

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**ASPECTOS MICROBIOLÓGICOS E QUÍMICOS EM SOLO
SUBMETIDO À SOLARIZAÇÃO**

JULIANA CRISTINA SODÁRIO CRUZ

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP - Câmpus de Botucatu,
para obtenção do título de Mestre em Agronomia
- Área de Concentração em Proteção de Plantas

BOTUCATU-SP
Agosto-2003

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**ASPECTOS MICROBIOLÓGICOS E QUÍMICOS EM SOLO
SUBMETIDO À SOLARIZAÇÃO**

JULIANA CRISTINA SODÁRIO CRUZ

Orientadora: Profa. Dra. Marli Teixeira de Almeida Minhoni

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP - Câmpus de Botucatu,
para obtenção do título de Mestre em Agronomia
- Área de Concentração em Proteção de Plantas.

BOTUCATU-SP

AGRADECIMENTOS

À profa. Dra. Marli Teixeira de Almeida Minhoni, pela orientação, amizade e, pelos conhecimentos e qualidade com os quais ensinou-me os fundamentos da microbiologia do solo.

Ao Curso de Pós-Graduação em Proteção de Plantas, da UNESP/FCA, pela oportunidade concedida e ao seu corpo docente pelos ensinamentos.

Ao Prof. Augusto Ferreira da Eira, pela convivência diária, exemplos e sugestões.

Ao Prof. Nilton Luiz de Souza, pelo exemplo, e imensurável ajuda nos trabalhos de campo.

Ao Prof. Carlos Alberto Padovani pelo auxílio nas análises estatísticas.

Ao meu namorado Bolivar Pimenta Júnior, pela paciência e apoio de sempre.

Aos amigos Mariana de Melo Rocha, Renato Mamede de Castro Montini, João Kopytowski Filho e Fábio Venegas, pelo convívio e apoio de todas as horas.

Aos colegas de laboratório, pelo convívio agradável.

Aos funcionários da Biblioteca da UNESP/FCA pela amizade, atenção e disposição constantes.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudo.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

Ofereço

*Aos meus pais Benedito e Ângela e meus irmãos
Rodrigo e Mariana pelo apoio, crédito e
principalmente, por valorizarem a educação e terem
acreditado em meu potencial, pois caso contrário, não
seria possível a realização deste trabalho.*

ÍNDICE

	Página
RESUMO	XII
SUMMARY	XIV
1. INTRODUÇÃO.....	16
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	20
2.1. Solarização e propriedades do solo.....	20
2.2. Liberação de CO ₂	25
2.3. Biomassa microbiana do solo.....	28
2.4. Matéria orgânica e os microrganismos do solo.....	32
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	36
3.1. Localização da área experimental.....	36
3.2. Delineamento experimental.....	37
3.3. Características climáticas da área experimental.....	38
3.4. Caracterização química e física do solo na área experimental.....	42
3.5. Solarização.....	42
3.6. Coleta de amostras.....	43
3.7. Parâmetros analisados.....	44
3.7.1. Liberação de CO ₂	44
3.7.2. Carbono da biomassa microbiana.....	45
3.7.3. Contagem de grupos microbianos.....	47

3.7.4. Análises químicas do solo.....	48
3.8. Análise estatística.....	49
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
4.1. Carbono da biomassa microbiana.....	50
4.2. Contagem de microrganismos.....	55
4.2.1. Contagem de fungos.....	55
4.2.2. Contagem de bactérias.....	60
4.3. CO ₂ liberado do solo.....	65
4.3.1. Taxa diária média de CO ₂	65
4.3.2. Dados cumulativos de CO ₂	68
4.4. Características químicas do solo.....	73
4.4.1. pH.....	73
4.4.2. Matéria orgânica do solo.....	75
4.4.3. Fósforo.....	77
4.4.4. Potássio.....	78
4.4.5. Cálcio.....	80
4.4.6. Magnésio.....	81
4.4.7. Alumínio.....	83
4.4.8. Nitrogênio total, amônio e nitrato.....	85
5. CONCLUSÕES.....	88
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	90

LISTA DE FIGURAS

1. Temperatura média do ar, em °C, na região da área experimental, ao longo do período da solarização.....	39
2. Umidade relativa do ar, em %, na região da área experimental, ao longo do período da solarização.....	39
3. Precipitação, em mm, na região da área experimental, ao longo do período de solarização.....	40
4. Temperaturas máximas e mínimas no solo, em °C, para os tratamentos sem solarização e sem incorporação de matéria orgânica (A), com solarização e sem incorporação de matéria orgânica (B), sem solarização e com incorporação de matéria orgânica (C) e com solarização e incorporação de matéria orgânica (D).....	41
5. Quantidade média de carbono da biomassa microbiana, em $\mu\text{g C g}^{-1}$ de solo, em solo com e sem solarização e com e sem matéria orgânica. Média de 3 repetições.....	51
6. Médias da contagem de ufc fúngicas 10^3 g^{-1} de solo, transformados em $\log x$, ao longo do período de coleta. Média de 3 repetições.....	56

7. Médias da contagem de ufc bacterianas 10^3 g^{-1} de solo, transformados em $\log x$, ao longo do período de coleta. Média de 3 repetições.....	61
---	----

LISTA DE QUADROS

1. Análise química do solo da área experimental.....	42
2. Análise física do solo da área experimental.....	42
3. Análise química da fonte de matéria orgânica (couve).....	43
4. Composição dos meios de cultura para quantificação de bactérias (BURNETT et al., 1957) e fungos (MARTIN, 1950).....	48
5. Médias de carbono da biomassa microbiana ($\mu\text{g C g}^{-1}$ de solo), em função de solarização, adição de matéria orgânica e momentos de coleta, e respectivos resultados do teste estatístico.....	52
6. Médias da contagem de unidades formadoras de colônias fúngicas (ufc) (10^3g^{-1} de solo), transformados em logx, em função da solarização, adição de matéria orgânica e momentos de coleta, e respectivos resultados do teste estatístico.....	57
7. Médias da contagem de unidades formadoras de colônias bacterianas (ufc) (10^3g^{-1} de solo), transformados em logx, em função da solarização, adição de matéria orgânica e momentos de coleta, e respectivos resultados do teste estatístico.....	62
8. Mediana e semi-amplitude total da taxa diária média de CO_2 ($\mu\text{g de CO}_2 \text{ dia}^{-1} \text{ g}^{-1}$ de solo), segundo solarização, adição de matéria orgânica e momentos de coleta em diferentes dias de leitura.....	71

