0,0-2,5 cm, 2= 2,5-5,0 cm 3= 5,0- 10,0 cm 4= 10,0 -20,0; 5= 20,0- 30,0 cm.

A distribuição dos nutrientes sob os dois sistemas de preparo pesquisados, reflete a mobilização do solo pois, a localização dos corretivos e adubos altera a distribuição e acúmulo dos mesmos no perfil do solo. Sob plantio convencional os teores foram diluídos na camada arada, proporcionando uma distribuição homogênea, enquanto sob plantio direto, a ausência de aração e incorporação de resíduos resultou em concentração dos nutrientes na camada 0,0- 5,0 cm. Os teores de alguns nutrientes como cálcio, potássio e principalmente fósforo foram notadamente maiores sob plantio direto, até nas camadas mais profundas do solo.

As alterações de temperatura e umidade provocadas pela deposição ou incorporação dos resíduos vegetais interferem na mineralização da matéria orgânica,

solubilização e liberação dos nutrientes, contribuindo para uma distribuição homogênea ou em gradientes.

Os níveis de Carbono orgânico e conseqüentemente de matéria orgânica na camada 0,0- 5,0 cm dos solos foram superiores sob plantio direto, e na camada 5,0- 30,0 cm foram maiores sob plantio convencional. Estes resultados concordam com as pesquisas de BLEVINS et al. (1977); MUZZILI (1983); DICK (1983); LANGDALE et al. (1984) e KARLEN et al. (1994a), que relatam maiores teores de carbono na superfície do solo sob plantio direto, com um rápido declínio em profundidade, e uma distribuição homogênea na camada arada do plantio convencional.

A concentração superficial de carbono orgânico sob plantio direto pode ser explicada pela deposição dos restos vegetais na superfície do solo, aliada ao não revolvimento deste, o que ocasiona a formação de uma zona com lenta decomposição e conseqüente acúmulo de matéria orgânica não mineralizada (DOUGLAS et al., 1980; BUCHANAN e KING, 1992; KARLEN et al., 1994a). Já sob plantio convencional, a distribuição dos teores de carbono orgânico e matéria orgânica, no perfil do solo é homogênea, indicando a rápida mineralização dos restos vegetais incorporados ao solo através da aração (BLEVINS et al., 1977; MUZZILI, 1983).

Não foram detectados teores de alumínio trocável para o solo sob os dois sistemas de manejo pesquisados, o que se deve à calagem de correção efetuada na instalação das parcelas experimentais.

Os níveis de cálcio encontrados no solo sob plantio direto foram superiores aos encontrados sob plantio convencional, para todas as camadas amostradas, principalmente na profundidade 0,0- 2,5 cm onde os teores foram 49% superiores e coincidem com os resultados obtidos por DICK (1983) e MUZZILI (1985). Estes resultados estão associados à ausência de incorporação dos corretivos e à menor lixiviação deste elemento no plantio direto.

Para o magnésio os teores sob plantio direto foram superiores aos teores sob plantio convencional somente na camada 0,0- 5,0 cm. Abaixo disto ocorreu o inverso concordando com os dados de DICK (1983), para cinco anos de rotação trigo-soja e três anos de rotação milho-arroz sob plantio direto e convencional, assim como com as pesquisas de MUZZILI (1985) no norte do Paraná.

Os teores de potássio trocável presentes na camada 0,0- 10,0 cm foram superiores sob plantio direto e abaixo disto os teores foram semelhantes para os dois sistemas de plantio. A concentração do Pótassio nas camadas superficiais do plantio direto está de acordo com os resultados obtidos por BLEVINS et al. (1977); THOMAS

et al. (1981)<sup>14</sup> citado por MUZZILI, (1983) MUZZILI (1985), e deve-se à não incorporação do fertilizante.

O conteúdo de fósforo foi sensivelmente mais alto sob plantio direto sobretudo na profundidade 0,0-10,0 cm. BLEVINS et al. (1977); THOMAS et al. (1981)<sup>14</sup> citado por MUZZILI, (1983) e DICK (1983) também observaram acumulação dos teores de Fósforo na camada superficial de solos sob plantio direto, comparados ao plantio convencional.

Segundo UNGER et al.(1991), os altos teores de fósforo sob plantio direto devem-se à pouca mobilidade deste elemento que ocasiona sua concentração próximo ao sitio superficial de mineralização da palhada e aos altos níveis de matéria orgânica da superfície do plantio direto que aumentam a disponibilidade do elemento por reduzir sua adsorção aos colóides do solo (WEIL et al., 1988).

Sob plantio convencional constatou-se distribuição homogênea dos teores de fósforo; este comportamento se deve à incorporação do adubo através da aração, que aumenta a superfície de contato e a distribuição deste elemento pouco móvel (MUZZILI, 1985).

O pH na superfície 0,0- 5,0 cm foi maior sob plantio direto e nas camadas mais profundas ocorreu o inverso, sendo maior para o plantio convencional. Estes resultados concordam com TRIPLET e VAN DOREN, (1969); SHEAR e MOSCHLER, (1973) e BLEVINS et al., (1977, 1984); e devem-se à concentração de matéria orgânica na superfície do plantio direto e a profundidade da calagem, que sob plantio direto se restringe aos 5 cm e sob plantio convencional chega até os 20 cm.

O teor de umidade do solo sob os dois tipos de sistema diferiu para todas as camadas do solo com maiores diferenças entre os teores para a camada 0,0- 10,0 cm (Tabela 4) sendo a média das 12 amostragens, superior para o plantio direto, concordando assim, com VIEIRA e MUZZILI (1984); KARLEN et al. (1994a) e FRANZLUEBBERS et al. (1995).

**TABELA 4 . Teores de Umidade do solo (%)**

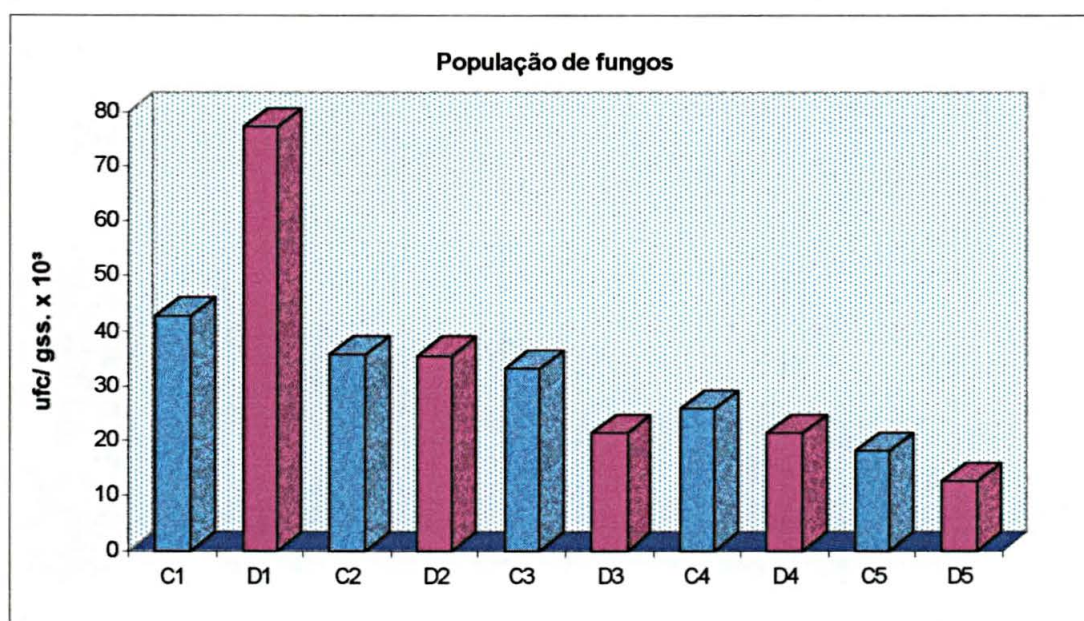
Profundidade (cm)	Plantio Direto	Plantio Convencional
0,0 - 2,5	26,95	20,69
2,5 -5,0	26,40	22,26
5,0 -10,0	24,55	23,94
10,0 - 20,0	24,55	24,22
20,0 - 30,0	26,29	25,32

<sup>14</sup>THOMAS, G.H.; WELLS, K.L.; MURDOCK, L. Fertilization and liming. In: PHILIPS, R.E.; THOMAS, C.W.; BLEVINS, L. No-tillage research: Research Reports and Reviews. Univ. Kentucky, College of Agriculture and Agric. Exp. Sta., Lexington, 1981 p. 43-54.

## 4.2- Influência do manejo do solo sobre a população microbiana

### 4.2.1- Fungos, bactérias e actinomicetos.

O número de unidades formadoras de colônia por grama de solo seco (gss) para a população de fungos situou-se entre 16,1 e 77,2 x 10<sup>3</sup> ufc/gss, sendo que, as maiores e menores densidades foram encontradas, respectivamente, na superfície (0,0- 2,5 cm) e na camada 20,0-30,0 cm sob plantio direto (Figura 4).



**Figura 4.** População fúngica em plantio direto (D) e convencional (C). Média de 12 amostragens C= Plantio convencional, D= Plantio direto . 1= profundidade 0,0-2,5 cm, 2= 2,5- 5,0 cm 3= 5,0- 10,0 cm 4= 10,0 -20,0; 5= 20,0- 30,0 cm.

O número de fungos no solo, sob os dois sistemas, diminuiu com o aumento da profundidade, concordando com os trabalhos de NORSTAD e McCALLA (1969) e CATELLAN (1989). No plantio direto, observou-se uma queda acentuada no número de colônias entre a 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> camadas amostradas (0,0- 2,5 e 2,5- 5,0 cm), enquanto, sob plantio convencional a distribuição da população em profundidade foi mais homogênea.

A população fúngica foi grandemente afetada pelo manejo do solo na camada 0,0- 2,5 cm, onde se nota que foi beneficiada pelo plantio direto, concordando com os trabalhos de HOLLAND e COLEMAN (1987), BEARE et al. (1992) e HARRIS (1995) que relatam que a palhada presente na superfície propiciou um aumento na densidade de fungos, em relação à mesma camada sob plantio convencional. Também DORAN (1980a) observou, em vários locais com diferentes climas 57% a mais de crescimento

fúngico na profundidade 0,0 -7,5 cm do plantio direto, comparado ao plantio convencional.

A conexão palhada-solo privilegia os fungos por fornecer condições ideais de umidade e oxigenação, possibilitando o crescimento das hifas que se estendem formando pontes entre o solo e a camada de resíduos, permitindo melhor aproveitamento dos nutrientes (GRIFFIN, 1981; KASSIM et al., 1981; HENDRIX et al., 1986).

Sob plantio convencional, as maiores densidades encontraram-se na camada 2,5-10 cm e na camada 10,0-30,0 cm, os números encontrados foram superiores aos encontrados sob plantio direto, evidenciando os benefícios da aração à população fúngica das camadas mais profundas, através da incorporação de substrato e aeração do solo.

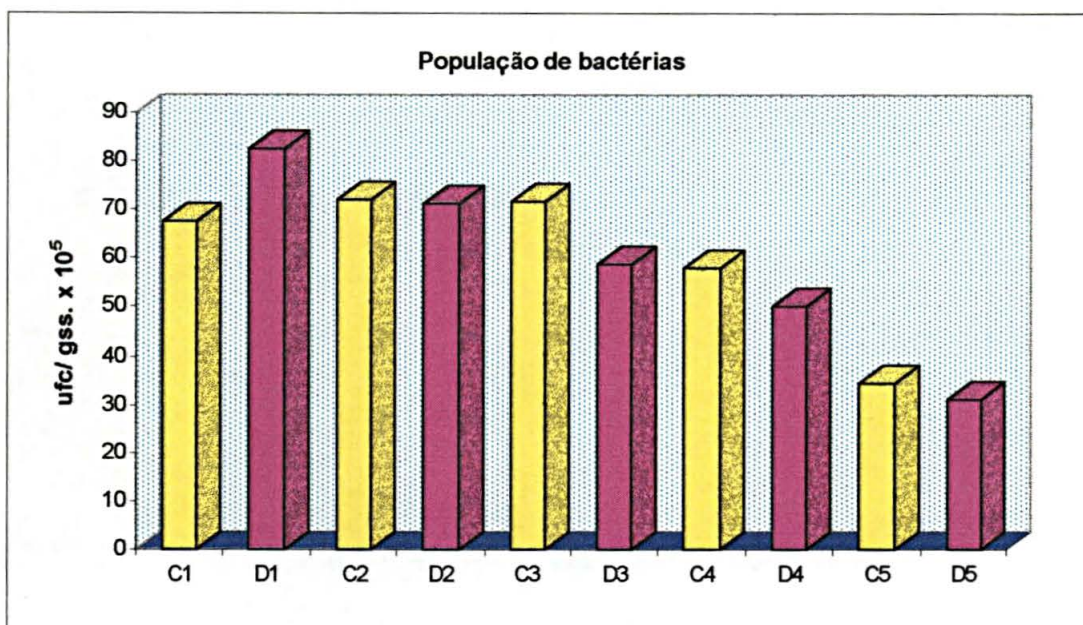
HOLLAND e COLEMAN (1987) observaram a concentração da biomassa fúngica na superfície do solo (0 -2.5 cm) e constataram sua diminuição à medida que se distanciava da cobertura morta, sugerindo que os fungos podem ser importantes decompositores na palhada superficial.

Observando-se a distribuição da população fúngica, pode-se constatar claramente sua relação com os teores de carbono apresentados na Tabela 3, onde as maiores densidades ocorrem nas camadas de maior teor de matéria orgânica, ou seja a camada 0,0- 5,0 cm sob plantio direto e a camada 0,0 - 2,5 cm sob plantio convencional. ALEXANDER (1980) e GRIFFIN (1981) mencionam a relação direta entre a distribuição de fungos e carbono no solo e sua resposta positiva à adição de restos vegetais.

Os teores de umidade superiores para a primeira e segunda camada do plantio direto (Tabela 4), combinados com a maior aeração da superfície deste sistema contribuíram para um ambiente altamente favorável para a população fúngica (ALEXANDER, 1980; LINN e DORAN, 1984).

A população de bactérias situou-se entre  $85,8 \times 10^5$  e  $31,3 \times 10^5$  ufc/gss. A maior densidade foi constatada na superfície do solo sob plantio direto na camada 0,0 -2,5 cm, e a menor média encontrou-se na camada 20,0 -30,0 cm sob o mesmo sistema.

Sob plantio convencional a maior concentração ocorreu até a camada 5,0 -10,0 cm apresentando densidades muito semelhantes, caracterizando uma distribuição homogênea e abaixo desta camada a densidade bacteriana foi superior à encontrada sob plantio direto. (Figura 5).



**Figura 5.** População bacteriana em em plantio direto (D) e convencional (C) em 5 profundidades. Média de 12 amostragens. Símbolos como na Figura 4.

NORSTAD e McCALLA (1969); RICE e SMITH (1983a) e LINN E DORAN (1984), comparando a população bacteriana em solos sob plantio direto e convencional, encontraram as maiores populações sob plantio direto na superfície do solo e sob plantio convencional nas camadas mais profundas (7,5-15 cm).

A camada de cobertura morta proporciona substrato e reduz as flutuações térmicas e hídricas na superfície do solo, beneficiando as bactérias conhecidamente mais dependente da umidade que os fungos e actinomicetos, o que seria confirmado pelo maior teor de umidade encontrado neste trabalho (Tabela 4).

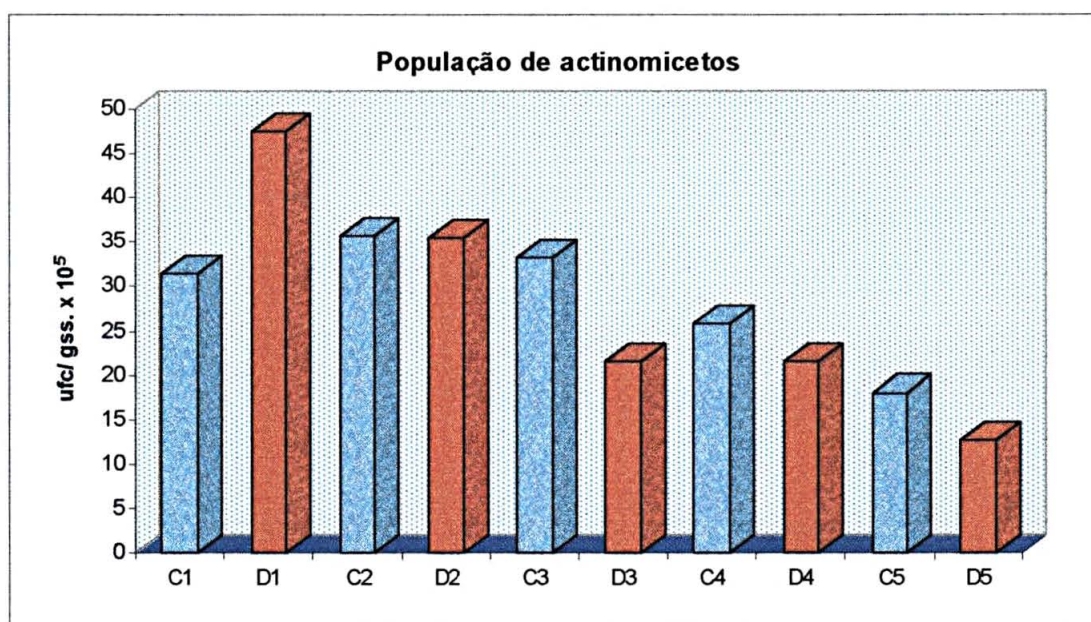
Os altos teores de nitrato e amônio (Figuras 11 e 12) encontrados na superfície do solo sob plantio direto contribuíram para alta densidade bacteriana, através da diminuição da relação C/N local. DONMERCUES e MANGENOT (1970) consideram que as bactérias no processo de decomposição são mais exigentes em nitrogênio que os demais grupos de microrganismos, sendo mais populosas em resíduos de baixa C/N (BRODER e WAGNER, 1988). Também os níveis de pH das camadas superficiais do solo sob plantio direto foram mais elevados (Tabela 3) que sob a superfície do plantio convencional, favorecendo a população bacteriana, que prefere pH alcalino (ALEXANDER, 1980).