9. Mediana e semi-amplitude total da taxa acumulada de CO ₂ (µg de CO ₂ g ⁻¹ de solo), segundo solarização, adição de matéria orgânica e momentos de coleta em diferentes dias de leitura.....	72
10. Médias de valores de pH (CaCl ₂) em função da solarização, adição de matéria orgânica e momentos de coleta, e respectivos resultados do teste estatístico coleta.....	75
11. Médias de matéria orgânica do solo (g dm ⁻³) no solo em função da solarização, adição de matéria orgânica e momentos de coleta, e respectivos resultados do teste estatístico.....	76
12. Médias de teores de fósforo (mg dm ⁻³) no solo em função da solarização, adição de matéria orgânica e momentos de coleta, e respectivos resultados do teste estatístico.....	78
13. Médias de teores de potássio (mmol _c dm ⁻³) no solo em função da solarização, adição de matéria orgânica e momentos de coleta, e respectivos resultados do teste estatístico.....	79
14. Médias de teores de cálcio (mmol _c dm ⁻³) no solo em função da solarização, adição de matéria orgânica e momentos de coleta, e respectivos resultados do teste estatístico.....	81
15. Médias de teores de magnésio (mmol _c dm ⁻³) no solo em função da solarização, adição de matéria orgânica e momentos de coleta, e respectivos resultados do teste estatístico.....	83

16. Médias de teores de alumínio ($\text{mmol}_e \text{ dm}^{-3}$) no solo em função da solarização, adição de matéria orgânica e momentos de coleta, e respectivos resultados do teste estatístico.....	84
17. Médias de Nitrogênio total (g kg^{-1}) no solo em função da solarização, adição de matéria orgânica e momentos de coleta, e respectivos resultados do teste estatístico.....	86
18. Médias de amônio (NH_4^+) (g kg^{-1}) no solo em função da solarização, adição de matéria orgânica e momentos de coleta, e respectivos resultados do teste estatístico.....	87
19. Médias de nitrato (NO_3^-) (g kg^{-1}) no solo em função da solarização, adição de matéria orgânica e momentos de coleta, e respectivos resultados do teste estatístico.....	87

ASPECTOS MICROBIOLÓGICOS DE SOLO E A TÉCNICA DE SOLARIZAÇÃO. Botucatu, 2003. Dissertação (mestrado em Agronomia/Proteção de Plantas) –Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Autora: JULIANA CRISTINA SODÁRIO CRUZ

Orientadora: MARLI TEIXEIRA DE ALMEIDA MINHONI

RESUMO

A técnica de solarização vem sendo utilizada em pequenas propriedades como uma alternativa de substituição de defensivos agrícolas no controle de fitopatógenos, insetos, plantas daninhas e nematóides de solo. Desta forma, instalou-se um experimento em condições de campo, numa área da Fazenda Experimental Lageado, campus da UNESP no município de Botucatu – SP (latitude 22°51'S e longitude 48°26'W) para se avaliar o impacto desta técnica sobre a comunidade microbiana de um solo caracterizado como Latossolo Vermelho Distrófico, textura média.

Inicialmente, incorporou-se uma fonte de matéria orgânica ao solo (couve *Brassica oleraceae* var. *acephala* L. fresca e triturada) na quantidade de 4kg.m⁻². Posteriormente, umedeceu-se o mesmo e cobriu-se com filme plástico transparente de polietileno aditivado com 150µm de espessura. Fez-se vedação lateral de cada parcela, para se evitar a dispersão de gases e aumentar-se o efeito térmico natural.

O experimento obedeceu a delineamento fatorial 2x2x4 (solo solarizado e não solarizado x com e sem incorporação de couve x épocas de coleta). Os tratamentos foram: a)adição de couve sem solarização; b)solarização e adição couve; c)testemunha, sem adição de couve e sem solarização; d)solarização sem adição de couve, com três repetições cada tratamento.

Amostras compostas de solo de cada parcela foram coletadas de 0-10 cm de profundidade, com a primeira coleta realizada a sete dias de implantação do experimento no campo e as posteriores, em intervalos de quatorze dias, nos meses de janeiro a março de 2001, e conduzidas aos laboratórios do Departamento de Produção Vegetal (Defesa Fitossanitária) para a realização das análises microbiológicas.

Foram avaliadas para cada coleta, a atividade respiratória, através do método da captura de CO₂ em solução alcalina (NaOH) e titulação em HCl; biomassa microbiana (C) através do método de fumigação-extração; contagem de grupos microbianos (fungos e bactérias) utilizando-se diluição em série em solução salina, seguida de semeadura em placas contendo meios de cultura seletivos, bem como análises de características químicas do solo, e acompanhamento dos dados climatológicos do experimento.

De modo geral, o tratamento com solarização e acréscimo de matéria orgânica, apresentou maior tendência à liberação de CO₂ durante 30 dias de incubação em laboratório para os três primeiros momentos de coleta de amostras de solo no campo e os valores de liberação de CO₂ em laboratório apresentaram uma tendência à diminuição diária para todos os tratamentos e em todos os momentos de coleta.

Para a comunidade fúngica, a solarização (com ou sem matéria orgânica) proporcionou redução na quantidade de unidades formadoras de colônias ao longo do experimento, o mesmo ocorrendo para as unidades formadoras de colônias bacterianas. Para o carbono da biomassa microbiana, este foi significativamente maior, para todos os tratamentos somente no segundo momento de coleta de solo. Os tratamentos solarizados com adição de matéria orgânica, apresentaram maiores de pH, potássio, fósforo, cálcio, magnésio nitrogênio total, amônio, nitrato e menores valores de alumínio disponíveis no solo.

Palavras chave: microrganismos do solo, biomassa microbiana, atividade respiratória.

**SOIL MICROBIOLOGICAL ASPECTS AND THE SOLARIZATION TECHNIQUE
Botucatu, 2003. Dissertation (Master's Degree in Agronomy /Plant Protection) –Faculdade
de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.**

Author: JULIANA CRISTINA SODÁRIO CRUZ

Adviser: MARLI TEIXEIRA DE ALMEIDA MINHONI

SUMMARY

The soil solarization technique has been used in small properties as an alternative to substitute chemical defensives for phytopathogens, insects, damage causing plants and soil nematode control. A field condition experiment was carried out in an area of Faculdade de Ciências Agrônômicas - Botucatu - SP - Brazil (latitude 22°51'S and longitude 48° 26' W) in order to evaluate the technique impact on the microbial community of soil characterized as Distrofic Red Latosol, medium texture.