DORAN (1980b) observou uma população bacteriana na superfície do solo sob plantio direto (0-7,5 cm) 1,35 vezes mais alta que na respectiva camada do plantio convencional. Nas camadas mais profundas (7,5-15 cm), ocorreu o inverso, quando as maiores densidades bacterianas se encontraram sob plantio convencional. Segundo HENDRIX et al. (1983) e BLEVINS et al. (1984), a íntima associação resíduo-solo

favorecem a comunidade bacteriana dos estratos mais profundos do plantio convencional.

Proporcionalmente à distribuição de fungos, a população de bactérias nas camadas mais profundas do plantio convencional foi maior que sob plantio direto, confirmando os trabalhos de COOKE e RAYNER (1984) e BEARE et al. (1992) que concluíram que a comunidade bacteriana das camadas mais profundas do perfil é mais numerosa e importante na decomposição da palhada enterrada do plantio convencional.

O comportamento da população de actinomicetos sob o sistema de plantio convencional assemelhou-se ao comportamento apresentado pela população de bactérias, e sob plantio direto à distribuição da população de fungos ( Figura 6).



**Figura 6.** População de actinomicetos em cada tratamento. Média de 12 amostragens. Símbolos como na Figura 4.

Entre o grupo dos actinomicetos, a população distribuiu-se no perfil do solo com médias de 12 amostragens situando-se entre  $47,61 \times 10^5$  e  $12,63 \times 10^5$  ufc/ gss, encontradas, respectivamente, na camada superficial (0,0- 2,5 cm) e mais profunda (20,0- 30,0 cm) do plantio direto. No solo sob plantio direto a população de actinomicetos concentrou-se nos 5,0 cm superficiais do solo, sendo que a diferença entre a densidade de microrganismos na superfície e camadas mais profundas semelhante à encontrada para fungos.

Com relação a distribuição dos microrganismos em profundidade sob plantio direto, deve-se mencionar que a média obtida para a camada 10,0-20,0 cm (D4= 21,45 ufc/gss) foi semelhante àquela constatada na camada acima desta 5,0- 10,0 cm (D3=

21,50 ufc/gss) Este comportamento é confirmado nos trabalhos de CAMPBELL e BIEDERBECK, (1976; 1982) onde os actinomicetos foram menos afetados pela profundidade que os outros grupos de microorganismos.

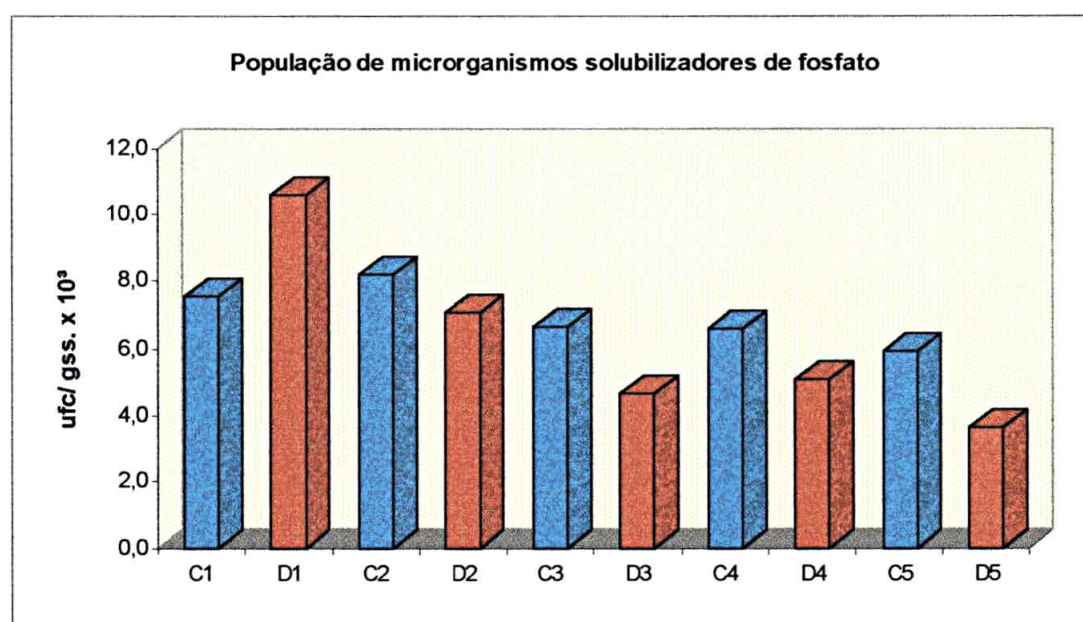
Ainda com referência aos trabalhos de CAMPBELL E BIEDERBECK (1986; 1982) e também CATELLAN (1989) o aumento da população de actinomicetos em relação a população de bactérias foi constatado somente para o plantio convencional.

Sob plantio convencional, a população de actinomicetos, concentrou-se nos 0,- 15 cm. A densidade encontrada em 2,5- 5,0 cm foi superior à encontrada nos 2,5 cm superficiais, por causa do pico populacional ocorrido no mes de maio, onde a densidade de microorganismos para esta camada foi o dobro da usual.

Os resultados encontrados para os actinomicetos confirmam os obtidos por por SILVA FILHO (1984) e HARRIS et al. (1995) que constataram o estímulo da palhada superficial aos actinomicetos, em contraposição ao maior número destes microorganismos encontrados nas camadas mais profundas do plantio convencional.

#### 4.2.2 - Microorganismos solubilizadores de fosfato e nitrificantes.

A população de microorganismos solubilizadores de fosfato situou-se entre  $3,6 \times 10^4$  e  $10,6 \times 10^4$  ufc/ gss ( Figura 7) densidade inferior às relatadas por SILVA FILHO (1984) e CATELLAN (1989).



**Figura 7.** População de microrganismos solubilizadores de fosfato Média de 12 amostragens em cada tratamento. Símbolos como na Figura 4.

A presente avaliação pode ter sido prejudicada pelo pouco tempo de incubação a que foram submetidas as placas de Petri (8 dias), pois a formação do halo claro em volta das colônias que caracteriza a solubilização poderia ainda não ter ocorrido para algumas colônias. Além disso prejudica microrganismos que não utilizam  $\text{CaPO}_4$  como fonte de fósforo e sim compostos de Fe-P ou Al-P ou outras fontes de carbono (KUCEY, 1983).

A distribuição dos microrganismos solubilizadores sob plantio convencional assemelhou-se à distribuição de bactérias e actinomicetos, sendo a maior densidade média encontrada na camada 2,5- 5,0 cm seguida pela camada 0,0-2,5 cm e camada superficial 5,0-10,0 cm. Este comportamento deve-se à maior aeração destas camadas e ao efeito da rizosfera que estimula a comunidade de solubilizadores de fosfato através de excreções (SPERBER, 1958; ROSA et al., 1982, e KUCEY, 1983).

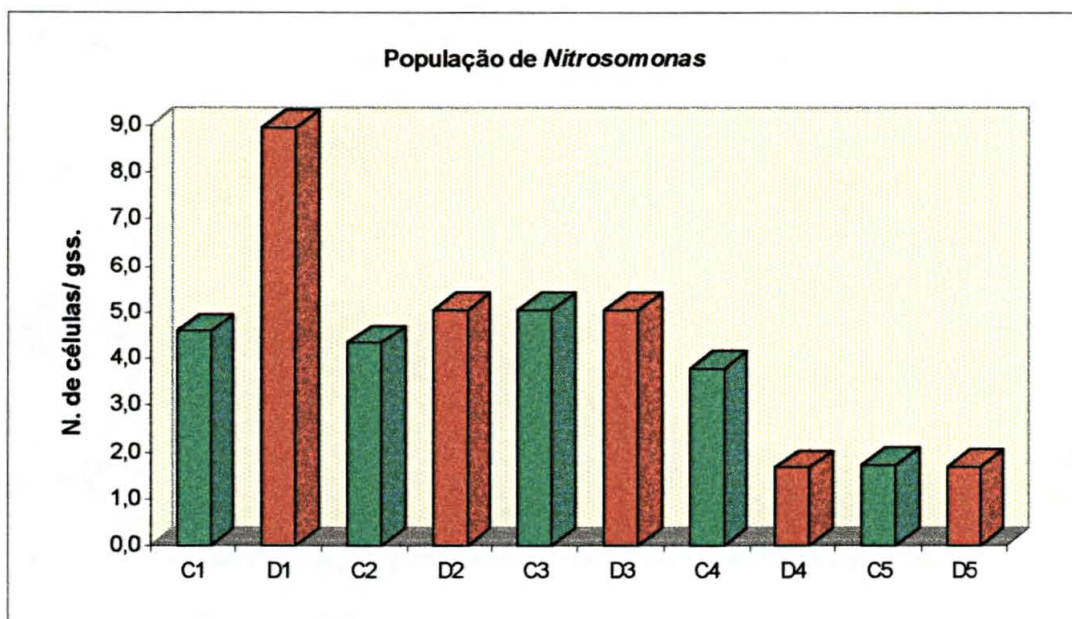
Sob sistema de plantio direto, o comportamento da população de microrganismos solubilizadores se comparou ao comportamento de todos os microrganismos já citados sob esse sistema, com a superfície do solo (0,0- 2,5 cm) apresentando a maior densidade e a camada mais profunda ( 20,0- 30,0cm) a menor. Constatou-se também marcante queda entre o números de microrganismos da camada superficial e a subjacente.

Considerando-se que a denominação “microrganismos solubilizadores de fosfato” se aplica à fungos, actinomicetos e bactérias pode-se ponderar que os fatores que favorecem a população, em geral, favorecem também os microrganismos solubilizadores. Assim a densidade de solubilizadores é condizente com os resultados encontrados para a população de fungos, actinomicetos e bactérias para os dois sistemas de preparo do solo.

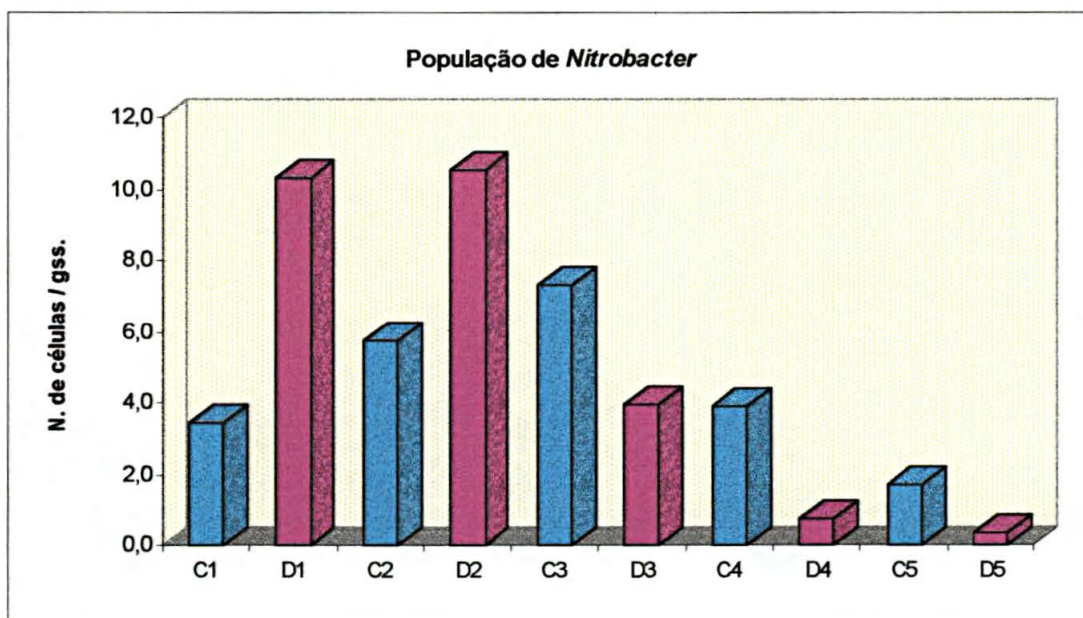
De acordo com os trabalhos de KUCEY (1983), VENKTESWARLU et al. (1984), e THOMAS (1985), que correlacionaram densidade de microrganismos solubilizadores com teor de matéria orgânica do solo, podemos verificar, através do TABELA 3, que os maiores números destes microrganismos neste trabalho também foram verificados para os dois tipos de manejo de solo, para as camadas com maior teor de matéria orgânica.

Os dois grupos de bactérias nitrificantes tiveram comportamento análogo ao observado para a classe de bactérias, sob os dois sistemas de preparo de solo. Ou seja sob plantio direto as maiores densidades foram constatadas nas camadas mais superficiais do solo. Para *Nitrosomonas* (Figura 8) a maior média foi encontrada na camada 0,0- 2,5 cm ( $8,94 \times 10^3$  ufc/gss) e para *Nitrobacter* (Figura 9) na camada 2,5-

5,0 cm ( $10,53 \times 10^3$ ) e 0,0- 2,5 cm ( $10,33 \times 10^3$  ufc/gss), que corresponderam também aos maiores números encontrados sob os dois sistemas.



**Figura 8.** População de microrganismos oxidantes de amônio em plantio direto (D) e convencional (C) em 5 profundidades. Média de 12 amostragens. Símbolos como na Figura 4.



**Figura 9.** População de microrganismos oxidantes de nitrito em plantio direto (D) e convencional (C) em 5 profundidades. Média de 12 amostragens. Símbolos como na Figura 2.

Sob plantio convencional, a disposição dos microrganismos no perfil do solo foi mais homogênea com as maiores populações se encontrando na camada 5,0- 10,0 cm,  $5,57 \times 10^3$  ufc/gss para *Nitrosomonas* e  $7,31 \times 10^3$  ufc/gss para *Nitrobacter*.

Na superfície do solo (0,0- 2,5 cm), a população de nitrificantes sob plantio direto foi 1,5 a 3,0 vezes maior que sob plantio convencional: já sob maior profundidade ( 10,0- 20,0 cm) ocorreu o inverso, concordando com o trabalho de BRODER et al. (1984), a densidade média de nitrificantes encontrada em plantio convencional foi 2 à 3 vezes maior que sob plantio direto .Estes resultados estão de acordo com DORAN (1980b) e SILVA FILHO (1984), onde os maiores teores de matéria orgânica e pH da superfície do plantio direto e a maior aeração e mineralização de resíduos das camadas mais profundas do plantio convencional resultaram em maiores densidades de nitrificantes.

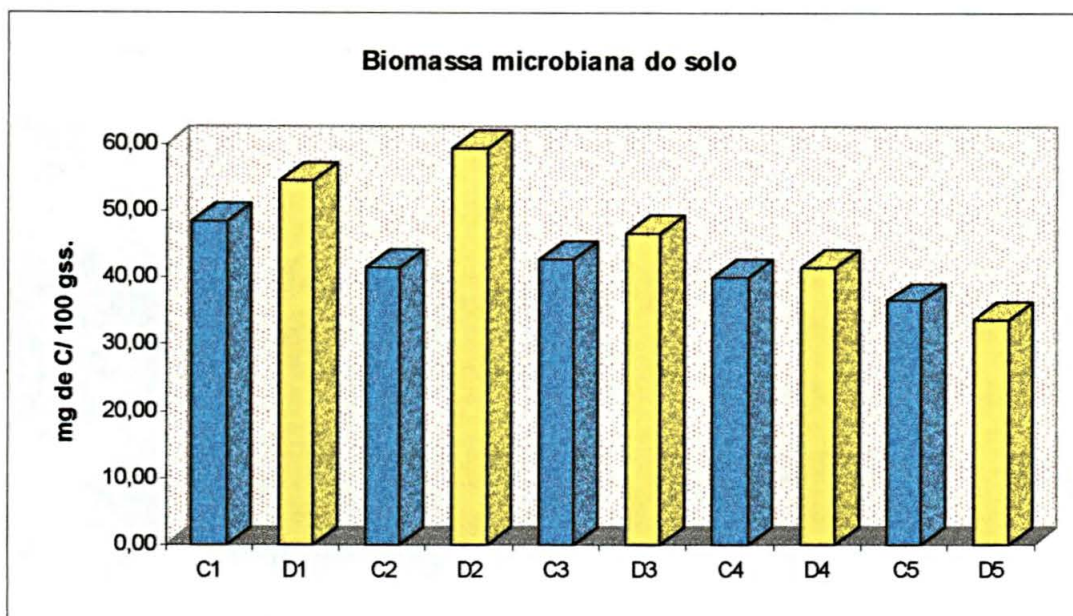
A distribuição das bactérias nitrificantes em relação ao pH concordam com os trabalhos de MEIKLEJOHN (1953), MORRIL E DAWSON (1967) e DORAN (1980b), onde as altas densidades de nitrificantes sob plantio direto se correlacionaram com altos valores de pH, e as maiores populações foram verificadas nas profundidades 0,0-2,5 e 2,5- 5,0 cm com pH 6,44 e 6,16 respectivamente.

A população de *Nitrobacter*, parece ter sido mais estimulada pela cobertura morta do solo sob plantio direto, que população *Nitrosomonas*, pois deteve maiores diferenças nos números apresentados para a 2ª e 3ª. camadas amostradas (2,5 -5,0 e 5,0 -10,0 cm).

#### 4.3 - Influência do manejo do solo sobre a biomassa microbiana.

Os valores médios de biomassa microbiana encontrados neste trabalho situaram-se entre 33,0 e 59,0 mg de C /100 g solo seco, estando de acordo com os trabalhos de CATTELAN (1989) que também utilizou o método fumigação incubação.

Sob plantio, direto a biomassa obteve seus maiores valores nas camadas superficiais do solo e o menor na camada mais profunda (Figura 10), devido entre outras coisas à localização superficial dos teores de carbono e nitrogênio do solo adicionados pela cobertura morta (CAMPBELL et al., 1989) e à concentração de raízes superficiais (BLEVINS, 1977; LYNCH e PANTING, 1980; DORAN, 1980b; CARTER, 1982 e DICK, 1983) que juntos estimulam a biomassa microbiana (DORAN, 1980a; CARTER, 1986 e KARLEN et al., 1994b).



**Figura 10.** Biomassa microbiana do solo sob plantio direto (D) e convencional (C) em 5 profundidades. Média de 12 amostragens. Símbolos como na Figura 4.

Entre os dois sistemas de preparo do solo, os valores da biomassa constatados sob plantio direto foram superiores aos valores apresentados pelo plantio convencional, em todas as camadas de solo amostradas, com exceção da camada mais profunda (20,0-30,0 cm) onde ocorreu o inverso.

Estes dados discordam, em parte, dos valores obtidos por vários pesquisadores (CARTER, 1986; GRANASTEIN et al., 1987; FRANZLEUBBERS et al., 1994, KARLEN et al., 1994b; ALVARES et al., 1995) que, analisando o comportamento da biomassa microbiana em solos cultivados sob sistema de plantio convencional e direto, verificaram que a biomassa da camada superficial do solo (0,0 -5,0 cm) apresenta maiores valores para o plantio direto, enquanto que, para as profundidades subsequentes (5,0-20,0 cm) os maiores valores foram encontrados na camada arada do solo sob plantio convencional.

No presente estudo, a camada 10,0- 30,0 cm sob plantio direto deteve 32% da biomassa total, sendo condizente com STALEY et al. (1988), que relacionando o tempo de implantação do sistema de plantio direto com as mudanças nas propriedades químicas e biológicas do solo, verificou que os solos com pouco tempo de implantação de plantio direto (1-7 anos) continham 30-45% da sua biomassa microbiana na profundidade 15 -30 cm enquanto que nas parcelas com mais de 9 anos de plantio direto decresceram para valores em torno de 22%.

Do mesmo modo, as diferenças para os valores da biomassa entre os dois sistemas de cultivo, considerando-se a camada 0,0-10,0 cm, situaram-se em torno de 18% para o plantio direto. Estes valores são coerentes com os valores de 10-20% citados por WARDLE (1994), em compilação sobre diversos experimentos em outros países.

ANDRADE et al. (1993) constataram, sob plantio direto, valores de biomassa microbiana 52% superiores ao plantio convencional, amostrando na camada 0,0-15,0 cm de um solo com 17 anos de cultivo, no norte do Paraná. A superioridade destes valores, em relação aos obtidos no presente trabalho (Figura 8) podem ser devido ao menor tempo de cultivo (seis anos) e ao clima temperado do centro-sul do Paraná.

A biomassa constatada para a 2ª camada (2,5-5,0 cm) do plantio direto foi maior que a constatada na camada superficial (0,0-2,5 cm); este fato pode estar relacionado com a menor flutuação nos teores de umidade e temperatura que ocorre nesta camada quando comparada à camada superficial.

Sob plantio convencional os maiores valores da biomassa foram observados na camada superficial (Figura 10), semelhante aos resultados verificados por outros pesquisadores (CARTER, 1986; STALEY et al., 1988; FRANZLUEBBERS et al., 1994; ALVARES et al., 1995), pois independente da incorporação dos resíduos, esta camada possui alta taxa de trocas gasosas e resíduos provenientes do sistema radicular, que estimulam a microflora.

A cultura de aveia, em plantio adensado e mesmo a cultura da soja, proporcionando proteção ao solo contra ventos e sol e assim conservando assim a umidade e diminuindo as flutuações térmicas (HOLTZ, 1995), podem ter contribuído para a alta biomassa microbiana na superfície do solo.

Nas demais profundidades dos solo sob plantio convencional ( 2,5-30,0 cm), a biomassa microbiana distribuiu-se de forma semelhante, com valores próximos a 40,0 mg de C /100 gss, evidenciando as condições uniformes do ambiente formado pela aração e incorporação da palhada .

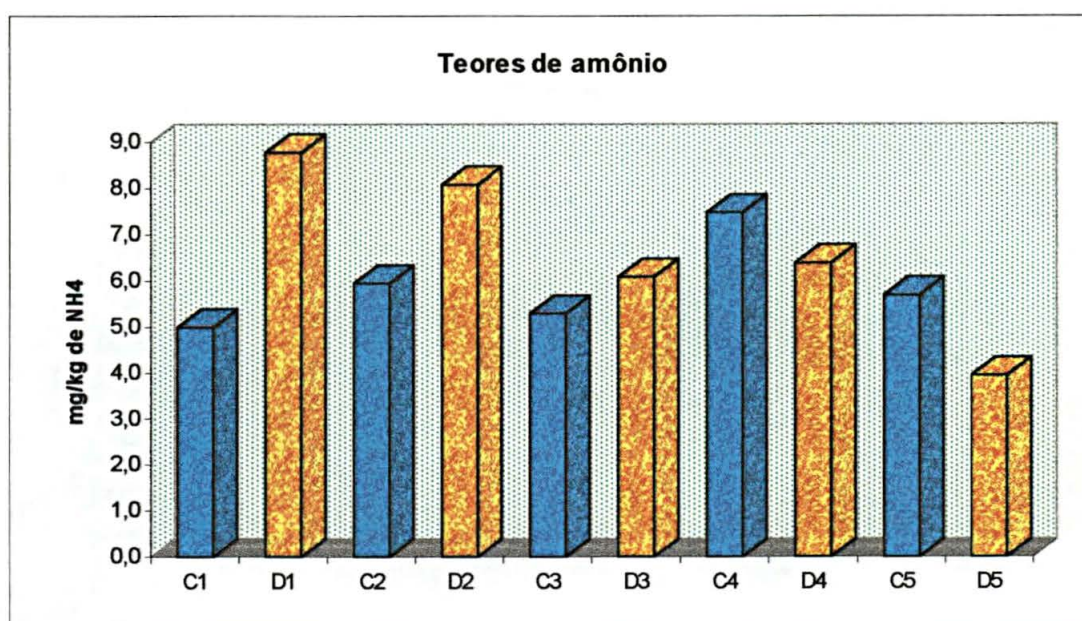
Apenas na camada mais profunda (20,0-30,0 cm) a biomassa sob plantio convencional foi superior à constatada sob plantio direto. Este resultado semelhante ao encontrado por outros pesquisadores (DORAN, 1987; STALEY et al., 1988; FRANSLEUBBERS et al., 1994), deve-se aos efeitos da adição de substrato e oxigênio, através da aração (COCHRAN et al., 1984; SMITH et al., 1992) e é constatada em trabalhos que incluem amostragem abaixo aos 20 cm de profundidade.

#### 4.4 - Influência do manejo do solo sobre a atividade microbiana

Os teores de nitrogênio na forma amoniacal (Figura 11) encontrados na camada 0,0-10,0 cm do solo cultivado sob plantio direto foram superiores aos encontrados sob plantio convencional, mas, nas camadas mais profundas verificou-se o inverso, concordando com os dados obtidos por GROFFMAN (1985); TRACY et al. (1990); SÁ (1993); e KARLEN et al. (1994b).

Sob plantio direto os maiores teores foram verificados na camada superficial (8,79 ppm), seguida da camada adjacente com (8,11 mg/kg); os menores teores foram encontrados na camada mais profunda (20,0-30,0 cm), com 3,75 ppm. HOLTZ (1995), trabalhando no mesmo local e amostrando em 0,0-2,5; 2,5- 5,0; 5,0- 7,5 e 7,5-10,0 cm de profundidade, também encontrou os maiores teores de amônio na superfície do solo (0,0-2,5 cm). Segundo RICE e SMITH (1983); esta concentração superficial dos teores de  $\text{NH}_4^+$  sob plantio direto seria resultado das condições potenciais de imobilização e maior teor de umidade deste tipo de manejo.

O conteúdo de  $\text{NH}_4^+$  verificado na superfície do solo sob plantio direto (0,0-2,5 cm) foi 1,5 a 2,0 vezes superior ao encontrado sob a superfície do solo sob plantio convencional, assemelhando-se aos resultados obtidos por TRACY et al. (1990) e KARLEN et al. (1994b), que também amostraram a camada 0,0-2,5 cm. Os resultados provenientes de camadas superficiais com menos de 3,0 cm de espessura nos permitem avaliar com segurança a influência da cobertura morta sobre a população microbiana e sua atividade nitrificante.



**Figura 11.** Teores de amônio em solo sob plantio direto (D) e convencional (C), em 5 profundidades. Média de 12 amostragens. Símbolos como na Figura 4.

Sob plantio convencional, os maiores teores foram encontrados na camada 10,0-20,0 cm (7,48 mg/kg); nas demais camadas o conteúdo de  $\text{NH}_4\text{-N}$  ficou em torno de 5,00 mg/kg (Figura 11). Esta distribuição homogênea dos teores de amônio sob o solo arado deve-se ao efeito da incorporação dos restos vegetais estimulando a comunidade microbiana e estão de acordo com os dados obtidos por DOWNDELL et al. (1983) e KARLEN et al. (1994b).

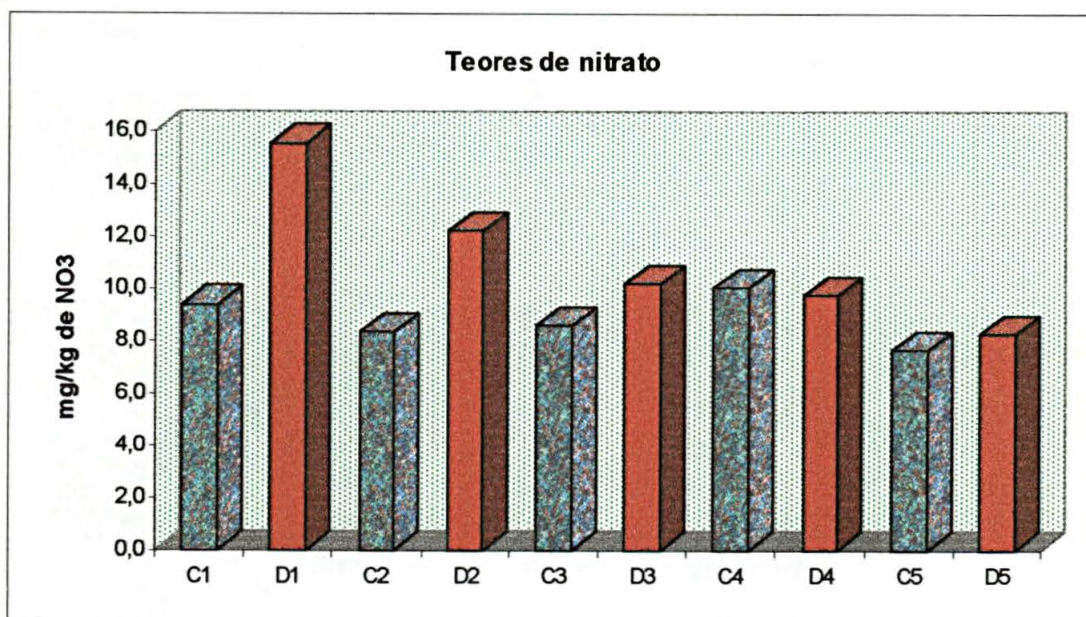
O conteúdo médio de nitrato encontrado sob plantio direto foi superior ao encontrado sob plantio convencional em todas as camadas amostradas, com exceção da camada 10,0- 20,0 cm onde os valores foram semelhantes. Pesquisadores como TRACY et al. (1990); UNGER (1991); SÁ (1993) e HOLTZ (1995) também constataram maior concentração de nitrato nas camadas superficiais do solo sob plantio direto, em relação ao plantio convencional.

O conteúdo de  $\text{NO}_3\text{-N}$  da camada 10,0-20,0 cm foi superior para o plantio convencional, concordando com KARLEN et al. (1994b), que amostrando sob plantio direto e convencional constatou teores de  $\text{NO}_3\text{-N}$  superiores para o plantio convencional na camada 7,5- 15,0 cm.

No entanto, para as camadas 5,0-10,0 e 20,0-30,0 cm de profundidade o comportamento dos teores de nitrato encontrados diferiu dos trabalhos de DOWNDELL et al. (1983); BRODER et al. (1984), TRACY et al. (1990), UNGER (1991) e GRANT e LAFOND (1994), onde o conteúdo de  $\text{NO}_3^-$  sob plantio convencional foi superior ao encontrado sob plantio direto. Este fato pode ser explicado pelo tempo e implantação do sistema de plantio direto, que modifica a distribuição dos teores de nitrogênio mineral no perfil do solo, que nesta pesquisa foi de 6 anos, e nas outras citadas ultrapassava os 10 anos (ARHENS, 1977; CARTER E RENNIE, 1982; UNGER, 1991).

Sob plantio direto o nitrato se concentrou nos 5,0 cm superficiais do solo, com 15,54 mg/kg ( Figura 12) na camada 0,0-2,5 cm e 12,17 mg/kg na camada 2,5-5,0 cm, estando de acordo com os trabalhos de UNGER (1991); KARLEN et al. (1994b) SÁ (1993) e HOLTZ (1995), este último amostrando no mesmo local que o desta pesquisa.

Os altos níveis de nitrato da superfície do solo sob plantio direto podem estar ligados aos altos níveis de umidade (Tabela 4), teores de carbono e nitrogênio orgânicos e pH alcalino da camada adjacente à palhada, assim como a maior concentração de raízes nesta camada que favorece a população de nitrificantes (BLEVINS et al., 1977; ARHENS, 1977; DICK, 1983 RICE e SMITH, (1983) e UNGER, 1991).



**Figura 12.** Teores de nitrato em solo sob plantio direto (D) e convencional (C), em 5 profundidades. Média de 12 amostragens. Símbolos como na Figura 4.

No solo sob plantio convencional os teores médios de nitrato encontrados variaram de 8,29 a 10,03 ppm, sendo o maior conteúdo referente à camada 10,0-20,0 cm. Resultados semelhantes foram relatados por KARLEN et al. (1994a) e GRANT e LAFOND (1994) e devem-se ao aumento de mineralização nesta camada, provocado pela incorporação dos restos vegetais. Essa maior concentração de nitrato na camada 10,0-20 cm do plantio convencional também pode ser resultado da lixiviação do  $\text{NO}_3\text{-N}$  das camadas superiores. COCHRAN et al (1980) e RICE e SMITH (1983) consideram que o nitrogênio mineralizado do resíduo incorporado está sujeito a perdas por lixiviação por não ser prontamente mineralizado.

Analisando os teores de nitrato e amônio encontrados, verifica-se que os teores de nitrato foram superiores aos teores de amônio, concordando com SÁ (1993) e contrariando STINNER et al. (1983). Segundo CAMPBELL e BIEDERBECK (1982) a maioria do  $\text{NH}_4^+$  formada em solos férteis é rapidamente nitrificada; o acúmulo de  $\text{NH}_4^+$  só ocorre quando as condições ambientais do solo são desfavoráveis para os microrganismos nitrificadores.

A distribuição dos teores de nitrato e amônio sob plantio direto e convencional está coerente com a distribuição da população de nitrificantes e biomassa microbiana. CARTER E RENNIE (1983) estudaram os efeitos do plantio direto e convencional nas propriedades químicas do solo e observaram que o nitrogênio da biomassa microbiana foi significativamente maior na superfície do solo sob plantio direto. A maiores profundidades, no entanto, ocorreu o inverso, quando no preparo convencional o nitrogênio da biomassa se distribuiu igualmente na camada arada.

#### 4.5 - Flutuação sazonal dos parâmetros medidos.

##### 4.5.1 - Umidade do solo.

Verificou-se, ao longo do ano de amostragem, teores de umidade sob o plantio direto superiores aos encontrados sob plantio convencional para a camada 0 - 5,0 cm, abaixo desta os teores de umidade foram semelhantes para os dois tipos de sistema.

Nos períodos de deficit hídrico, a cobertura morta proporcionou proteção contra a incidência direta do sol e ventos, diminuindo a evaporação e durante o excesso de chuvas o solo não revolvido, com maior densidade resultou em maior retenção da umidade (Figura 13).

##### 4.5.2 - Densidade de fungos, bactérias e actinomicetos.

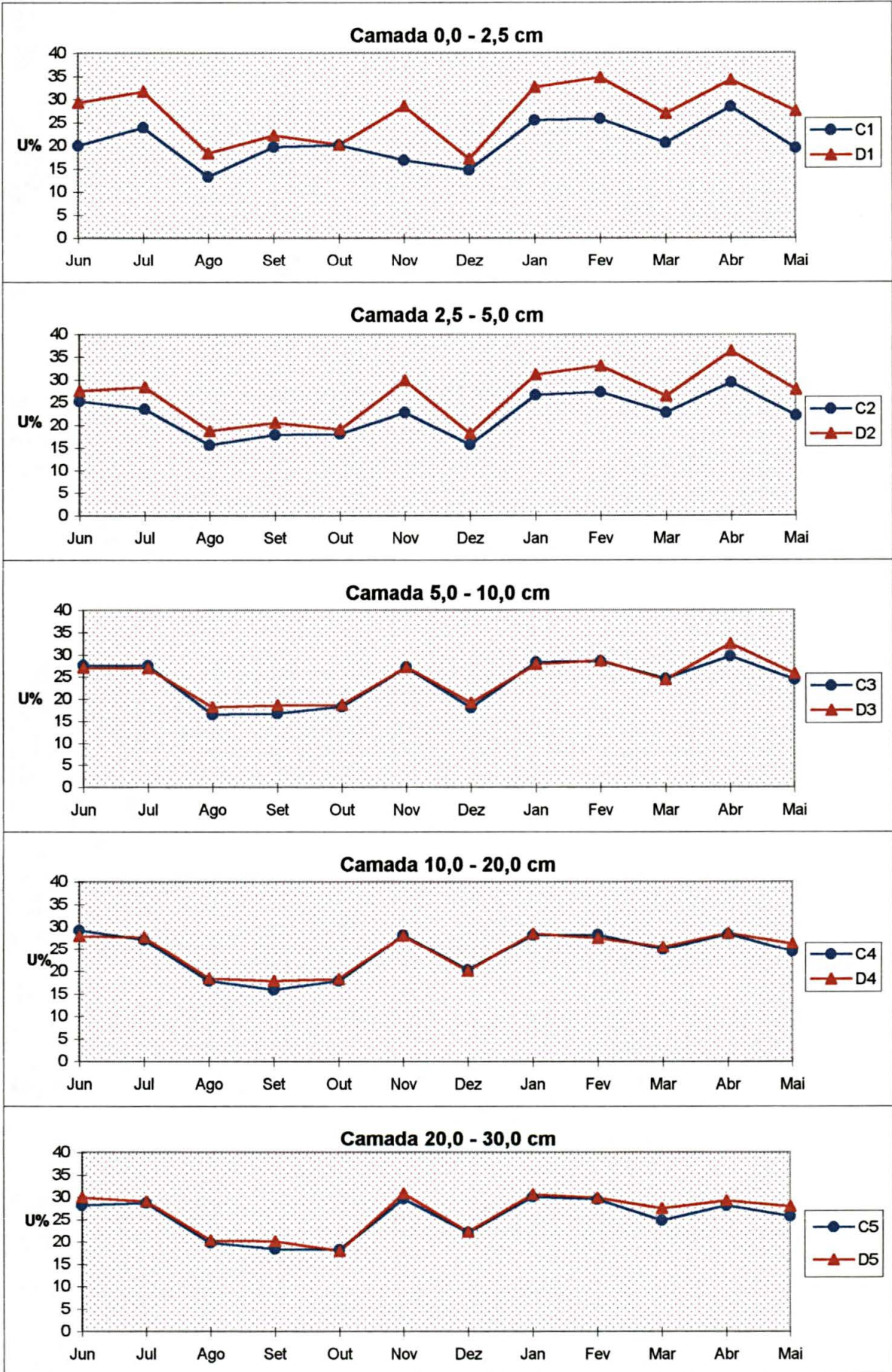
A população fúngica apresentou comportamento semelhante sob os dois sistemas de manejo do solo e cinco profundidades amostradas, com decréscimos na população para os meses de setembro, janeiro e fevereiro e altas nos meses de junho, julho, novembro, dezembro, março e abril (Figura 14).