Initially, a source of organic material was incorporated to the soil (kale-*Brassica oleraceae* var *acephala* L. fresh and ground) in the amount of 4 kg.m⁻². After that, it was moisturized and covered with transparent additivated polyethylene plastic film 150µm thick. Lateral sealing of each allotment was made, in order to avoid gas dispersal and to increase natural thermal effect. The experiment followed a 2x2x4 factorial outline (solarized and non solarized soil x with and without kale incorporation x four times of harvest). The treatments were: a) addition of kale incorporation; b) solarization and addition of kale; c) witness, without addition of kale and without solarization; d) solarization without addition of kale; with three repetitions of each treatment. Samples composed of soil from each allotment were collected from 0-10cm deep, with the first collecting performed seven days after the experiment implantation in the field, and the further ones as intervals of 14 days, from January to March 2001, being afterwards taken to the area of Departamento de Produção Vegetal, (Defesa Fitossanitária) for microbiological analysis.

For harvest was evaluated: The respiratory activity, through the CO₂ capture method in alkaline solution (NaOH) and titling in HCl; the microbial biomass (C) through the fumigation-extraction; the microbial groups counting (bacteria and fungi) by using serial

dilution in salt solution, followed by sowing in plates containing selective mediums; as well as the analysis of soil chemical characteristics and monitorization of the experiment climatological data.

The treatment with solarization to wich organic material was added showed a greater tendency to increase the liberation of CO₂ in the 30 days of incubation in laboratory for the tree first harvest periods soil in the field and the CO₂ liberation values tended to decrease in every treatment and every harvest periods.

As to fungi community, solarization (with or without organic material), caused a reduction in the CFU and bacterium colony. Carbon of the microbial biomass were significantly higher in all treatments, after the second harvest period. The soil solarization treatment with addition of organic material presented higher values of pH, potassium, phosphor, calcium, magnesium, total nitrogen, ammonium and nitrate and amounts values of aluminum in disposal of soil.

Keywords: soil microorganisms, soil microbial biomass, soil respiratory activity.

1. INTRODUÇÃO

O controle de plantas daninhas, fitopatógenos de solos e nematóides é de fundamental importância para a condução da maioria das culturas comerciais agrícolas. Contudo, os riscos para o ambiente, causados por algumas técnicas utilizadas na agricultura convencional, têm estimulado o desenvolvimento e/ou adaptação de novas propostas de manejo do solo e de sistemas de controle menos agressivos ao ambiente. Atualmente, há uma busca preferencial por métodos alternativos para tal controle, que sejam economicamente viáveis, não agredam o ambiente e proporcionem bons resultados.

Um dos principais motivos que levaram à busca de métodos alternativos foi a descoberta do efeito deletério à camada de ozônio, causado por produtos utilizados na agricultura para estas finalidades, como por exemplo, o brometo de metila (CH_3Br), dentre outros. Este produto fumigante possui amplo espectro e eficiência como inseticida, fungicida, nematicida e herbicida, mas sua relação com a camada de ozônio não é bem esclarecida e, como grande parte do composto empregado nesta prática é volatilizado, medidas têm sido propostas para a redução de sua utilização.

Em reunião realizada em Montreal (Canadá), pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP) em 1987, foi criado um protocolo assinado por mais de 150 países, propondo que as substâncias que reduzem a camada de ozônio tenham sua produção interrompida. Posteriormente, outras reuniões foram realizadas (Londres em 1990; Copenhague em 1992) e, em 1995, foi proposto a interrupção da produção de brometo de metila até o ano de 2010, com uma redução de 50% em 2001 e de mais 50% em 2005 (RISTAINO; THOMAS, 1997). No Brasil, país em desenvolvimento, o Governo decidiu ter a mesma meta para 2005.

Desta forma, algumas alternativas estão sendo testadas e uma das mais promissoras tem sido a técnica de solarização, uma forma de controle físico que pode ser utilizada como alternativa para a desinfestação de solos e substratos. Consiste na colocação de um filme plástico sobre o solo umedecido por um período determinado, durante, preferencialmente, a época de maior radiação global do ano, visando aumentar a temperatura do sistema. Pode também ser aplicada em casas de vegetação e, nestes ambientes, o período de tratamento pode ser reduzido e aplicado também em meses mais frios do ano ou em locais com menor insolação e temperatura.

A solarização é talvez uma das técnicas mais simples e de menor custo, onde ocorre uma combinação de processos físicos, químicos e biológicos que acabam por reduzir drasticamente a viabilidade de fungos fitopatogênicos, resultando num novo equilíbrio ao solo. O controle de patógenos, ocorre devido à inativação térmica, resultante da combinação entre a temperatura atingida pelo solo e o tempo de exposição. Neste procedimento, o solo atinge temperaturas elevadas, as quais são letais ou sub letais para os organismos encontrados nessa área e em determinadas profundidades. Alguns trabalhos relatam que temperatura de 65°C a 30 minutos é suficiente para inativar a maioria dos patógenos de plantas, mas pouco se sabe sobre o tempo de exposição necessário para a morte de patógenos de solo com temperaturas inferiores a 40°C.

Quando ocorre a adição de alguma fonte de matéria orgânica ao solo, esta é decomposta de forma mais acelerada, devido ao efeito térmico da solarização, liberando gases e substâncias nocivas aos fitopatógenos de solo. Ocorre então, uma potencialização do processo de solarização, sendo melhor definido, neste caso, como um processo físico e químico de inativação de fitopatógenos.

Muitos microrganismos dos solos são benéficos para o ecossistema, atuando no controle de fitopatógenos, decomposição de matéria orgânica, participando diretamente dos ciclos biogeoquímicos e interferindo na disponibilidade de nutrientes, sofrendo diretamente as conseqüências do aumento da temperatura decorrente da solarização. Estima-se que ocorra uma redução na população microbiana do solo, provocada pela solarização, podendo favorecer a colonização por fungos antagonistas, como *Trichoderma* spp., por exemplo, se introduzidos. Se as temperaturas atingidas forem sub letais, principalmente nas camadas mais profundas do solo, pode ocorrer enfraquecimento de propágulos viáveis de fitopatógenos tornando-os mais suscetíveis ao ataque por agentes de biocontrole.

Neste contexto, a viabilidade da solarização, vem sendo amplamente estudada desde que foi descrita pela primeira vez por Katan (1976), onde estudos mostraram que a análise de parâmetros microbiológicos, durante e após a solarização é de considerável importância pois, desta forma, pode-se determinar quais são os organismos envolvidos no processo, bem como sua ecologia e funções na microbiota, já que a mesma afeta direta e indiretamente a produtividade agrícola.

Geralmente, o comportamento da microbiota do solo é medido através de sua atividade, tais como CO₂ liberado, densidade populacional, atividade enzimática, O₂ absorvido, nitrogênio, fósforo e enxofre mineralizados (GRISI, 1995), dentre outros. A liberação de CO₂ e a absorção de O₂ pelos fungos, bactérias e algas do solo, refletem a respiração desta comunidade microbiana, resultante do metabolismo aeróbio e anaeróbio (ANDERSON, 1982).

Segundo Carter (1991), a biomassa microbiana é um bom indicador das alterações nas propriedades biológicas dos solos, decorrentes de diferentes sistemas de manejo. Sua avaliação reflete possíveis modificações na microbiota, através da detecção dos teores de carbono e nitrogênio total (POWLSON; JENKINSON, 1981; ANDRADE et al., 1995), mostrando-se boa indicadora das alterações microbianas ocorridas no solo (BALOTA et al., 1988).

Dessa forma, sabendo-se da influência da técnica de solarização sobre a microbiota do solo e na ciclagem de nutrientes, o objetivo da presente pesquisa foi avaliar o impacto desta técnica em áreas com e sem incorporação de restos culturais de couve (*Brassica oleraceae*

var. *acephala* L.) como fonte de matéria orgânica. Para isso, avaliou-se o carbono da biomassa microbiana (método da fumigação - extração), atividade respiratória (taxa diária média de CO₂ liberado e CO₂ liberado acumulado ao longo de 40 dias de incubação) e contagem de grupos microbianos (fungos e bactérias).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2. 1. Solarização e propriedades do solo

Solarização do solo é um processo térmico de desinfestação do solo, onde os alvos são as plantas daninhas, microrganismos fitopatogênicos e nematóides. Esta técnica tem como objetivo principal a erradicação ou diminuição do inóculo destes organismos indesejáveis antes ou após o plantio (STAPLETON ; DEVAY, 1986). A técnica é comumente utilizada para culturas anuais de ciclo curto, mas pode ser utilizada também em culturas perenes (KATAN, 1981).

Katan e Devay (1991) definem solarização como uma técnica de tratamento que ocorre em solo umedecido coberto com filme plástico transparente e exposto à luz do sol durante

os meses do ano com altas concentrações de radiações, sendo seguro, barato e atóxico. Entretanto, sua utilização, na maioria das vezes, está restrita à pequenas áreas e à épocas mais quentes do ano; estas são as desvantagens relatadas por Daffari et al. (1994).

Geralmente, antes da cobertura com filme plástico, o solo é revolvido para a incorporação de resíduos e umedecido; desta forma, ocorre um aumento temporário na aeração e na disponibilidade de nutrientes devido à quebra dos agregados e morte de parte da biomassa, resultando em um estímulo à comunidade microbiana viva do solo trabalhado. Esse estímulo, porém, é de curta duração, sendo observado nos períodos em que se sucedem ao preparo do solo (LYNCH; PANTING, 1980).

Os agregados de solos formados logo após o revolvimento não são estáveis e, depois de algumas semanas, essas mudanças não são mais detectáveis (CHEN et al., 1991). Contudo, o revolvimento do solo associado à incorporação de alguma fonte de matéria orgânica, para a obtenção do efeito de biofumigação, promove a formação de maior número de macroporos, os quais são importantes para a manutenção dos níveis de umidade e da aeração, pontos críticos para a sobrevivência da comunidade microbiana e para seus processos metabólicos, em sua maioria aeróbios, necessitando de um mínimo de 10% de aeração (DREW; LYNCH, 1980). As diferenças provocadas na aeração, no teor de umidade e maiores flutuações hídricas e térmicas do solo decorrentes da técnica influenciam não só a sobrevivência dos microrganismos como, também, os processos de decomposição da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes.

A solarização altera algumas propriedades químicas do solo como foi observado por Ghini et. al (2003). Em diferentes solos solarizados e que foram posteriormente cultivados com diferentes culturas, houve aumento significativo nos teores de NH_4^+ e Mn; também foram observados aumentos dos teores de NO_3^- , Mg^{2+} , K^+ e da saturação por bases, além da redução dos teores de H+Al, Cu, Fe e Zn. O aumento de NH_4^+ foi decorrente do incremento da mineralização do nitrogênio orgânico do solo pelo aumento da temperatura, o que favoreceu também a liberação de Mn e K^+ . Lefèvre e Souza (1993) também observaram aumento de K^+ em solos solarizados quando comparados aos não solarizados. Essas propriedades químicas do solo são variáveis, dependendo das características químicas e físicas do mesmo e podem atuar diretamente

sobre a presença e atividade dos microrganismos no solo, por modificações do meio ou indiretamente, mediante o efeito sobre o crescimento das plantas cultivadas após a solarização ou não.

Parte das populações dos microrganismos patogênicos morre com o efeito direto da elevação de temperatura, especialmente na superfície e abaixo desta, onde são obtidas as temperaturas sub letais. Além da exposição à temperatura, os processos microbianos induzidos pela solarização também contribuem para o controle das doenças pois, o aquecimento atua sobre a microbiota do solo e esses processos microbianos são importantes em profundidades onde as temperaturas são sub letais ou em climas cujas temperaturas não são favoráveis à solarização (GHINI, 1997).

A eficácia da solarização, em termos do aumento da temperatura, depende também da umidade do solo; quanto maior a umidade deste, maior a temperatura do solo sob solarização. Isso ocorre pelo fato da água ser melhor condutora de calor do que o próprio solo, como já foi comprovado por Katan (1987). Pullman et al. (1981), comparando solo seco solarizado com solo umedecido solarizado, constataram que o segundo tratamento apresentou temperaturas maiores e declínio mais rápido nas populações de patógenos.

Venancio (1993), comparando os efeitos da solarização e da fumigação com brometo de metila sobre a densidade de fungos nativos de solo, verificou que o número de colônias fúngicas foi reduzido durante o tratamento por solarização, mantendo-se em equilíbrio durante 56 dias, enquanto que no solo tratado com brometo de metila, a população fúngica manteve-se baixa, mas por apenas 14 dias; isso ocorreu pelo fato da solarização permitir a manutenção de uma comunidade fúngica diversificada, principalmente saprófitas, competidores e antagonistas aos patógenos, enquanto que o tratamento com brometo de metila deixou o solo com uma baixa diversidade de espécies fúngicas, possibilitando a instalação de fitopatógenos.