Em junho e julho foram constatadas altas densidades fúngicas concordando com CATELLAN (1989), decorrentes da disponibilidade de substrato, incorporado ou não ao solo no mes de maio, e a disponibilidade hídrica satisfatória. Apesar do inverno as temperaturas, não foram limitantes, pois oscilaram entre 7 e 20 °C.

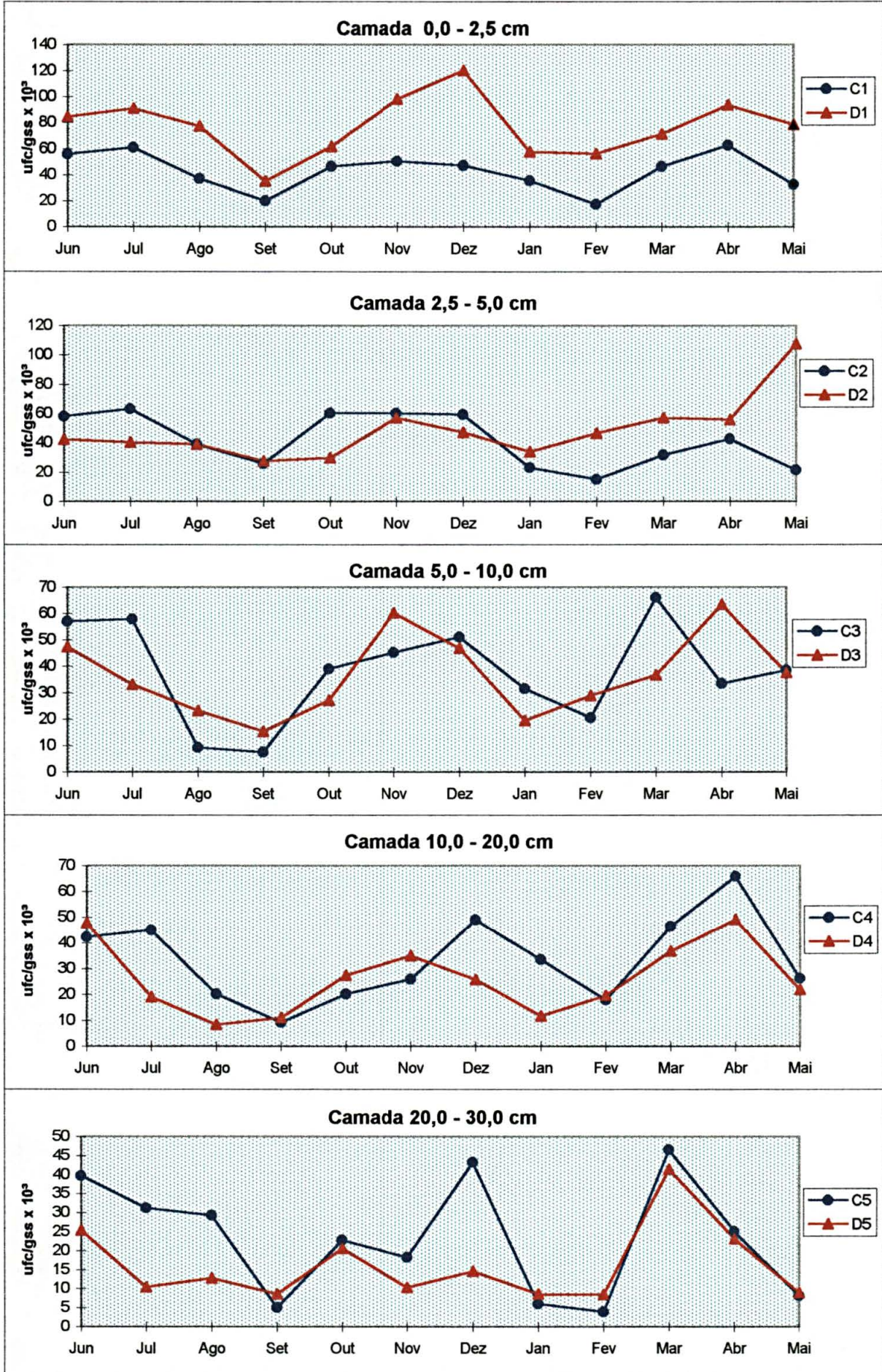
O baixo número de colônias contabilizado em setembro se deve à deficiência hídrica, pois até o dia da amostragem havia chovido apenas 11,4 mm em 49 dias. O efeito negativo da combinação do baixo teor de umidade e altas temperaturas sobre os fungos edáficos também foi observado por CATELLAN (1989). No entanto a baixa umidade do solo constatada em dezembro (Figura 13) não afetou a população de fungos, provavelmente pela disponibilidade de substrato proveniente do plantio da soja em novembro.

Em outubro, o reumedecimento do solo causou estímulo na comunidade fúngica, que tornou a crescer até dezembro; este fato também foi constatado por MARTINYUK e WAGNER (1978), SILVA FILHO (1984) e CATELLAN (1989). Nos meses de novembro, março e abril, as chuvas bem distribuídas e as temperaturas na faixa de 20 a 30 °C estimularam a população fúngica.

**FIGURA 13-** Flutuação da umidade do solo em plantio direto e convencional, em cinco profundidades. Junho de 1994 a maio de 1995.



**FIGURA 14** - Flutuação da população fúngica em solo sob plantio direto e convencional em cinco profundidades, de junho de 1994 a maio de 1995.



O excesso de umidade do solo no dia da amostragem, causado pelas chuvas ocorridas nos três dias anteriores (45,0 mm) podem ter diminuído a aeração do solo e afetado a população de fungos para os meses de janeiro e fevereiro.

A população bacteriana demonstrou ampla variação durante o período de estudo tanto com as profundidades amostradas, como com os dois tipos de manejo do solo. Por exemplo, enquanto a população de bactérias constatada do mês de setembro esteve entre as mais altas para a camada 0,0-2,5 cm; nas profundidades inferiores a densidade foi baixa. Este fato pode ser devido a presença de esporos bacterianos na camada superficial do solo, devido ao período de seca que antecedeu esta amostragem. Nas camadas inferiores, por serem menos afetadas pelo decréscimo de umidade a formação de esporos não ocorreu.

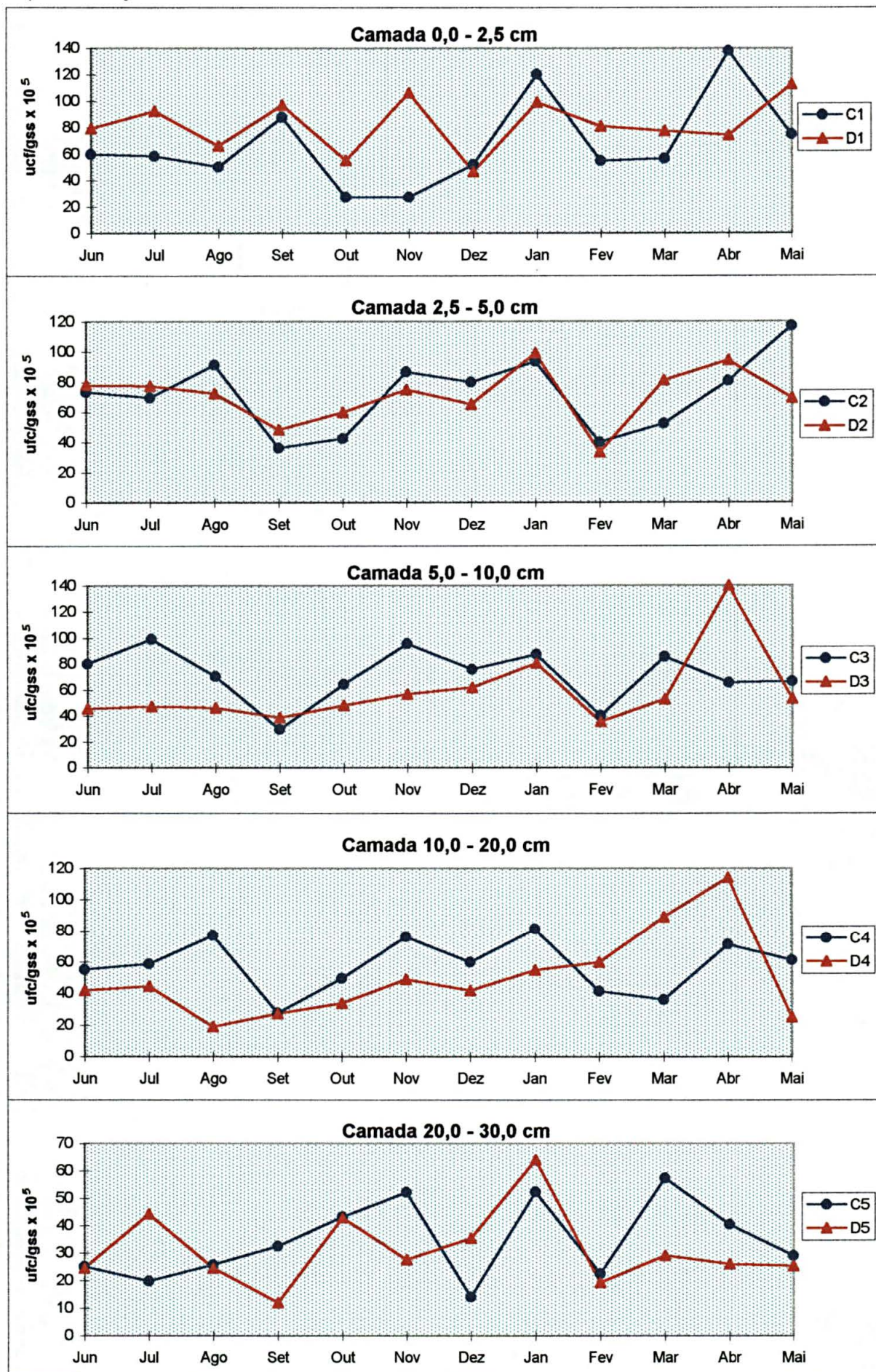
As altas populações observadas em novembro, janeiro e abril podem estar relacionadas com a temperatura e precipitação favoráveis, contribuíram também para a alta na densidade bacteriana a entrada de resíduos de cultura em novembro com o plantio da soja e alta atividade rizosférica da cultura em janeiro e abril.

Por outro lado, baixas populações foram constatadas no mes de fevereiro, devido talvez, ao excesso de umidade e conseqüente redução na aeração do solo discordando de RHANO et al. (1978) que verificou alta população bacteriana em umidade do solo acima de 40%. Em dezembro, a ausência de chuvas na semana de amostragem e as altas temperaturas ocasionaram deficit hídrico, que pode ser constatado na Figura 13 e este efeito negativo ocorreu com mais intensidade nas camadas 0,0-2,5 e 20,0- 30,0 cm.

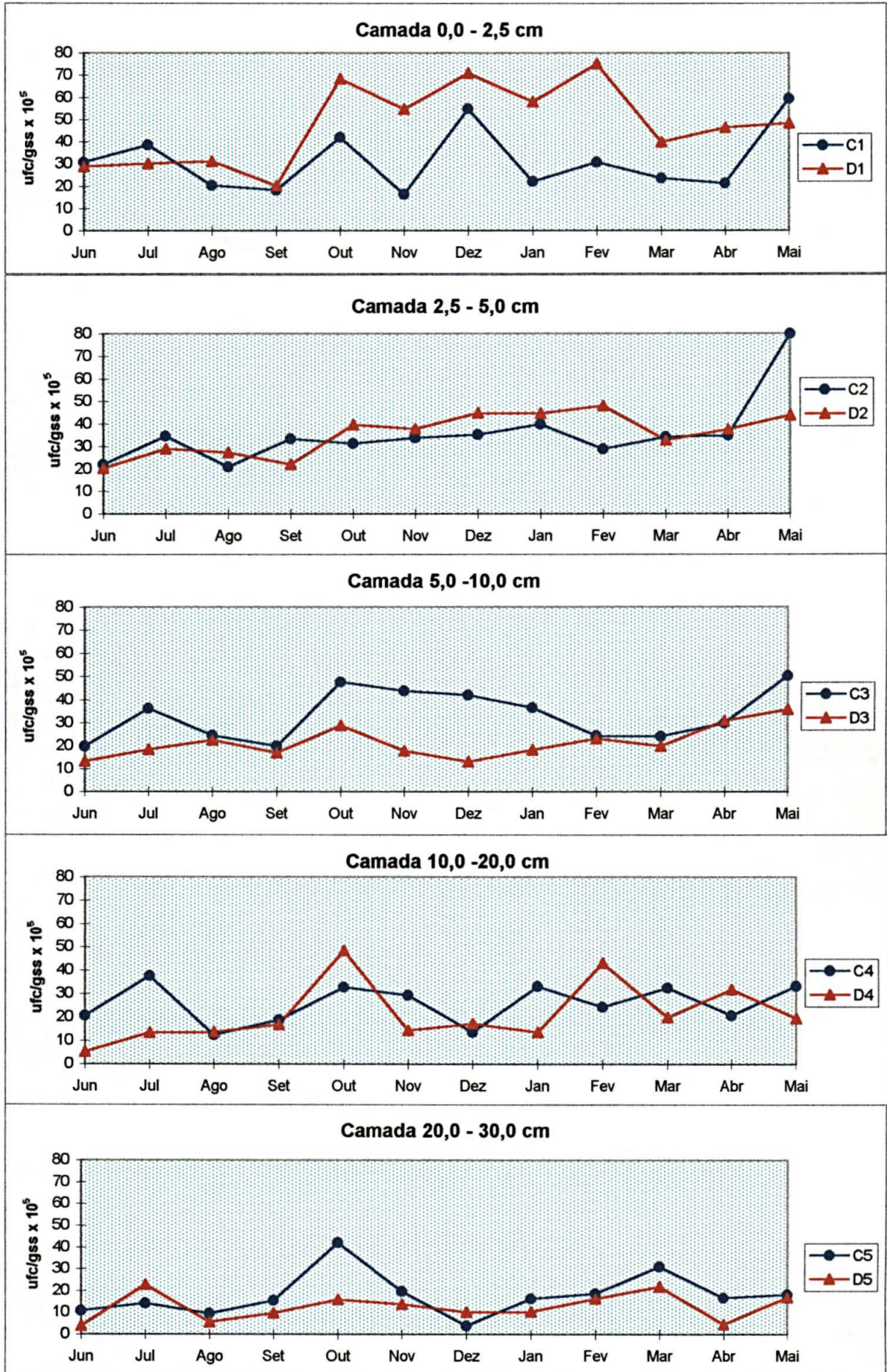
A população de actinomicetos das camadas 2,5 -10,0 e 20,0 -30,0 cm sob plantio direto apresentou comportamento mais constante, com menos picos e quedas e sob plantio convencional, este comportamento pode ser observado na camada 2,5 -5,0 cm. CAMPBELL e BIEDERBECK (1976, 1982); CATELLAN (1989), SILVA FILHO (1984) e COLLINS et al. (1992), também constataram pequena variação na população de actinomicetos ao longo período de pesquisa. Segundo DOMERGUES e MANGENOT (1970) isto se deve à natureza autóctone destes microrganismos, que trabalham lentamente decompondo os resíduos vegetais mais resistentes.

As maiores densidades foram encontradas nos meses de outubro e fevereiro, devido à temperatura elevada e boas condições hídricas, e as menores densidades em junho agosto e setembro concordando com CAMPBELL e BIEDERBECK (1976, 1982) que relata que os actinomicetos preferem temperaturas elevadas. Em setembro o baixo teor de umidade pode ter afetado a comunidade de actinomicetos, que por seu metabolismo lento não foram estimulados pelas pequenas chuvas ( 11,4 mm) que

**FIGURA 15 -** Flutuação bacteriana em solo sob plantio direto e convencional a cinco profundidades no período de junho de 1994 a maio de 1995.



**FIGURA 16-** Flutuação de actinomicetos em solo sob plantio direto e convencional em cinco profundidades, de junho de 1994 a maio de 1995.



antecederam as amostragem. CAMPBELL e BIEDERBECK (1976) e CATELLAN (1989) também relataram o efeito negativo da baixa umidade do solo sobre os actinomicetos.

O excesso de umidade ocorrido em fevereiro atingiu as bactérias e os fungos, mas parece não ter afetado os actinomicetos, pois sua população não sofreu uma queda, tão drástica quanto os dois outros grupos citados concordando com CAMPBELL e BIEDERBECK (1976, 1982) que menciona os actinomicetos como grupo de microrganismos menos afetado pelo teor de umidade do solo.

Por outro lado o déficit hídrico de dezembro afetou os actinomicetos somente na camada 10,0 - 30,0 cm, pois, nas camadas acima, observou-se efeito contrário, com altas densidades. Isto pode ser resultado do estímulo dos restos vegetais incorporados em novembro, no plantio da soja, já que os actinomicetos são decompositores tardios (DOMERGUES e MANGENOT, 1970).

#### 4.5.3 - Densidade de microrganismos solubilizadores de fosfato e nitrificantes.

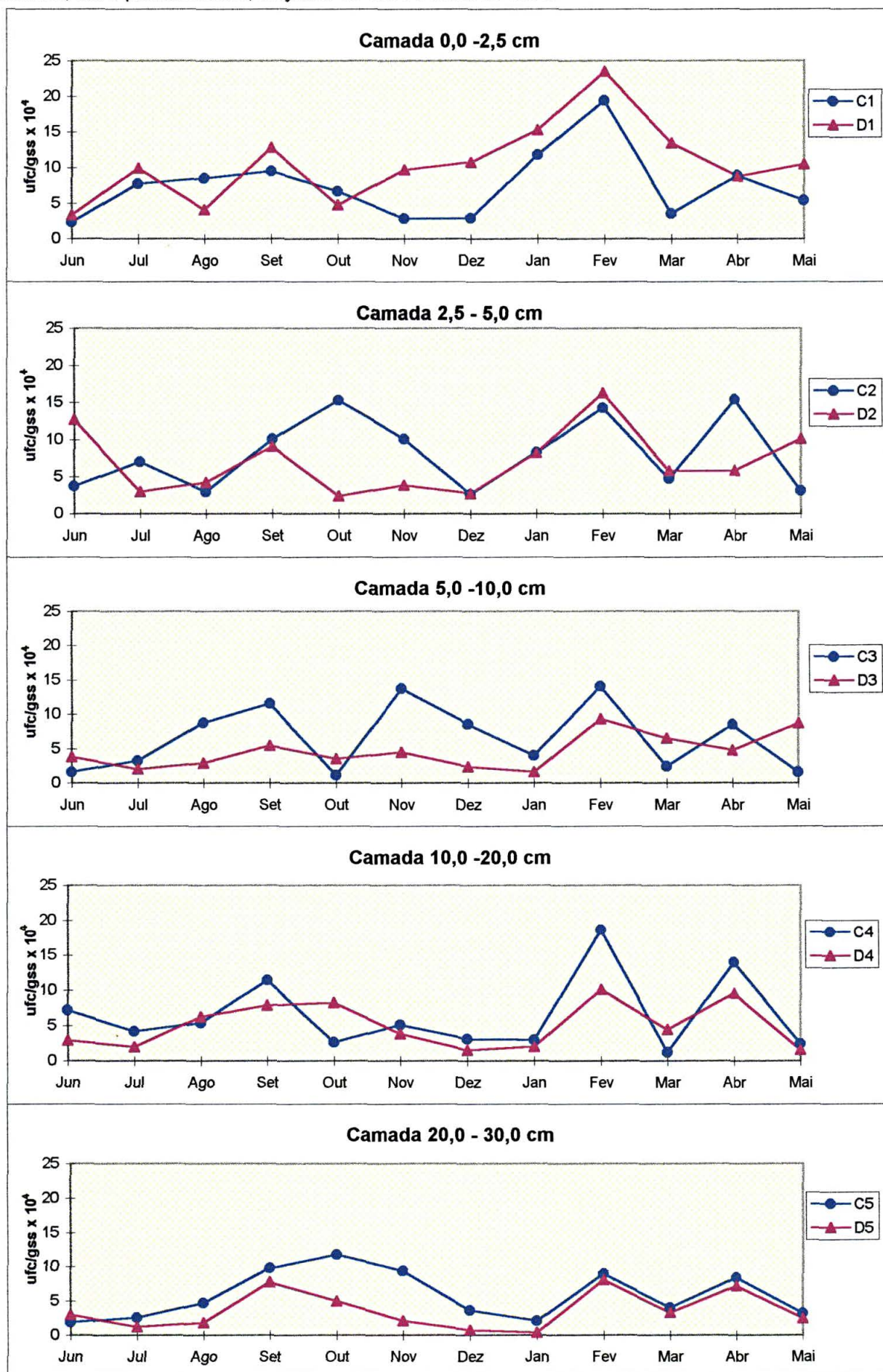
A população de microrganismos solubilizadores de fosfato variou conforme tipo de manejo e profundidade do solo (Figura 17), mas de modo geral, as maiores populações foram constatadas na primavera e verão e coincide com as épocas de floração e enchimento de grãos das culturas (TABELA 2), fase em que há grande atividade rizosférica (SPERBER, 1958). Ao mesmo tempo, as baixas densidades ocorreram nos períodos de germinação e crescimento vegetativo da aveia e soja, ou seja, junho e dezembro. SILVA FILHO (1984) também constatou o estímulo rizosférico para os microrganismos solubilizadores durante a floração das culturas

Na camada 10,0- 30,0 cm observou-se comportamento semelhante sob os dois tipos de preparo, porém com menor população sob o plantio direto, o que seria resultante dos menores teores de oxigênio e substrato nas camadas mais profundas do solo deste tipo de preparo.

Discordando do comportamento de bactérias, fungos e actinomicetos, o baixo teor de umidade constatado em setembro parece não ter atingido os microrganismos solubilizadores de fosfato, que apresentaram em todas as profundidades dos dois tipos de manejo altas populações.

Ao contrário da populações debacterias, fungos, e semelhante aos actinomicetos, a densidade dos microrganismos solubilizadores de fosfato não sofreu queda com o excesso de umidade do mes de fevereiro, sendo a densidade encontrada uma das

**FIGURA 17-** Flutuação da população de mic. solubilizadores em solo sob plantio direto e convencional, em 5 profundidades, de junho de 1994 a maio de 1995.



mais altas para todas as profundidades nos dois tipos de manejos pesquisados.

Em novembro constatou-se uma alta densidade de solubilizadores na camada 5,0 -10,0 cm do solo sob plantio convencional, que pode ser resultante da incorporação dos resíduos de aveia durante o preparo do solo para o plantio da soja; o mesmo não ocorrendo com o plantio direto, pois a palhada permaneceu na superfície.

A variação na população de bactérias *Nitrosomonas* sob os tipos de manejo pesquisados refletiu a aeração e concentração de substrato no solo (Figura 18). Sob plantio direto, a maior variação no número de *Nitrosomonas* durante ano situou-se na camada 0,0 -5,0 cm. Em maiores profundidades (20,0- 30,0 cm) o número de bactérias demonstrou pequena variação, permanecendo na faixa de 0,1 a 5,0 n° de células/ gss. Sob plantio convencional a flutuação na camada superficial (0,0 -2,5 cm) foi menor que para o plantio direto, mas abaixo dos 5,0 cm, com poucas exceções a flutuação das bactérias foi igual para os dois tipos de manejo do solo.

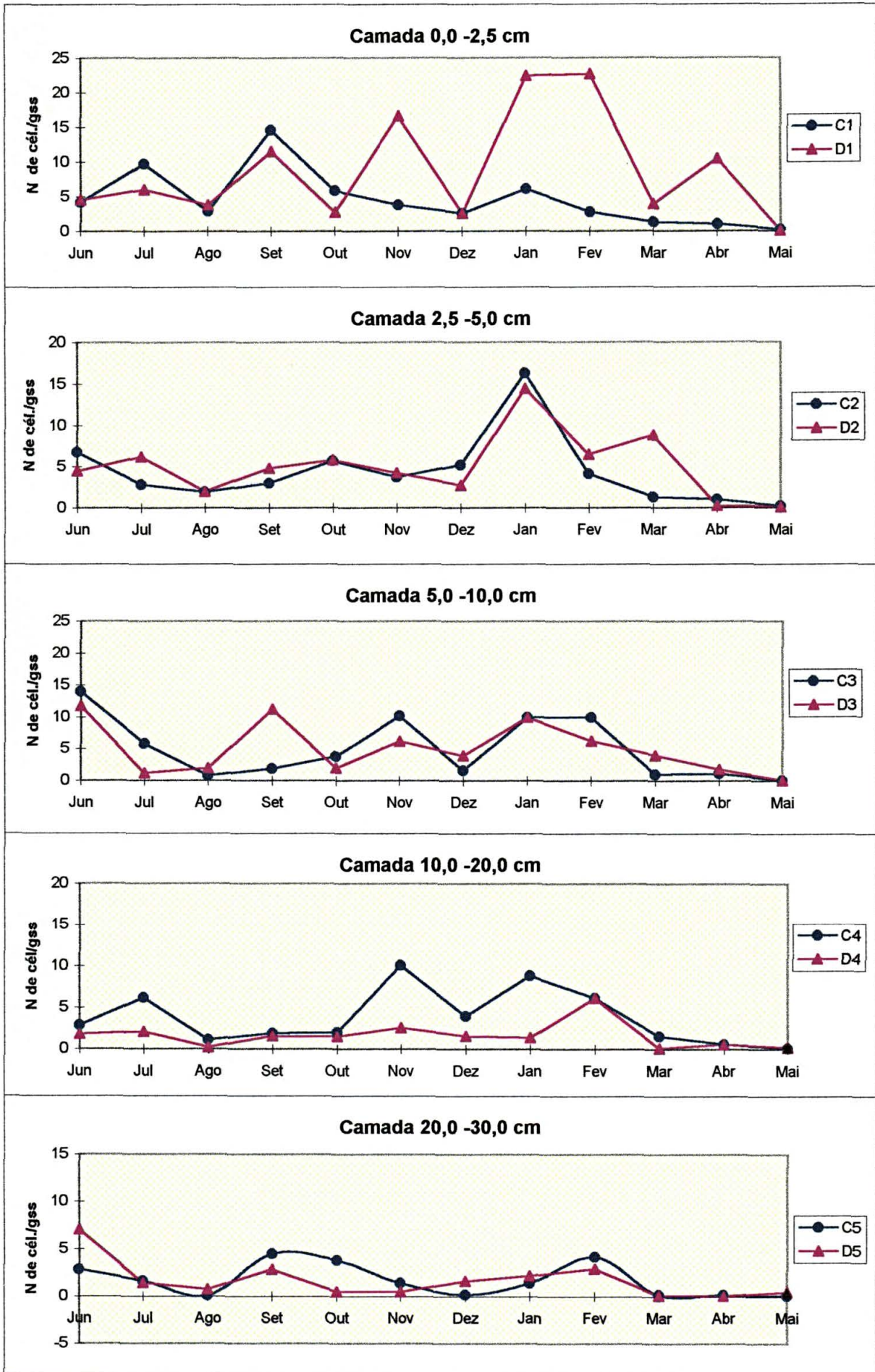
Em agosto, foram observadas baixas densidades de microrganismos oxidantes de amônio em todas as camadas e tipos de manejo, provavelmente devido á deficiência hídrica, mas em setembro, após pequenas chuvas, que antecederam a amostragem observou-se um acréscimo acentuado na população da camada superficial (0,0- 2,5 cm) sob plantio direto e convencional e camada 5,0- 10,0 cm do plantio direto, concordando com BIRCH (1960), CAMPBELL et al. (1973) e CAMPBELL e BIEDERBECK (1982).

O revolvimento do solo e incorporação de restos vegetais, durante o preparo do solo para o plantio da soja, em novembro, provocou estímulo na população de *Nitrosomonas*, de acordo com a mobilização do solo, na superfície do solo sob plantio direto e na camada de 10,0 - 20,0 cm do plantio convencional.

Em janeiro, a densidade de *Nitrosomonas* apresentou acréscimo na camada 0-10 cm do plantio direto e convencional, que pode ter resultado da combinação das altas temperaturas, boa disponibilidade hídrica e de substrato rizoférico favorável, SILVA FILHO (1984) obteve resultados semelhantes em condições atmosféricas e de estágio da cultura idênticos.

As maiores densidades populacionais de bactérias *Nitrobacter* para os dois tipos de cultivo ocorreram na sua maioria nos meses de temperatura médias a altas e com teor de umidade no solo de médio a alto. (Figura 19). Durante o inverno, com exceção dos números encontrados na camada 2,5-5,0 cm, em agosto, a população permaneceu baixa, indicando uma sensibilidade dos nitrificantes ao frio. SILVA FILHO (1984), em pesquisa realizada no Rio Grande do Sul, também encontrou maiores números de nitrificantes no verão e menores no inverno.

**FIGURA 18-**Flutuação de *Nitrosomonas*, em solo sob plantio direto e convencional, em 5 profundidades, de junho de 1994 a maio de 1995.





A população de oxidantes de nitrito observada na camada 0,0-10,0 cm sob os dois sistemas de solo, apresentou flutuação maior ao longo do ano que a população de *Nitrosomonas*. Em profundidade, variações no número de *Nitrobacter* refletiram as condições de aeração e localização de nutrientes dos tipos de preparo do solo; sob plantio direto, se restringiram à camada 0,0-10,0 cm e abaixo disto a densidade foi baixa e constante. Sob plantio convencional, a flutuação dos microrganismos foi menos intensa, mas se estendeu até os 30 cm.

O excesso de umidade constatado em fevereiro parece ter afetado somente a população de *Nitrobacter* da camada 0,0- 10,0 cm sob plantio direto; sob plantio convencional, apenas a população da camada 5,0-10,0 cm apresentou decréscimo. Do mesmo modo, o deficit hídrico ocorrido em dezembro, que afetou alguns microrganismos, não provocou queda no número de *Nitrobacter*.

Por outro lado, as condições de baixa umidade constatadas nos meses de agosto e setembro provocaram queda na densidade dos nitrificantes em setembro, para todas as profundidades e manejos.

Em abril, observou-se diminuição da população por ocasião da colheita da soja, SILVA FILHO (1984) também observou esta diminuição da população como resposta à desativação do sistema radicular. E em maio, assim como para as bactérias *Nitrosomonas*, a condição de pouso e temperaturas baixas resultou em diminuição da população.

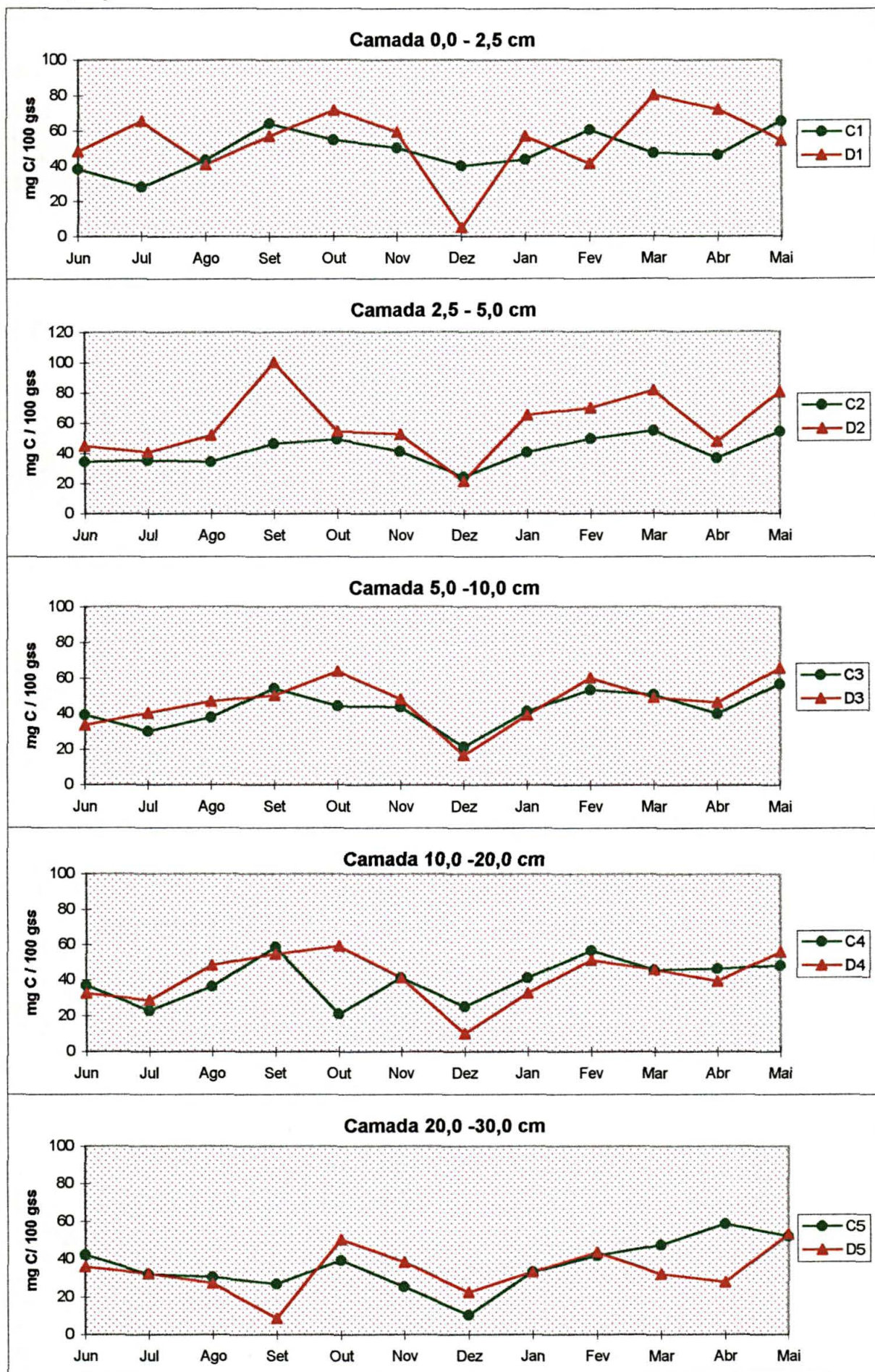
#### 4.5.4 - Biomassa microbiana do solo

No geral, as estações não tiveram influência definida sobre a biomassa, mas sim a combinação entre a umidade, temperatura e profundidade do solo. No entanto as variações no tamanho da biomassa relacionaram-se mais com as variações climáticas, que com o tipo de preparo do solo.

Os valores mais altos de biomassa foram constatados nos meses setembro, outubro, fevereiro e março, quando as culturas de aveia e soja estavam em plena atividade rizosférica, na fase de florescimento e enchimento de grãos. Pesquisadores como LYNCH e PANTING (1980); SILVA FILHO (1984); CATELLAN (1989); PATRA et al. (1990); COLLINS et al. (1992); KAISER e HEINEMEYER (1993) também observaram altos níveis de biomassa microbiana nos estágios vegetais de grande atividade rizosférica (FIGURA 20).

BUCHANAN e KING (1992) também relataram acréscimos na biomassa devido às altas temperaturas da primavera e verão e a atividade rizosférica, assim como

**FIGURA 20** - Flutuação da biomassa microbiana do solo sob plantio direto e convencional, em cinco profundidades, de junho-1994 a maio-1995.



decréscimos durante o inverno. A principal fonte de carboidratos para os organismos do solo são os exudatos das raízes, que no período de florescimento e frutificação das plantas estão em pleno desenvolvimento e atividade, e quando estes estágios vegetais ocorrem em simultaneamente com temperatura e umidade favoráveis promovem o crescimento e atividade da biomassa (LYNCH e PANTING, 1982; GRANATSTEIN et al., 1987 e BUCHANAN e KING, 1992 e LOVELL et al., 1995).

Contrariamente ao comportamento ocorrido com alguns componentes da população microbiana observado pelo método de contagem em placas de Petri como fungos e bactérias, não se observou na análise da biomassa microbiana efeitos negativos do déficit e excesso hídrico ocorridos respectivamente nos meses de setembro e fevereiro.