O efeito da esterilização através de produtos químicos é muito agressiva à microbiota do solo pois levam a formação do chamado “vácuo biológico”, constituído por espaços isentos de biota no solo e a redução da população de microrganismos antagonistas o que favorece uma rápida disseminação do fitopatógeno reintroduzido.

Na solarização as temperaturas atingidas permitem a sobrevivência de alguns grupos de microrganismos, de modo que o vácuo biológico é parcial (HARDY; SIVASITHAMPARAM, 1985); há o estabelecimento de microrganismos menos específicos e mais competitivos, devido a eliminação da microbiota original do solo, que impedem ou retardam a sua reinfestação por um fitopatógeno. Estes microrganismos benéficos, são mais tolerantes ao calor e mais competitivos, suportando os efeitos da solarização. Como exemplo, destacam-se as micorrizas, como foi observado por Lefèvre e Souza (1993), Roque (1993) e Yokomizo (2002), e outros simbiontes com as plantas cultivadas logo após a solarização como o *Rhizobium*, observado por Ricci et al. (2000). Entretanto, Randing et al. (2002), avaliando coletores solares e solarização em solos, num período de 30 dias a temperaturas superiores a 50°C, observou que o potencial de inoculação para fungos micorrízicos arbusculares, foi reduzido em 96% após este período de solarização, decorrente da exposição à altas temperaturas.

O efeito da solarização pode ser prolongado por mais de um ciclo da cultura, o que demonstra vantagem em relação ao uso de fungicidas e herbicidas (KATAN; DEVAY, 1991). Esta alteração na composição microbiana em favor de antagonistas, estimula a supressividade do solo a patógenos, dificultando a reinfestação e permitindo que o tratamento permaneça por vários ciclos da cultura. (GHINI, 1997).

Comparando-se os dois métodos de desinfecção do solo em casa de vegetação (brometo de metila e solarização), Ionnou (2000) observou que ambos mostraram controle efetivo de alguns fitopatógenos e que a produção de tomate foi aumentada; porém, o tratamento com brometo de metila, foi mais eficiente no controle de nematóides.

Resultados de trabalhos com o uso de compostos orgânicos no controle de fitopatógenos têm mostrado que os níveis de controle variam em função da comunidade microbiana presente, do ciclo de sobrevivência do fitopatógeno e do tipo de material orgânico empregado, bem como sua origem e estágio de maturação e a composição populacional dos microrganismos decompositores. Um composto orgânico quando incorporado ao solo pode torná-lo supressivo ou conducente em função da relação C/N e da habilidade competidora do fitopatógeno (VIDA et al., 1998).

Solos supressivos são solos que podem apresentar um determinado fitopatógeno, mas este não consegue exercer suas atividades patogênicas. Não significa a eliminação total do fitopatógeno no solo, mas ausência ou a supressão da doença nos casos em que as plantas suscetíveis são cultivadas nesse solo (REIS, 1991). A adição de algumas fontes de matéria orgânica, como turfa, adubo verde e outros compostos podem manter populações mistas de organismos antagonistas (JARVIS, 1992). A adição de resíduos de crucíferas junto com a solarização, forneceu bons resultados, sendo mais eficiente do que somente a solarização para o controle de alguns fitopatógenos (RAMIREZ-VILLAPUDUA; MUNNECKE, 1988). Gases da decomposição de repolho podem ter um papel importante no declínio de propágulos de *Fusarium oxysporum* f. sp. *conglutians*, sendo possível que esses gases estimulem a germinação de propágulos viáveis deste fitopatógeno. Este fato pode ser muito significativo visto que o estágio mais suscetível do fitopatógeno é a germinação de propágulos e, com a exposição a esses gases e a ação da solarização, são facilmente atacados por microrganismos antagonistas da microbiota do solo, que são estimulados ou tolerantes a esses gases.

Os principais compostos detectados nos solos solarizados com incorporação de resíduos de repolho são os aldeídos (formaldeído e acetaldeído) e compostos de enxofre, incluindo isotiocianatos. Os isotiocianatos são oriundos de glucosinolatos, sendo liberados através da hidrólise endógena de tecidos de brássicas pela enzima mirosinase que liberam várias substâncias, incluindo isotiocianatos que apresentam atividade biocida. Existem aproximadamente 20 diferentes tipos de glucosinolatos comumente encontrados nas brássicas (ROSA et al., 1997).

Quando um solo solarizado não sofreu a adição de repolho, este somente foi eficiente para o controle de alguns fitopatógenos, quando o solo atingiu temperatura máxima de 45°C enquanto que no solo solarizado com incorporação de resíduos a temperatura de 38°C apresentou melhores resultados (GAMLIEL; STAPLETON, 1993). A atividade microbiana também foi aumentada quando os solos foram expostos a vapores resultantes de solos solarizados ou não, associados com a incorporação de resíduos de repolho, quando comparado aos solos onde não foi incorporado o material.

A origem do material usado como fonte de matéria orgânica e o tempo para se decompor afetam o efeito da supressividade do solo. Tuitert et al. (1998) observaram que compostos de vegetais apresentaram-se supressivos a *Rhizoctonia solani* somente depois de cinco a sete meses de decomposição, ou seja, um tempo relativamente longo, chegando a reduzir a quantidade do fitopatógeno de 30 a 70%; entretanto, quando ainda estavam se decompondo, num período curto de um mês, estimularam o desenvolvimento do fitopatógeno.

A combinação de solarização com a incorporação de matéria orgânica, com o intuito de se obter a biofumigação, pode potencializar os efeitos benéficos da técnica, mostrando bons resultados na desinfestação de áreas em campo aberto, cultivo protegido e substratos (STAPLETON; DEVAY, 1995). A utilização de fontes de matéria orgânica exerce um efeito positivo melhorando as características físico-químicas do solo e também pode ter efeito no controle de fitopatógenos.

Desta forma, conhecer os efeitos desta técnica agrícola e seu efeito no solo e também sobre a comunidade microbiana é de fundamental importância, visto as funções que os microrganismos desempenham, principalmente na dinâmica da matéria orgânica, que irão se refletir na produtividade agrícola das culturas futuramente implantadas (SILVA FILHO; VIDOR, 1984; ZECH ET AL., 1997) e na fertilidade (ZECH et al., 1997; REEVES, 1997; FERNANDES et al., 1997).