O excesso de umidade no solo, observado no mes de fevereiro acarretou um pequeno decréscimo na biomassa microbiana somente para a camada superficial do solo sob plantio direto; nas demais profundidades e sob plantio convencional, verificou-se aumento da mesma.

Em setembro, com exceção da camada mais profunda (20,0 - 30,0 cm), o solo sob os dois sistemas de preparo apresentou alta biomassa, principalmente na camada 2,5 - 5,0 cm, sob plantio direto. A razão deste acréscimo pode estar nas pequenas chuvas ocorridas dois dias antes da amostragem, segundo BIRCH (1960) e CAMPBELL e BIEDERBECK (1976). Ciclos de secagem e umedecimento tendem a aumentar a quantidade de substrato microbiano disponível, provocando acréscimo na biomassa microbiana.

Por outro lado, o déficit hídrico constatado em dezembro afetou negativamente a biomassa microbiana sob os dois sistemas de plantio em todas as profundidades amostradas, concordando com os dados de CATELLAN (1989), provavelmente devido à grande exposição do solo, já que a cultura de soja, nos seus primeiros estágios de crescimento, não proporcionava proteção contra as altas temperaturas do verão.

A entrada de resíduos e o revolvimento do solo no plantio da aveia e soja em junho e novembro também não provocaram aumento na biomassa, discordando de INSAN (1989) e BUCHANAN e KING (1992) mas a colheita da soja em abril provocou queda na biomassa da camada 2,5 -5,0 cm, concordando com FRANSLUEBBERS et al. (1994).

#### 4.5.5 - Teores de amônio e nitrato

A flutuação no teores de amônio apresentou comportamento semelhante para todas as profundidades dos dois tipos de manejo de solo pesquisados (Figura 21). de um modo geral as maiores concentrações de  $\text{NH}_4^+$  no solo foram constatadas durante o início do inverno, fim do verão e início do outono, concordando com os trabalhos de GROFFMAN (1985) e HOLTZ (1995).

As menores teores de amônio foram observados entre os meses de outubro e janeiro, quando, com algumas exceções, o conteúdo para todas as profundidades dos dois tipos de manejo, permaneceu na faixa de 5,0 ppm.

Em setembro observou-se um acréscimo acentuado nos teores de amônio na camada 2,5-10,0 cm do solo sob plantio direto. A amostragem ocorreu em dias de pequenas chuvas que sucederam um período de seca; BIRCH, (1960), CAMPBELL et al., (1973) e CAMPBELL e BIEDERBECK (1982) também observaram um aumento no fluxo de  $\text{NH}_4^+$  em situação semelhante. Segundo estes pesquisadores, este fato deve-se à maior densidade e variedade dos microrganismos amonificadores em detrimento dos nitrificadores, que continuam a mineralizar substrato orgânico em condições de baixa umidade, substrato este representado pela matéria orgânica acumulada na superfície do solo sob plantio direto.

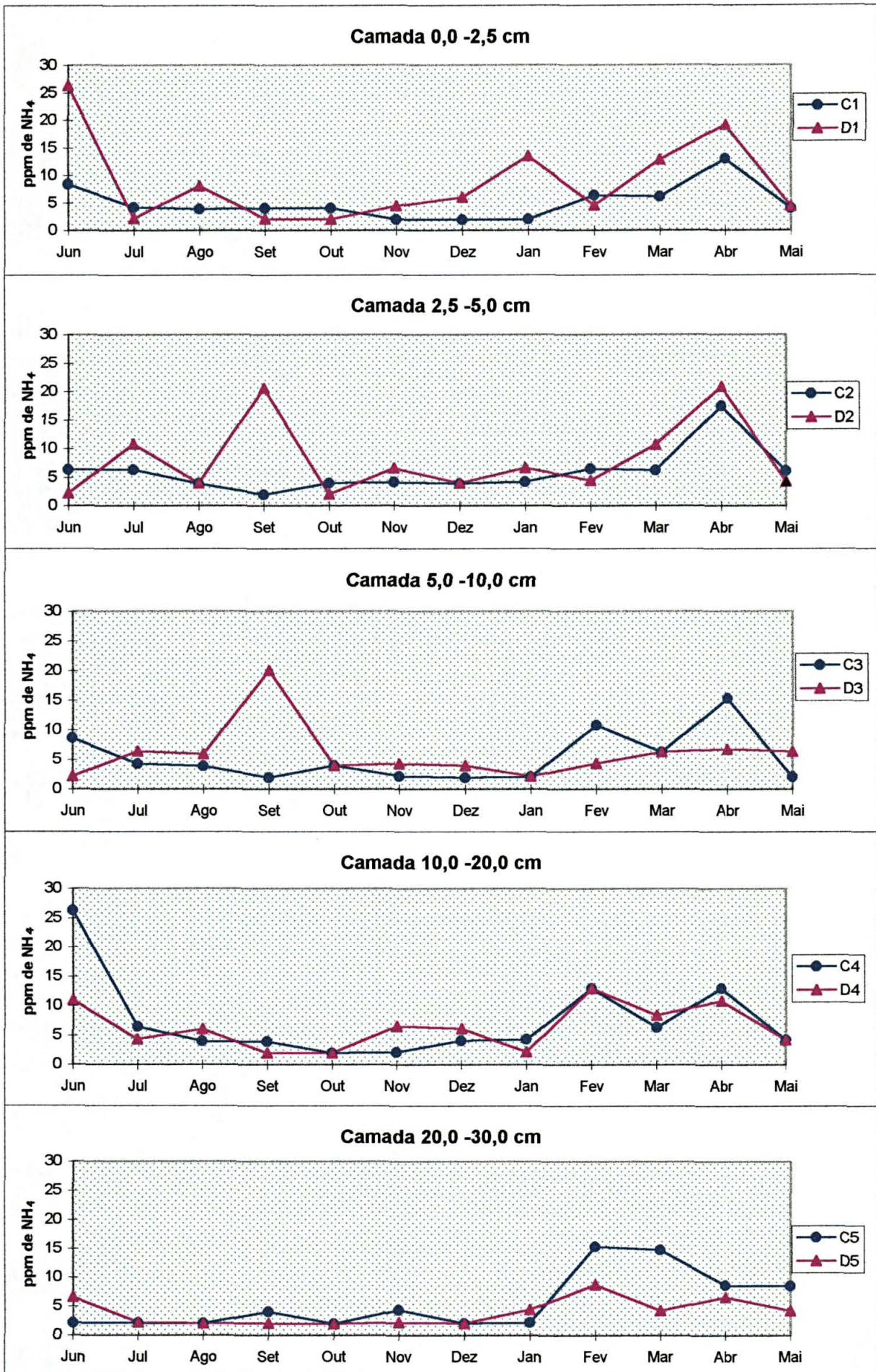
Em fevereiro, constatou-se pequena queda nos valores de  $\text{NH}_4^+$  da camada 0,0-5,0 cm e um concomitante acréscimo nas camadas mais profundas (5,0-30,0 cm) para os dois sistemas de preparo, sugerindo uma possível lixiviação.

Em maio, em decorrência da queda de temperatura e diminuição da oferta de substrato ocasionado pelo pousio, observou-se queda nos teores de amônio para quase todas os tratamentos pesquisados.

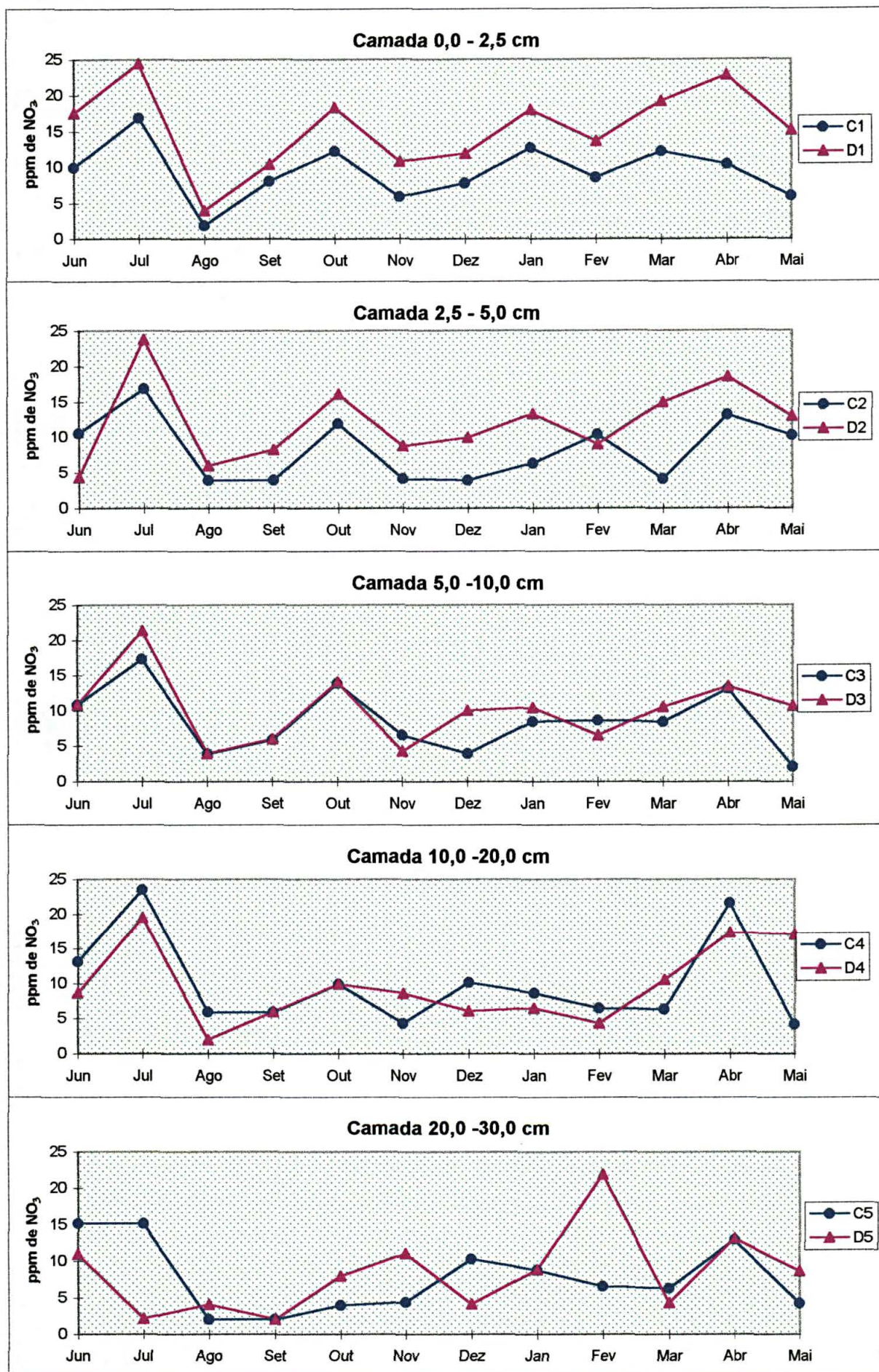
Os teores de nitrato apresentaram comportamento semelhante durante o ano para os dois sistemas de solo pesquisados e com algumas exceções os maiores teores ocorreram em julho, outubro e abril e os menores em agosto, novembro e fevereiro, para as profundidades amostradas (Figura 22).

Pode-se verificar para a camada 0,0 - 20,0 cm, uma estreita interação entre os teores de umidade e nitrato (FIGURAS 14 e 22), onde os acréscimos e decréscimos da umidade foram seguidos pelo teor de nitrato, concordando com CAMPBELL e BIEDERBECK (1982) que monitorando os teores de  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$  nas profundidades 0 - 2,5; 2,5 -15 e 15 -30 cm de um solo sob plantio convencional e direto, observaram que os teores de nitrato, nas camadas 0,0 -15,0 cm responderam às variações da umidade.

**FIGURA 21 - Flutuação dos teores de amônio em solo sob plantio direto e convencional, em cinco profundidades, de junho de 1994 a maio de 1995.**



**FIGURA 22** - Flutuação de nitrato em solo sob plantio direto e convencional, em cinco profundidades, de junho de 1994 a maio de 1995.



Nas amostragens de novembro e fevereiro, efetuadas 2 a 3 dias após chuvas fortes, observou-se sob plantio direto um decréscimo no teor de nitrato na camada 0,0-20,0 cm, e um concomitante aumento nos teores da camada 20,0-30,0 cm (FIGURA 23). Este fato, também observado por THOMAS et al.(1973) e CAMPBELL e BIEDERBECK (1982) pode ser resultante da lixiviação do nitrato.

A queda nos teores de nitrato, para os dois sistemas de manejo, ocorrida em novembro, também pode ter sido originada pela imobilização deste nutriente, ocasionada pelo preparo do solo para o plantio da soja. No plantio convencional esta queda foi maior, principalmente na camada 10,0 - 20,0 cm, refletindo a incorporação da palhada deste tipo de cultivo.

Em agosto, os 17 dias sem chuva resultaram em queda nos teores de nitrato, pela diminuição da mineralização, mas em setembro, os 11 mm de chuva ocorrida nos dias anteriores à amostragem provocaram imediato acréscimo no conteúdo de  $\text{NO}_3^-$ .

CAMPBELL e BIEDERBECK (1982), observaram um aumento no fluxo de  $\text{NH}_4$  e  $\text{NO}_3$  após pequenas chuvas, que sucederam um período de seca, segundo os autores este acréscimo foi resultado da mineralização da biomassa morta, pela população microbiana estimulada pelo aumento da umidade.

As maiores concentrações de nitrato no solo, independente do tipo de cultivo, foram verificadas durante o outono e inverno, como produto da decomposição e mineralização dos resíduos da colheita e da matéria orgânica do solo (DOWNDELL et al., 1983). Resultados semelhantes foram descritos por HOLTZ (1995), que trabalhando com plantio direto no mesmo local que o desta pesquisa, constatou maiores concentrações de  $\text{NO}_3$  na solução do solo, no fim de outono começo de inverno.

## 5 - CONCLUSÕES

a) A distribuição dos nutrientes entre os dois tipos de cultivo refletiu a mobilização do solo, sob plantio direto os teores de Cálcio, Magnésio, Potássio e matéria orgânica concentraram-se na superfície do solo e sob plantio convencional distribuíram-se uniformemente na camada arada (0,0 - 20,0 cm). Os níveis de Fósforo foram sensivelmente maiores sob plantio direto, principalmente na camada 0,0- 10,0 cm.

b) Os teores de nitrato e amônio foram superiores sob plantio direto para todas as profundidades amostradas, com exceção da camada 10,0 -20,0 cm, onde foram maiores sob plantio convencional.

c) Verificou-se, durante o período de amostragem, que os teores de umidade da camada 0,0- 5,0 cm do solo foram maiores para o plantio direto; abaixo disto os teores de umidade foram semelhantes para os dois tipos de cultivo.

d) A distribuição da população microbiana refletiu a localização dos restos culturais, sob plantio direto, a população de fungos, bactérias, actinomicetos microrganismos solubilizadores de fosfato e bactérias nitrificantes concentrou-se nos 5 cm superficiais do solo, sendo as densidades encontradas superiores às observadas para a mesma camada do solo sob plantio convencional. Nas demais profundidades ocorreu o inverso com o solo sob plantio convencional apresentando as maiores populações em distribuição homogênea na camada arada.

e) A biomassa microbiana do solo sob plantio convencional foi maior na camada 0,0 -2,5 cm e sob plantio direto a biomassa microbiana em todas as camadas foi superior à encontrada sob plantio convencional, com exceção da camada mais profunda (20,0 -30,0 cm )onde ocorreu o inverso.

f) As maiores diferenças entre os dois tipos de preparo do solo em relação à distribuição dos parâmetros químicos e biológicos pesquisados, localizaram-se na camada 0,0-20,0 cm, abaixo disto a densidade de microrganismos não apresentou diferenças significativas. Sugere-se então, que em pesquisas envolvendo os sistema de plantio direto e convencional, utilize-se como camada pesquisada a profundidade 0,0 -20,0 cm seccionada em quantas partes forem possíveis.

g) Neste trabalho as estações climáticas não apresentaram influência definida sobre a densidade e atividade dos microrganismos, que variaram para cada microrganismo de acordo com as interações entre umidade e temperatura.

## **6. ANEXO**

## 6.1. ANEXO 1- SOLUÇÕES UTILIZADAS

### 6.1.1 - Solução de NaCl 0,8%

Dissolver 8 g de NaCl em 1000 ml de água deionizada.

Acondicionar 90 ml em frascos de 100 ml com tampa e autoclavar.

### 6.1.2 - Solução de Fe-EDTA.

Na-EDTA	6,07 g
FeSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	6,17 g
Água deionizada q.s.p.	1000 ml

### 6.1.3 - Solução de Micronutrientes.

NaMoO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	0,2g
MnSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	0,235g
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	0,28g
CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O	0,008g
ZnSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	0,024g
Água deionizada q.s.p.	1000 ml

### 6.1.4 - Solução de clorofórmio livre de álcool (JENKINSON & POWLSON, 1976a)

Acondicione o clorofórmio concentrado a ser purificado em bekers de 250 ml. Leve-os ao dessecador e proceda o vácuo até que o clorofórmio borbulhe, assim permanecendo até que cessem as borbulhas.

### 6.1.5 - Solução de NaOH 0,5N

Dissolver 20 g de NaOH em 1000 ml de água deionizada.

### 6.1.6 - Solução de BaCl<sub>3</sub> 3N

Dissolver 36,6 g de BaCl<sub>3</sub> em 100 ml de água deionizada aquecida.

### 6.1.7 - Solução de Fenolftaleína

Dissolver 1 g de Fenolftaleína em 100 ml de álcool 95%.

#### 6.1.8 - Solução de HCl 0,5 N

Dissolver 41,15 ml de HCl concentrado em 1000 ml de água deionizada.  
Padronizar com solução de TRIS 0,5N e vermelho de metila.

#### 6.1.9 - Solução de Griess-Ilosvay. ( ALEXANDER & CLARK, 1965).

Solução A: Dissolver 0,6 g de L-naftilamina em 10-20 ml de água deionizada, com 1 ml de HCl concentrado. Completar para 100 ml com água deionizada.

Solução B : Dissolver 0,6 g de ácido sulfanílico em 70 ml de água deionizada aquecida. Espere esfriar e adicione 20 ml de HCl concentrado. Complete para 100 ml com água deionizada.

Solução C : Dissolver 0,6 g de acetato de sódio em 100 ml de água deionizada.