2. 2. Liberação de CO₂

Análises microbiológicas de solo mostram, de forma rápida, as alterações que ocorrem no mesmo pois, são indicadores sensíveis de estresse ecológico sofrido num determinado momento e sua posterior recuperação, visto que a atividade microbiana tem influência direta na estabilidade e fertilidade do ecossistema do solo.

A degradação de compostos orgânicos é uma das funções mais importantes da comunidade microbiana de solos pois, resulta na transformação de nutrientes em formas assimiláveis para as plantas. Esta degradação pode ser utilizada para se medir a atividade microbiana

dos solos e, dentre os métodos existentes, o mais utilizado tem sido a liberação de CO₂, que pode ser traduzido como a taxa respiratória da comunidade microbiana ali presente.

Através deste processo, ocorre a disponibilização de nutrientes aos vegetais e também, acúmulo, ou pelo menos, manutenção do conteúdo de matéria orgânica no solo que, após processos complexos envolvendo reações de oxi-redução, culminam com a formação de compostos orgânicos estáveis no solo. Na decomposição de matéria orgânica, adicionada ou já existente no solo, a microbiota oxida, inicialmente, os compostos mais facilmente degradáveis. Em situações em que a única fonte de nutrientes é o húmus, a atividade microbiana torna-se mínima; nestas condições, vários microrganismos estarão presentes em formas dormentes ou de resistência, tais como conídios, clamidosporos, escleródios, cistos, endosporos, etc. (GRAY; WILLIAMS, 1975). No momento em que resíduos orgânicos são adicionados ao solo, a atividade e o número de microrganismos aumentam, uma vez que está sendo fornecida uma fonte de carbono e energia prontamente assimiláveis. Muitos microrganismos do solo, em estágio de dormência, com taxa de respiração baixa (JENKINSON; LADD, 1981), podem ter esta taxa respiratória aumentada com a adição de um substrato facilmente decomposto.

A quantificação do CO₂ liberado ou de O₂ consumido, como medida do comportamento da comunidade microbiana do solo, não permite avaliar as alterações qualitativas que ocorrem no sistema. Esta parece ser a maior limitação da técnica, pois os compostos orgânicos adicionados não afetam de maneira uniforme todas as espécies de microrganismos do solo, podendo levar a drásticas alterações em algumas populações, ainda que a liberação de CO₂ ou o consumo de O₂ não sejam sensivelmente afetados. No entanto, Paul e Clark (1989) relataram que a quantificação do CO₂ liberado é uma das metodologias mais sensíveis para a avaliação da atividade microbiana e, desta forma, tem sido muito utilizada.

A atividade e tamanho da população microbiana no solo são extremamente variados e influenciados pelas condições do ambiente. Tais organismos, além de promover a decomposição da matéria orgânica e a mineralização de compostos orgânicos, atuam como agentes reguladores nos principais processos bioquímicos do solo, tais como as transformações inorgânicas de N, P e S, transformações de elementos metálicos, produção de metabólitos (fitohormônios,

sideróforos, ácidos orgânicos), degradação de agroquímicos e alterações nas características físicas do solo (agregação, estabilidade física) (WARDLE; HUNGRIA, 1994). Também promovendo a fixação biológica de nitrogênio e estabelecimento de relações simbióticas capazes de melhorar a nutrição das plantas (MILLER; JASTROW, 1994) e proteção contra fitopatógenos (NEWSHAM et al., 1995).

A comunidade microbiana de solo sofre a influência das condições de umidade, temperatura, revolvimento, disponibilidade de nutrientes, tratos culturais, manejo, etc., sendo portanto um ambiente relativamente complexo (CASTRO, 1989; MUZILLI, 1983), que acaba por interferir qualitativamente e/ou quantitativamente na atividade desta comunidade. Condições de anaerobiose, diminuem a atividade microbiana, pois o rendimento energético é menor, e conseqüentemente resulta em menor liberação de CO₂, bem como em menor biomassa microbiana (MINHONI et al., 1990).

As informações sobre a taxa respiratória de solos solarizados são escassas na literatura pois, somente poucos estudos foram realizados sob condições tropicais. Geralmente, a respiração do solo é correlacionada com variáveis climáticas (INSAM, 1990), que influenciam diretamente os parâmetros do solo, como temperatura e umidade, que controlam o fluxo de CO₂.

Segundo GRAY E WILLIAMS (1971), citados por Campbell e Biederbeck (1976), a umidade do solo afeta os microrganismos através de três modos diferentes: quando a umidade é alta, a aeração diminui e, conseqüentemente, a atividade e o crescimento microbiano também diminuem; quando se aumenta a umidade, existe mais água disponível e ela é, então mais prontamente absorvida pelas células microbianas; e os ciclos de seca e chuva tendem a aumentar a quantidade de substratos disponíveis aos microrganismos. Depois da temperatura e umidade, as variáveis mais freqüentemente consideradas como fator de controle são a quantidade e a qualidade do substrato (RAICH; POTTER, 1995). No entanto, Fernandes (1999) observou a ausência de correlação entre o fluxo de CO₂ e a temperatura e umidade de um solo cultivado com pastagem e floresta, podendo ser relacionado com a alta variabilidade natural da respiração das raízes (no espaço de tempo), à qualidade e a quantidade da biomassa microbiana do solo.

Num experimento realizado em Jaguariúna – SP, Bettioli et al. (2002) comparando-se sistemas convencionais e orgânicos no cultivo de tomate e milho, com adição de adubação convencional e composto orgânico respectivamente, verificaram que a liberação de CO₂ foi maior no sistema orgânico quando comparado ao sistema convencional durante os ciclos das culturas.

Resultado semelhante foi obtido por Ghini et al. (2002) quando comparado a adição de cama-de-frango e outras fontes de matéria orgânica em cultivo de crisântemo, em áreas que sofreram solarização. Entretanto, Ghini et al. (2003) analisando diferentes solos com diferentes tratamentos e solarizados, observaram que a atividade microbiana diminuiu em alguns tratamentos que não receberam adubação prévia antes da colocação do plástico e que o aquecimento do solo durante a solarização promoveu a morte de uma parcela de microrganismos e redução da atividade microbiana.

Vargas e Scholles (2000), verificaram que com a maior disponibilidade de substratos aos microrganismos do solo e maiores temperaturas médias do ar, os valores de C-CO₂ liberados foram superiores quando comparados às demais estações do ano que apresentaram menores temperaturas e a solos com menos substratos disponíveis oriundos da matéria orgânica adicionada ao solo.