Guarde as três soluções em frascos sob refrigeração. No momento do uso misture partes iguais de cada uma das soluções e utilize três à quatro gotas da mistura por tubo de ensaio.

#### 6.1.10 - Solução de KCl 1N

Dissolver 74,6g de KCl em 1000 ml de água deionizada.

#### 6.1.11 - Solução de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,005 N

Preparar uma solução de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,05 N, diluindo 1,4 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> em 1000 ml de água deionizada. A seguir tomar 100 ml desta solução e completar para 1000 ml com água deionizada.

#### 6.1.12 - Solução indicadora de ácido bórico.

Dissolver 20 g de H<sub>2</sub>BO<sub>3</sub> em 700 ml de água deionizada aquecida. Após resfriar adicione 20 ml de indicador misto, complete para 1000 ml com água deionizada e ajuste o pH para 5,0.

Indicador misto:

Verde de bromocresol	0,099g
Vermelho de metila	0,066g
Etanol	100 ml.

## 6.2 ANEXO 2 -MEIOS DE CULTURA UTILIZADOS.

### 6.2.1 - Meio de Thornton (JOHNSON & CURL, 1972).

<u>Reagente</u>	<u>g/l</u>
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	1,0
MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	0,2
CaCl <sub>2</sub>	0,1
NaCl	0,1
FeCl <sub>3</sub>	0,002
KNO <sub>3</sub>	0,5
Manitol	1,0
Asparagina	0,5
Ágar	14,0
Água deionizada q.s.p.	1000 ml
pH ajustado para 7,4.	

### 6.2.2- Meio amido-caseína-agar (JOHNSON & CURL, 1972).

<u>Reagente</u>	<u>g/l</u>
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	2,0
MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	0,5
NaCl	2,0
KNO <sub>3</sub>	2,0
FeSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	0,01
CaCO <sub>3</sub>	0,02
Amido	10,0
Caseína	0,3
Ágar	14,0
Água deionizada q.s.p.	1000 ml
pH ajustado para 6,7 à 7,0	

2.3 - Meio nitrito- carbonato de cálcio (ALEXANDER & CLARK, 1965).

<u>Reagente</u>	<u>g/l</u>
$K_2HPO_4$	1,0
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	0,1
NaCl	0,3
$CaCl_2$	0,3
$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	0,03
$CaCO_3$	1,0
$KNO_2$	0,06
Água deionizada q.s.p.	1000 ml

\* Distribuir 3 ml por tubo de ensaio.

6.2.4 - Meio peptona-dextrose-Rosa Bengala (JOHNSON & CURL, 1972).

<u>Reagente</u>	<u>g/l</u>
$KH_2PO_4$	1,0
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	0,5
Peptona	5,0
Dextrose	10,0
Rosa Bengala	0,033
Ágar	14,0
Água deionizada q.s.p.	1000 ml

6.2.5 - Meio amônio- carbonato de cálcio (ALEXANDER & CLARK, 1965).

<u>Reagente</u>	<u>g/l</u>
$K_2HPO_4$	1,0
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	0,3
NaCl	0,3
$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	0,03
$CaCO_3$	7,5
$(NH_4)_2SO_4$	0,5
Água deionizada q.s.p.	1000 ml

\* Distribuir 3 ml por tubo de ensaio.

## 6.2.6 - Meio glicose-extrato de solo ( SYLVESTER-BRADLEY et al., 1982).

<u>Reagente</u>	<u>g/l</u>
MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	0,2
NaCl	0,1
CaCl <sub>2</sub>	0,02
KNO <sub>3</sub>	0,1
Extrato de Levedo	0,5
Fe-EDTA	4 ml
Solução de Micronutrientes	2 ml
Ágar	14,0
Água deionizada q.s.p.	850 ml
pH ajustado para 7,0.	

Soluções Suplementares

K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> 10%	5 g /50 msl água deionizada
CaCl <sub>2</sub> 10%	10g/100 msl água deionizada

\* As soluções suplementares foram preparadas à parte e adicionadas ao meio de cultura imediatamente antes sua distribuição nas placas de Petri.

**ANEXO 3.** População microbiana em solo sob sistema de plantio direto e convencional, em cinco profundidades  
Média de 12 amostragens

Prof. (cm)	Fungos ufc/gss x 10 <sup>3</sup>		Bactérias ufc/gss x 10 <sup>5</sup>		Actinomicetos ufc/gss x 10 <sup>5</sup>		Solubilizadores ufc/gss x10 <sup>3</sup>		Nitrosomonas n° de céls/gss		Nitrobacter n° de céls/gss	
	<u>PD</u>	<u>PC</u>	<u>PD</u>	<u>PC</u>	<u>PD</u>	<u>PC</u>	<u>PD</u>	<u>PC</u>	<u>PD</u>	<u>PC</u>	<u>PD</u>	<u>PC</u>
0,0 -2,5	77.2	42.71	82.4	67.4	47.6	31.4	10.6	7.5	8.9	4.6	10.61	4.58
2,5 5,0	35.6	35.7	71.4	72.0	35.6	35.7	7.0	8.2	5.2	4.3	7.03	4.33
5,0- 10,0	21.5	33.2	58.7	71.6	21.5	33.	4.6	6.6	5.0	5.0	4.64	5.03
10,0- 20,0	25.1	25.8	50.9	58.1	21.4	25.8	5.0	6.5	1.6	3.8	5.06	3.79
20,0-30,0	12.6	18.0	31.3	34.5	12.6	18.0	3.6	5.9	1.7	1.7	3.60	1.71

**ANEXO 4.** Biomassa microbiana do solo e teores de nitrato e amônio  
em solo sob sistema de plantio direto e convencional em  
cinco profundidades. Média de 12 amostragens

Prof. (cm)	Biomassa g/kg		Amônio mg/kg		Nitrato mg/kg	
	<u>PD</u>	<u>PC</u>	<u>PD</u>	<u>PC</u>	<u>PD</u>	<u>PC</u>
0,0 -2,5	54.5	48.6	8.79	5.00	15.54	9.38
2,5 5,0	59.2	41.7	8.11	5.94	12.17	8.32
5,0- 10,0	46.7	42.7	6.09	5.32	10.21	8.61
10,0- 20,0	41.7	40.1	6.39	7.48	9.72	10.03
20,0-30,0	33.7	36.7	3.97	5.70	8.29	7.67

## 7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADU, J.K.; OADES, J.M. Utilization of organic materials in soil aggregates by bacteria and fungus. *Soil Biological and Biochemistry*, 10: 117-122, 1978.
- ALEXANDER, M. Most-probable-number method for microbial populations. In: BLACK, C.A. (ed.) *Methods of Soil Analysis*. Madison, American Society of Agronomy, v.2, cap. 100, p. 1467-1472, 1965.
- ALEXANDER, M. *Introducion a la microbiologia del suelo*. México, D.F., Libros y Editoriales. 491p. 1980.
- ALEXANDER, M.; CLARK, F.E. Nitrifying bacteria. In: BLACK, C.A. (ed.) *Methods of Soil Analysis*. Madison, American Society of Agronomy. v.2, cap. 102, p. 1477-1483, 1965.
- ALVARES, R.; DIAZ, R.A.; BARBERO, N. ; SANTANATOGLIA, O.J.; BLOTA, L. Soil organic carbon, microbial biomass and CO<sub>2</sub>-C production from three tillage systems. *Soil and Tillage Research*, 33: 17-28, 1995.
- ANDRADE, D.S.; BALOTA, E.L.; COLOZZI-FILHO, A.; HUNGRIA, M. População microbiana em solos sob plantio direto ou convencional, com soja, milho e trigo. In: Encontro Latino Americano sobre Plantio Direto na Pequena Propriedade. Resumos, Ponta Grossa : IAPAR, 1993. p 23.
- ANDERSON, O.E.; BOSWELL, F.C.; HARRISON, R.M. Variations in low temperature adaptability of nitrifiers in acid soils. *Soil Science Society of America Proceedings*, 35: 68-71, 1971.
- ARHENS, E. Beitrag zur frage der Indikatorfunktio der Bodenmikroorganismen am Beispiel von drei Verschiedenen Nutzungsstufen eines Sandbodens. *Soil Biological and Biochemistry*, 9: 185-191,1976.
- AUERSWALD, K.; MUTCER, C.R.; MCGREGOR, K.C. The influence of tillage-induced differences in surface moisture content on soil erosion. *Soil and Tillage Research*, 32: 41-50, 1994.
- AULAKH, M.S.; RENNIE, D.A.; PAUL, E.D. The influence of plant residues on denitrification rates in conventional and zero tilled. *Soil Science Society of America Journal*, 48: 790-794, 1984.
- BEARE, M.H.; PARMELEE, R.W.; HENDRIX,P.F.; CHENG, W. Microbial and faunal interactions and effects on litter nitrogen and decomposition in agroecosystems. *Ecological Monographs*, 62:(4): 569-591, 1992.
- BELSER, L.W. Inhibition of nitrification. In: *Advances in Agricultural Microbiology*. SUBBA RAO, N.S. (ed.), London. Butterworth p. 267-293, 1982.
- BIEDERBECK, V.O.; CAMPBELL, C.A. Influence of simulated fall and spring conditions on the soil systems: I Effect on soil microflora. *Soil Science Society of America Proceedings*, 35: 474-479, 1971.

- BIEDERBECK, V.O.; CAMPBELL, C.A. Soil microbial activity as influenced by temperature trends and fluctuations. *Canadian Journal of Soil Science*, 53: 363-376, 1973.
- BIRCH, H.F. Nitrification in soils after different periods of dryness. *Plant and Soil*, 12: 81-96, 1960.
- BLEVINS, R.L.; THOMAS, G.W.; CORNELIUS, P.L. Influence of no-tillage and nitrogen fertilization on certain soil properties after five years of continuous corn. *Agronomy Journal*, 69: 383-386, 1977.
- BLEVINS, R.L.; THOMAS, G.W.; SMITH, M.S.; FRYE, W.W.; CORNELIUS, P.L. Changes in soil properties after 10 years of continuous non-tilled and conventionally tilled corn. *Soil and Tillage Research*, 3: 153-146, 1983.
- BREMNER, J.M. Inorganic forms of nitrogen. n: BLACK, C.A. (ed.) *Methods of Soil Analysis*. Madison, American Society of Agronomy. v.2, cap. 84, p. 1179-1232, 1965.
- BRODER, M.W.; DORAN, W.J.; PETERSON, G.A.; FENSTER, C.R. Fallow tillage influence on spring populations of soil nitrifiers, denitrifiers and available nitrogen. *Soil Science Society of America Journal*, 48: 1060-1067, 1984.
- BRODER, M.W.; WAGNER, G.H. Microbial colonization and decomposition of corn, wheat, and soybean residue. *Soil Science Society of America Journal*, 52: 112-116, 1988.
- BUCHANAN, M. ; KING, L.D. Seasonal fluctuations in soil microbial biomass carbon, phosphorus and activity in no-till and reduced- chemical- input maize agroecosystems. *Biology and Fertility of Soils*, 13: 211-217, 1992.
- BURFORD, J.R.; DOWDELL, R.J.; CREES, R. Emission of nitrous oxide to the atmosphere from direct-drilled and ploughed clay soils. *Journal Science Food Agricultural*, 32: 219-233, 1981.
- CAMPBELL, C.A.; BIEDERBECK, V.O.; WARDER, F.G.; ROBERTSON, G.W. Effect of rainfall and subsequent drying on nitrogen and phosphorus changes in a dryland fallow loan. *Soil Science Society of America Proceedings*, 37: 909-915, 1973.
- CAMPBELL, C.A.; BIEDERBECK, V.O. Soil bacterial changes as affected by growing season weather conditions: A field and laboratory study. *Canadian Journal of Soil Science*, 56: 293-310, 1976.
- CAMPBELL, C.A.; BIEDERBECK, V.O. Changes in mineral Nitrogen and number of bacteria and actinomycetes during two years under wheat-fallow in Southwestern Saskatchewan. *Canadian Journal of Soil Science*, 62: 125-137, 1982.
- CAMPBELL, C.A.; BIEDERBECK, V.O.; SCHINITZER, M.; SELLES, F.; ZENTNER, R.P. Effect of 6 years of zero tillage and N fertilizer management on changes in soil quality of an Orthic Brown Chernozem in southwestern Saskatchewan. *Soil and Tillage Research*, 14: 39-52, 1989.

- CAMPBELL, C.A.; ZENTNER, R.P. Soil organic matter as influenced by crop rotations and fertilization. *Soil Science Society of America Journal*, 57: 1034-1040, 1992.
- CARTER, M.R. Microbial biomass as an index for tillage - induced changes in soil biological properties. *Soil and Tillage Research*, 7: 29-40, 1986.
- CARTER, M.R.; RENNIE, D.A. Changes in soil quality under zero tillage farming systems: distributions of microbial biomass and mineralizable C and N potentials. *Canadian Journal of Soil Science*, 62: 587- 597, 1982.
- CARTER, M.R.; RENNIE, D.A. Nitrogen transformations under zero and shallow-tillage. *Soil Science Society of America Journal*, 48: 1077-1081, 1984.
- CARVALHO, P.C.T.; SALGADO, J.M.; SANTANA, E.P. Biotransformação da apatita de Araxá em solo suplementado com diferentes fontes de carbono. *O Solo*, 1: 30-35, 1977.
- CATELLAN, A.J. *Sistemas de culturas e os microrganismos do solo*. Porto Alegre, 1989. Dissertação (Mestrado em Agronomia) -Faculdade de Agronomia, UFRGS. 152p.
- CHANG, C.; LINDWALL, C.W. Effects of tillage and crop rotation on physical properties of a loam soil. *Soil and Tillage Research*, 22: 383-389, 1992.
- COCHRAN, V.L.; ELLIOTT, L.F.; LEWIS, C.E. Soil microbial biomass and enzyme activity in subarctic agricultural and forest soils. *Biology and Fertility of Soils*, 7: 283-290, 1989.
- COCHRAN, V.L.; SPARROW, S.D.; SPARROW, E.B. Residue effects on soil micro and macroorganisms. In: UNGER, P.W. *Managing agriculture residues*. Texas: Lewis Publishers, 1984. p.164-171.
- COLLINS, H.P.; RASMUNSEN, P.E.; DOUGLAS Jr, C.L. Crop rotation and residue management effects on soil carbon and microbial dynamics. *Soil Science Society of America Journal*, 56: 783-788, 1992.
- COOKE, R.C.; RAYNER, D.M. *Ecology of saprophytic fungi*. New York, Longman, 1984.
- DALAL, R.C.; HENDERSON, P.A. GLASBY, J.M. Organic matter and microbial biomass in a Vertisol after 20 year of zero-tillage. *Soil Biology and Biochemistry*, 23: 435-441, 1991.
- DALTON, J.D.; RUSSEL, G.C.; SIELING, H.D. Effects of organic matter on phosphate availability. *Soil Science*, 73(2):173-181, 1952.
- DERPSCH, R.; ROTH, C.H.; SIDIRAS, N.; KOPKE, U. *Controle da erosão no Paraná, Brasil: Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo*. Eschorn: Convênio GTZ e IAPAR, 1991.
- DICK, W.A. Organic carbon, nitrogen and phosphorus concentrations and pH in soil profiles as affected by tillage intensity. *Soil Science Society of America Journal*, 47: 102-107, 1983.

- DOMMERGUES, Y.; MANGENOT, F. *Ecologie microbienne du sol*. Paris, Masson et Cie, 790p, 1970.
- DOMSCH, K.H. Influence of management on microbial communities in soil. In: JENSEN, K.; KJOLLER, A.; SORENSEN, L.H. editors. *Microbial communities in soil*. FEMS Symposium n° 33, Elsevier Applied Science Publishers, 1985.
- DORAN, W. J. Microbial changes associated with residue management with reduced tillage. *Soil Science Society of America Journal*, 44: 518-524, 1980a.
- DORAN, W. J. Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. *Soil Science Society of America Journal*, 44: 765-771, 1980b.
- DORAN, W. J. Microbial biomass and mineralizable nitrogen distributions in no-tillage and plowed soils. *Biology and Fertility of Soils*. 5: 68-75, 1987.
- DOUGLAS Jr., C.L.; ALMARAS, R.R.; RASMUNSEN, P.E.; RAMIG, R.E.; ROAGER Jr., N.C. Wheat straw composition and placement effects on decomposition in dryland agriculture of the Pacific Northwest. *Soil Science Society of America Journal*, 44:33-837, 1980.
- DOWDELL, R.J.; CREES, R.; CANNELL, Q. A field study of effects of contrasting methods of cultivation on soil nitrate content during autumn, winter, and spring. *Journal of Soil Science*, 34: 367-369, 1983.
- EIRA, A.F. Solubilização microbiana de fosfatos. In: CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M.; NEVES, M.C.P. (Coord). *Microbiologia do Solo*. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992.
- EMBRAPA. *Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Paraná*. Boletim Técnico no 27 - Tomo I. Curitiba, EMBRAPA- SNLCS/ SUDESUL/ IAPAR, 1984.
- EMBRAPA. *Manual de Métodos de Análises de Solo*. Rio de Janeiro: Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, 1979.
- FRANZLUEBBERS, A.J.; HONS, F.M.; ZUBERER, D.A. Seasonal changes in soil microbial biomass and mineralizable C and N in wheat management. *Soil Biological and Biochemistry*, 26: 1469-1475, 1994.
- FOLLET, R.F.; SCHIMEL, D.S. Effect of tillage practices on microbial biomass dynamics. *Soil Science Society of America Journal*, 53: 1091- 1096, 1989.
- GAMBLE, S.J.R.; EDMINISTER, T.W.; ORCUTT, F.S. Influence of double-cut plow mulch tillage on number and activity of microorganisms. *Soil Science Society of America Proceedings*, 16: 267-269, 1952.
- GRANATSTEIN, D.M.; BEZDICEK, D.F.; COCHRAN, V.L.; ELLIOT, L.F., HAMMEL, J. Long- term tillage and rotations effects on soil microbial biomass, carbon and nitrogen. *Biology and Fertility of Soils*, 5: 265-270, 1987.

- GRANT, C.A.; LAFOND, G.P. The effects of tillage systems and crop rotations on soil chemical properties of a Black Chernozemic soil. *Canadian Journal of Soil Science*, 74:(3): 301-306, 1994.
- GRAY, T.R.G.; WILLIAMS, S.T. *Soil microorganisms*. London. Ed. Longman, 1971.
- GRIFFIN, D.M. *Ecology of soil fungi*. New York: University Press, 1972.
- GROFFMAN, P.M. Nitrification and denitrification in conventional and no tillage soil. *Soil Science Society of America Journal*, 49: 329-334, 1985.
- HARRIS, P.A.; SCHOEMBERG, H.H.; BANKS, P.A.; GIDENS, J. Burning, tillage and herbicide effects on the soil microflora in a wheat-soybean double-crop system. *Soil Biology and Biochemistry*, 27: 153-156, 1995.
- HARRISON, M.J.; PACHA, R.E.; MORITA, R. Solubilization of inorganic phosphate by bacteria isolated from upper Klamath Lake sediment. *Limnology Oceanographic*, 17(1): 50-57, 1972.
- HATTORI, T. *Microbial life in the soil: An introduction*. New York, Marcel Dekker, 1973.
- HENDRIX, P.F.; PARMELLE, R.W.; CROSSLEY JR, D.A.; COLEMAN, D.C.; ODUM, E.P.; GROFFMAN, P.M. Detritus food webs in conventional and no-tillage agroecosystems. *BioScience*, 36: 374-380, 1986.
- HILL, R.L.; HORTON, R.; CRUSE, R.M. Tillage effects on soil water retention and pore size distribution of two Mollisols. *Soil Science Society of America Journal*, 49: 1264-1270, 1985.
- HOLLAND, E.A.; COLEMAN, D.C. Litter placement effects on microbial and organic matter dynamics in an agroecosystem. *Ecology*, 68:(2): 425-433, 1987.
- HOLTZ, G.P. *Dinâmica da decomposição da palhada e da distribuição do carbono, nitrogênio e fósforo numa rotação de culturas sob plantio direto na região de Carambeí (PR)*. Curitiba, 1995. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Ciência do Solo) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. 129p.
- HOWARD, D.M.; HOWARD, P.J.A. Relationships between CO<sub>2</sub> evolution, moisture content and temperature for a range of soils types. *Soil Biology and Biochemistry*, 25: 1537-1546, 1993.
- HUNGRIA, M.; ANDRADE, D.S.; COLOZZI FILHO, A.; BALOTA, E.L.; SANTOS, J.C.F. Ecologia microbiana nos solos sob cultivo na região sul do Brasil. In: HUNGRIA, M; BALOTA, E.L.; COLOZZI FILHO, A. ANDRADE, D.S. (Editores): *Anais do III Simpósio Brasileiro sobre Microbiologia do Solo e VI Reunião de Laboratórios para Recomendação de estirpes de Rhizobium e Bradyrhizobium*. Londrina, PR 1994.
- INSAN, H. Are the soil microbial biomass and basal respiration governed by the climatic regime? *Soil Biology and Biochemistry*, 22: 525-532, 1990.
- JENKINSON, D.S. Studies on decomposition of plant material in soil. II- Partial sterilization of soil and the soil biomass. *Journal of Soil Science*, 17: 280-302, 1966.

- JENKINSON, D.S.; POWLSON, D.S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil - I. Fumigation with chloroform. *Soil Biology and Biochemistry*, 8: 167-177, 1976a.
- JENKINSON, D.S.; POWLSON, D.S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil - V. A method for measuring soil biomass. *Soil Biology and Biochemistry*, 8: 209-213, 1976b.
- JOHNSON, L.F.; CURL, E.A. *Methods for Research on the Ecology of Soil-Borne Plant Pathogens*. Minneapolis, Burgess Publishing Company, 1972.
- JUO, A.S.R.; LAL, R. Nutrient profile in a tropical Alfisol under conventional and no-till systems. *Soil Science*, 127(3): 168-173, 1979.
- KAISER, E.A.; HEINEMEYER, O. Seasonal variations of soil microbial biomass carbon within the plough layer. *Soil Biology and Biochemistry*, 25: 1649-1655, 1993.
- KARLEN, D.L.; WOLLENHAUPT, N.C.; ERBACH, D.C.; BERRY, E.C.; SWAN, EASCH N.S.; JORDAHL, J.L. Crop residue on soil quality following 10 years of no-till corn. *Soil and Tillage Research*, 31: 149-167, 1994a.
- KARLEN, D.L.; WOLLENHAUPT, N.C.; BERRY, E.C.; SWAN, J.B.; EASCH N.S.; JORDAHL, J.L. Long-term tillage effects on soil quality. *Soil and Tillage Research*, 32: 313-327, 1994b.
- KASSIM, G.; MARTIN, J.P.; HAIDER, K.. Incorporation of a wide variety of organic substrate carbons into soil biomass as estimated by the fumigation procedure. *Soil Science Society of America Journal*, 45: 1106-1112, 1981.
- KATZNELSON, E.O.; PETERSON, E.A.; ROUATT, J.W. Phosphate dissolving microorganisms on seed and in root zone of plants. *Canadian Journal of Botany*, 40(9): 1181-1186, 1962.
- KNAPP, E.B.; ELLIOTT, L.F. CAMPBELL, G.S. Microbial respiration and growth during the decomposition of wheat straw. *Soil Biology and Biochemistry*, 15: 319-323, 1983.
- KLADVICO, E.J. Residue effects on soil physical properties. In: UNGER, P.W. *Managing agriculture residues*. Texas: Lewis Publishers, 1984. p.123 -139.
- KUCEY, R.M.N. Phosphate-solubilizing bacteria and fungi in various cultivated and virgin Alberta soil. *Canadian Journal of Soil Science*, 63: 671-678, 1983.
- LANGDALE, G.W.; HARGROVE, W.L.; GIDDENS, J.E. Residue management in double-crop conservation tillage systems. *Agronomy Journal*, 76: 689- ,1984.
- LINN, D.M.; DORAN, W.J. Aerobic and anaerobic microbial populations in no-till and plowed soils. *Soil Science Society of America Journal*, 48: 518-524, 1984.
- LOVELL, R.D.; JARVIS, S.C.; BARDGETT, R.D. Soil microbial activity in long-term grassland : effects of management changes. *Soil Biology and Biochemistry*, 27: 969-975, 1995.

- LYNCH, J.M.; PANTING, L.M. Variations in the size of the soil biomass. *Soil Biology and Biochemistry*, 12: 547-550, 1980.
- LYNCH, J.M.; PANTING, L.M. Effects of season, cultivation and nitrogen fertiliser on the size of the soil microbial biomass. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 33: 249-252, 1982.
- MAHENDRAPP, M.K.; SMITH, R.L.; CHRISTIANSEN, A.T. Nitrifying organisms affect by climatic region in western United States. *Soil Science Society of America Proceedings*, 30: 60-62, 1966.
- MANNERING, J.V.; MEYER, L.D. The effects of various rates of surface mulch on infiltration and erosion. *Soil Science Society of America Proceedings*, 27: 84-86, 1963.
- MARTYNIUK, S.; WAGNER, G.H. Quantitative e qualitative examination of soil microflora associated with different management systems. *Soil Science*, 125: 343-350, 1978.
- MEIKLEJOHN, J. The nitrifying bacteria: a review. *Journal of Soil Science*, 4: 59-68, 1953.
- MINHONI, M.T.A.; CARDOSO, E.J.B.N.; EIRA, A.F. Efeito de cinco tipos de matéria orgânica na solubilização microbiana de fosfato de rocha. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 15: 29-35, 1991.
- MOLLA, M.A.Z.; CHOWDHURY, A.A.; ISLAM, A.; HOQUE, S. Microbial mineralization of organic phosphate in soil. *Plant and Soil*, 78: 393-399, 1984.
- MOTTA, S.F. *Meteorologia agrícola*. Editora Nobel, São Paulo, 1983.
- MORRIL, L.G.; DAWSON, J.E. Patterns observed for the oxidation of ammonium to nitrate by soil organisms. *Soil Science Society of America Proceedings*, 31: 757-760, 1967.
- MUZZILI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a camada arável do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 7: 95-102, 1983.
- MUZZILI, O. Fertilidade do solo em plantio direto. In: FANCELLI, A.L.; TONADO, P.V.; MACHADO, J., Coordenadores. *Atualização em plantio direto*. Campinas: Fundação Cargil, 1985. p. 147-159.
- NAHAS, E.; CENTURION, J.F.; ASSIS, L.C. Microrganismos solubilizadores de fosfato e produtores de fosfatase de vários solos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 18: 43-48, 1994a.
- 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*, 18: 49-53, 1994b.
- NAPLEKOVA, N.N. Release of relatively immobile phosphate by fungi and actinomicetes growing on cellulose. *Soviet Soil Science*, 11: 1495-1503, 1967.

- NORSTAD, F.A.; McCALLA, T.M. Microbial populations in stubble-mulched soil *Soil Science*, 107: 188-193, 1969.
- PARKER, D.T.; LARSON, W.E. Nitrification as affected by temperature and moisture content of mulched soils. *Soil Science Society of America Proceedings* 26: 238-242, 1962.
- PATRA, D.D.; BROOKES, P.C.; COLEMAN, K.; JENKINSON, D.S. Seasonal changes of soil microbial biomass in an arable and grassland soil which have been under uniform management for many years. *Soil Biology and Biochemistry*, 22: 739-742, 1990.
- PAUL, E.A.; CLARK, F.E. *Soil Microbiology and Biochemistry*. San Diego, Academic Press. 275p, 1989.
- PAVAN, M.A.; BLOCH, M.F.; ZEMPULSKI, H.C.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D.C. Manual de Análise Química de Solo e Controle de Qualidade. Londrina-PR. IAPAR-Circular nº 76, Novembro, 1992.
- RHANO, P.; AKSEL, M.; RIIS, H. Seasonal dynamics of the numbers of soil microorganisms. *Pedobiologia*, 18: 279-288, 1978.
- RIBAS Jr, S.J. *Solubilização microbiana de fosfato natural e sua interação com fertilizantes orgânicos, na cultura do milho (Zea mays)*. Curitiba, 1987. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Ciência do Solo) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. 195 p.
- RICE, C.W.; SMITH, M.S. Denitrification in no-till and plowed soils. *Soil Science Society of America Journal*, 46: 1168-1172, 1982.
- RICE, C.W.; SMITH, M.S. Nitrification of fertilizer and mineralized ammonium in no-till and plowed soil. *Soil Science Society of America Journal*, 47: 1125-1129, 1983.
- ROSA, F.V.; MACHADO, J.O.; SANDOVAL, C.R.; BARBOSA, J.C. Densidade de microrganismos solubilizadores de fosfato dicálcico em solos de rizosfera de algumas leguminosas forrageiras. *Científica*, 10(2):209-216, 1982.
- ROTH, C.H. Infiltrabilidade num Latossolo Roxo distrófico durante o período vegetativo da soja sob preparo convencional, escarificação e plantio direto. In: *19º Congresso Brasileiro de Ciência do Solo - Programa e Resumos*, Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983.
- SÁ, J.C.M. *Manejo da Fertilidade do Solo no Plantio Direto*. Castro: Fundação ABC, 1993.
- SANDOVAL, C.R.; MACHADO, J.O.; ROSA, F.V.; BARBOSA, J.C. Densidade de microrganismos solubilizadores de fosfato dicálcico em solos de rizosfera de quatro espécies de gramíneas forrageiras. *Científica*, 10(1): 25-33, 1982.
- SANTRUCKOVA, H. Microbial biomass, activity and soil respiration in relation to secondary succession. *Pedobiologia*, 36: 341-350, 1992.

- SHEAR, G.M.; MOSCHLER, W.W. Continuous corn by the no-tillage and conventional tillage methods: A six year comparison. *Agronomy Journal*, 53: 297-306, 1973.
- SIDIRAS, N.; DERPSCH, R.; MANDARDO, A. Influência de diferentes sistemas de preparo do solo na variação da umidade e rendimento da soja, em um latossolo roxo distrófico (oxisol). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 7: 103-106, 1983.
- SIDDOWAY, F.H. Effects of cropping and tillage methods on dry aggregate soil structure. *Soil Science Society of America Proceedings*, 27: 452-454, 1963.
- SIDIRAS, N.; PAVAN, M.A. Influência do sistema de manejo na temperatura do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 10:(3): 181-184, 1986.
- SILVA FILHO, G.N. *Flutuação populacional de microrganismos em solos submetidos à diferentes sistemas de manejo*. Porto Alegre, 1984. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Agronomia, UFRGS. 153 p.
- SIMARD, R.R.; ANGERS, D.A.; LAPIERRE, C. Soil organic matter quality as influenced by tillage, lime and phosphorus. *Biology and Fertility of Soils*, 18: 13-18, 1994.
- SINGH, H.; SINGH, K.P. Effect of residue placement chemical fertiliser on soil microbial biomass under tropical dryland cultivation. *Biology and Fertility of Soils*, 16: 275-281, 1993.
- SMITH, J.L.; PAPENDICK, R.I.; BEZDICEK, D.; LYNCH, J.M. Soil organic matter dynamics and crop residue management. In: METTING Jr., F.B. (Ed.) *Soil Microbial Ecology- Applications in Agricultural and Environmental Management*. New York, Marcel Dekker, Inc. 1992.
- SPERBER, J.I. Solubilization of apatite by soil microorganisms producing organic acids. *Australian Journal Agricultural Research*, 9: 782-789, 1958.
- STALEY, T.E.; EDWARDS, W.M.; SCOTT, C.L.; OWENS, L.B. Soil microbial biomass and organic component alterations in a no-tillage chronosequence. *Soil Science Society of America Journal*, 52: 988-1005, 1988.
- STINNER, B.R.; HOYT, G.D.; TODD, R.L. Changes in soil chemical properties following a 12-year fallow: a 2 year comparison of conventional tillage and no-tillage agroecosystems. *Soil and Tillage Research*, 3: 277-290, 1983.
- STOTZKY, G. Microbial Respiration. In: BLACK, C.A. (ed.) *Methods of Soil Analysis*. Madison, American Society of Agronomy. v.2, cap. 113, 1550-1572, 1965.
- SYLVESTER-BRADLEY, R.; ASKAWA, N. TORRACA, S. La.; MAGALHÃES, F.M.M.; OLIVEIRA, L.A.; PEREIRA, R.M. Levantamento quantitativo de microrganismos solubilizadores de fosfatos na rizosfera de gramíneas e leguminosas forrageiras na Amazônia. *Acta Amazonica*, 12: 15-22, 1982.
- TEDESCO, M.J.; VOLKWEISS, S.J.; BOHNEN, H. *Análises de Solo, Plantas e outros Materiais*. Boletim Técnico (no 5), Porto Alegre, UFRGS, 1985.
- TIESSEN, H.; STUART, J.W.B.; BETTANY, J.R. Cultivation effects on the amounts and concentrations of carbon, nitrogen and phosphorus in grassland soils. *Agronomy Journal*, 74: 831-835, 1982.

- THOMAS, G.W.; BLEVINS, R.L.; PHILLIPS, R.E.; McMAHON, M.A. Effects of a killed sod mulch on nitrate movement and corn yield. *Agronomy Journal*, 65: 736-739, 1973.
- THOMAS, G.V.; SHANTARAM, M.V.; SARASWATH, Y.N. Occurrence and activity of phosphate solubilizing fungi from coconut plantation soils. *Plant and Soil*, 87:357-364, 1985.
- THOMAS, G.W.; SMITH, M.S.; PHILLIPS, R.E. Impact of Soil Management Practices on Nitrogen Leaching. In: Nitrogen Management and Ground Water Protection. FOLLET, R.F. (ed.), Elsevier, New York, 1989.
- TRACY, P.W.; WESTFALL, D.G.; ELLIOT, E.T.; PETERSON, G.A.; COLE, C.V. Carbon, Nitrogen, Phosphorus and Sulfur mineralization in plow and no-till cultivation. *Soil Science Society of America Journal*, 54: 457-461, 1990.
- TRIPLET Jr., G. B.; VAN DOREN Jr., D.M. Nitrogen, phosphorus and potassium fertilization of no-tilled maize. *Agronomy Journal*, 61: 637-639, 1969.
- UNGER, P.W. Straw mulch effects on soil temperatures and sorghum germination and growth. *Agronomy Journal*, 70: 858-864, 1978.
- UNGER, P.W. Tillage effects on surface soil physical conditions and sorghum emergence. *Soil Science Society of America Journal*, 48: 1423-1428, 1984.
- UNGER, P.W. Organic matter, nutrient and pH distribution in no and conventional-tillage semi-arid soil. *Agronomy Journal*, 83: 186-194, 1991.
- VAN GESTEL, M.; LADD, J.N.; AMATO, M. Microbial biomass responses to seasonal change and imposed drying regimes at increasing depths of undisturbed topsoil profiles. *Soil Biology and Biochemistry*, 24: 103-111, 1992.
- VAN GESTEL, M.; MERCKX, R.; VLASSK, K. Microbial biomass and activity in soil with fluctuating water contents. *Geoderma*, 56: 617-626, 1993.
- VENKTESWARLU, B.; RAO, A.V.; RAINA, P. Evaluation of phosphorus solubilization by microorganisms isolated from Aridisols. *Journal of the Indian Society of Soil Science*, 32: 273-277, 1984.
- VICTORIA, L.; PICCOLO, M.C.; VARGAS, A.A.T. O ciclo do nitrogênio. In: *Microbiologia do Solo*. CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M.; NEVES, M.C. Coord. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992.
- VIEIRA, M.J.; MUZZILI, O. Características físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes sistemas de manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 19: (7): 873-882, 1984.
- VIEIRA, M.J.; Comportamento físico do solo em plantio direto. In: FANCELLI, A.L.; TONADO, P.V.; MACHADO, J., Coordenadores. *Atualização em plantio direto*. Campinas: Fundação Cargil, 1985. p. 163-178.

- WARDLE, D.A. Linkages between the soil microbial biomass and climatic and biotic factors. In: HUNGRIA, M; BALOTA, E.L.; COLOZZI FILHO, A. ANDRADE, D.S. (Editores): *Anais do III Simpósio Brasileiro sobre Microbiologia do Solo e VI Reunião de Laboratórios para Recomendação de estirpes de Rhizobium e Bradyrhizobium*. Londrina, PR 1994.
- WARDLE, D.A.; HUNGRIA, M.A. A biomassa microbiana do solo e sua importância nos ecossistemas terrestres. In: ARAUJO, R.S.; HUNGRIA, M.A. (Ed.). *Microorganismos de Importância Agrícola*. Brasília, EMBRAPA- SPI, 1994. p 195-216.
- WEIL, R.R.; BENEDETTO, P.W.; SIKORA, L.J.; BANDEL, V.A. Influence of tillage practices on phosphorus distribution and forms in three ultisoils. *Agronomy Journal*, 80: 503-509, 1988.