A respiração dos microrganismos de solo pode ser avaliada no campo, sob condições naturais, ou em laboratório, onde as condições experimentais podem ser melhor controladas. A determinação da respiração do solo no campo tem sido utilizada para avaliações da atividade da biomassa total do solo, sofrendo a interferência do clima, propriedades físicas e químicas do solo e práticas agrícolas. Também são observadas estimativas da mineralização e estabilização do carbono quando relacionadas ao tipo de matéria orgânica e à sua taxa de adição ao solo (DE-POLLI et al., 1999). Entretanto, dados obtidos no campo são mais difíceis de serem interpretados devido, a alguns fatores não padronizáveis, como atividade biológica total (raízes de plantas, macro e microfauna), heterogeneidade das amostras no campo (quando comparadas às amostras coletadas para avaliações em laboratório), condições climáticas, condições abióticas (temperatura, umidade e aeração) que podem causar diferenças na atividade respiratória, no perfil do solo (ALEF; NANNIPIERI, 1995).

2. 3. Biomassa microbiana do solo

A biomassa microbiana pode ser definida como a massa microbiana viva no solo e sua determinação baseia-se na concentração de alguns elementos ou substâncias celulares (DE-POLLI, GUERRA, 1999). O reconhecimento da importância dos microrganismos do solo tem despertado o interesse na medida dos conteúdos de nutrientes em sua biomassa, cuja estimativa apresenta um bom potencial de utilização como indicadores ecológicos do impacto das práticas de manejo agrícola (JENKINSON; POWLSON, 1981; POWLSON et al., 1987).

A biomassa microbiana é a parte viva da matéria orgânica do solo, com exceção das raízes, meso e macrofauna maiores que $5 \times 10^3 \mu\text{m}$, funcionando como agente de transformação da matéria orgânica no ciclo de nutrientes e fluxo de energia, além de constituir uma fonte potencial de N,P,S e outros nutrientes para as plantas, tendo um importante papel na fertilidade do solo, como fonte e sumidouro de nutrientes minerais (JENKINSON; LADD, 1981; WARDLE, 1992; GAMA-RODRIGUES, 1999).

Devido à sua dinâmica, a biomassa microbiana responde mais rapidamente quando ocorre mudanças de manejo do solo do que à matéria orgânica total ou aos atributos físicos e químicos (JENKINSON; POWLSON, 1981; ROSS et al., 1982, 1984 e 1995). Desta forma, o estudo da biomassa microbiana é de grande importância pois, é considerada um agente de transformação, por onde passam todos os materiais orgânicos adicionados ao solo, acabando por interferir na dinâmica de nutrientes e fertilidade do mesmo.

Gama-Rodrigues et al. (1997) verificaram que a biomassa microbiana de carbono e a de nitrogênio microbianos foram bons indicadores para o acompanhamento da dinâmica do carbono e do nitrogênio em coberturas florestais. Ainda, segundo estes autores, para se avaliar a dinâmica da matéria orgânica de um solo, os resultados da biomassa microbiana devem estar associados aos valores de carbono orgânico, nitrogênio total e taxa de respiração.

A biomassa microbiana do solo apresenta um padrão de variação sazonal, devido à alternância das condições de umidade e temperatura durante o ano (TATE et al., 1991). No Brasil, onde os solos na sua maioria são ácidos e pobres em nutrientes, o uso de fertilizantes promove o aumento da biomassa microbiana e dos nutrientes nela contidos (BOLAN et al., 1996; GUERRA et al., 1995), inclusive em experimentos de curta duração, onde não são detectados acréscimos no conteúdo de matéria orgânica total (GOYAL et al., 1992).

A determinação da biomassa microbiana do solo por si só não fornece informações sobre sua atividade. Para isso é necessário a avaliação de alguma medida de sua ciclagem no solo como, por exemplo, o C-CO₂ liberado (ANDERSON; DOMSCH, 1993; BROOKES et al., 1985). Parâmetros microbiológicos e bioquímicos, tais como a biomassa microbiana, respiração do solo, e a atividade enzimática, são uma ferramenta bastante útil no monitoramento da mudança do uso da terra. No entanto, quando esses parâmetros são utilizados individualmente, não oferecem informações suficientes para a compreensão dos ciclos biogeoquímicos do solo. Combinando esses parâmetros, é possível avaliar a alteração de um ambiente natural e modificado pela ação do homem sem a necessidade de se recorrer a longos e dispendiosos experimentos de campo (BROOKES et al., 1985), podendo-se obter conclusões mais abrangentes sobre a sustentabilidade de alguns agrossistemas.

As relações C microbiano: C orgânico total ($C_{mic}:C_{total}$) e CO₂ liberado: C microbiano (qCO_2) tem sido úteis como índices para se monitorar a dinâmica da matéria orgânica em sistemas agrícolas (ANDERSON; DOMSCH, 1989). Da mesma forma, as taxas de mineralização de C e N também podem ser influenciadas pelo manejo de sistemas agrícolas, e as taxas de mineralização e nitrificação do N do solo são de particular interesse, dada a importância do nitrogênio para o crescimento das plantas.

Segundo Fernandes (1999), avaliando solos de floresta e pastagem, observou que o conteúdo de C da biomassa é mais elevado na camada superficial, mais precisamente, nos primeiros 10 cm de solo, onde há maior disponibilidade de material orgânico facilmente decomponível e umidade, quando comparada a camada de 10-20 cm. A atividade da celulase, número de fungos e bactérias e, a respiração basal do solo seguiram a mesma tendência da

biomassa microbiana, havendo correlação significativa entre as variáveis. Notou-se que a biomassa microbiana foi prejudicada pela menor umidade do solo durante a estação seca, época onde foi observado menores valores de biomassa sendo, a biomassa microbiana mais elevada na estação chuvosa (17%, em média), do que na estação seca. Este comportamento sazonal da biomassa microbiana tem sido registrado na literatura em solos sob pastagem (HE et al., 1997; TATE et al., 1991).

Vários autores observaram flutuação sazonal da biomassa microbiana e sua atividade relacionada com umidade e temperatura do solo (WARDLE; PARKINSON, 1990; WARDLE, 1992; FEIGL, et al. 1995). A correlação significativa entre C da biomassa microbiana e comunidade fúngica do solo e baixa correlação com a população de bactérias também foi observado. Estes resultados concordam com os de Siqueira (1988) onde a comunidade fúngica do solo contribui com maior percentual na biomassa microbiana do que as bactérias.

A biomassa microbiana mostrou-se ser boa indicadora das alterações microbianas ocorridas no solo, sob diferentes sucessões de cultura (trigo/soja e trigo/milho). Este solo foi submetido ao preparo convencional e plantio direto, coletado na profundidade de 0-15 cm, dez dias após o plantio e sete dias antes da colheita das culturas de verão e de inverno, utilizando o método de fumigação-incubação proposto por Jenkinson e Powlson (1976), (BALOTA et al., 1998). Sendo ainda utilizada para a quantificação de nutrientes agronomicamente importantes como fósforo, enxofre e nitrogênio, no mesmo extrato de solo (VORONEY; PAUL, 1984; BROOKES et al., 1985) e também como indicativo da qualidade de um solo, da mesma forma que as análises de respiração e atividade enzimática (CAMPBELL et al., 1992).

A quantificação da biomassa microbiana pode ser realizada através de técnicas que determinam o nitrogênio, fósforo, potássio e carbono microbiano. Entretanto, é através da quantificação do último elemento citado que é permitido acompanhar mais rapidamente as perturbações sofridas no ecossistema solo-planta-microrganismos, bem como as variações na matéria orgânica total (POWLSON et al., 1987).

A liberação ou fixação destes nutrientes (carbono, nitrogênio, fósforo e potássio) no solo depende da dinâmica dos microrganismos e dos substratos onde se encontram. O

aumento da biomassa e conseqüente imobilização destes nutrientes é promovida por rizodeposições e outras adições de matéria orgânica; a liberação dos nutrientes imobilizados é uma conseqüência da morte dos microrganismos componentes dessa biomassa microbiana. Desta forma, como a biomassa microbiana total do solo pertence a parte lábil da matéria orgânica, funciona como importante reservatório de vários nutrientes das plantas (GRISI; GRAY, 1986) sendo influenciada pelas condições bióticas e abióticas do solo.

Os métodos mais utilizados para a estimativa do carbono da biomassa microbiana são o de fumigação-incubação (JENKINSON; POWLSON, 1976) e o de fumigação-extração (VANCE, et al., 1987; TATE et al., 1988). A primeira metodologia tem a vantagem de permitir a obtenção de resultados referentes à taxa de respiração do solo, além de estimar a biomassa microbiana pela diferença da liberação de CO₂ - C entre o solo fumigado e não fumigado. Porém, para solos ácidos, os quais são muito comuns no Brasil, o método apresenta certas limitações, bem como para solos com adição recente de matéria orgânica. Desta forma, foi proposto o método da fumigação-extração, para superar as limitações da fumigação-incubação, além de aumentar a rapidez na obtenção dos resultados (SPARLING; WEST, 1988; VANCE et al., 1987; TATE et al., 1988).

Avaliando-se a biomassa microbiana em solos com incorporação de poaia branca (*Richardia brasiliensis*) e adubação nitrogenada e fosfática, através do método proposto por Jenkinson e Powlson (1976), aos 0, 5, 10, 20, 30 e 40 dias Machado et al. (1999) observaram que os valores de biomassa foram constantes e geralmente iguais nos tratamentos controle e com adição de fosfato de rocha durante o período de incubação analisado (40 dias); a adição de poaia provocou aumentos na biomassa microbiana e o nitrogênio e o fósforo adicionados aos tratamentos, foram fatores limitantes na formação da biomassa microbiana. Rezende (2002), obteve resultado semelhante quando comparou adubações químicas recomendadas para alface num Latossolo Vermelho Distrófico (LVD) e Nitossolo Eutrófico (NE), pois estes tratamentos proporcionaram maiores ganhos de fósforo disponíveis às plantas, mas não estimularam a biomassa microbiana e o conteúdo de fósforo orgânico.

Gama-Rodrigues et al. (1994), estudando os métodos de fumigação-incubação e fumigação-extração para a análise de biomassa microbiana em solo Podzólico Vermelho

Amarelo (PVd, cultivado com diferentes hortaliças há 20 anos); solo Glei Pouco Húmico (HGP, em pousio há seis anos) e Planossolo (PL, sob capim colonião e não cultivado nos últimos 30 anos), nas profundidades de 0 a 5 e 5 a 20 cm em Itaguaí (RJ), concluíram que a precisão destes dois métodos diminuiu proporcionalmente com a diminuição do carbono total do solo e que o método de fumigação-extração apresentou maior precisão nas análises.

2. 4. Matéria orgânica e os microrganismos do solo

As características biológicas do solo são diretamente afetadas pela adição de matéria orgânica pois, esta apresenta-se como fonte de carbono, energia e nutrientes para os microrganismos do solo. E a matéria orgânica juntamente com a solarização, acabam por modificar o ambiente do solo, estimulando o desenvolvimento de microrganismos decompositores e mais competitivos, e desta forma acabam por interferir na comunidade microbiana que inicialmente encontrava-se neste ambiente.

O mesmo é válido para a ocorrência das flutuações climáticas durante as estações do ano (WARDLE; PARKINSON, 1990) decorrentes das flutuações hídricas e térmicas anuais, influenciando em maior ou menor grau as populações da comunidade microbiana, através da determinação da atividade e das taxas de crescimento das diversas populações microbiana ali presentes (TSAI et al., 1992).

Pode-se avaliar o efeito da matéria orgânica sobre os microrganismos a partir da análise da biomassa e atividade microbiana, parâmetros que representam uma integração do efeito desta sobre as propriedades biológicas do solo (BAYER; MIELNICZUCK, 1999). A solarização e a adubação (mineral ou orgânica) modificam as características químicas, físicas e biológicas do solo, favorecendo o desenvolvimento microbiano de forma direta, através das alterações do índice de pH do solo e da disponibilidade de nutrientes às células microbianas; afetam também a temperatura, umidade, aeração e distribuição dos resíduos no perfil do solo. Algumas

práticas agrícolas, exercem grande influência sobre a atividade e a biomassa microbiana, que respondem de maneira muito mais rápida a essas alterações do que aos parâmetros edáficos, tais como agregados do solo, porosidade, teor de matéria orgânica presente, carbono orgânico do solo, etc.

Os microrganismos, mesmo representando somente uma pequena fração total do solo, são responsáveis pelos processos de mineralização de nutrientes, tornando-se eles próprios uma quantidade considerável de nutrientes potencialmente disponíveis para as plantas após sua morte. A população microbiana tem sido considerada também um índice sensível das alterações no estoque de matéria orgânica dos solos decorrentes de seu uso agrícola (JENCKINSON; POLWSON, 1981).

A técnica de solarização de solo juntamente com a adição de matéria orgânica, pode afetar as populações microbianas, tais como as de fungos micorrízicos arbusculares, rizobactérias promotoras de crescimento de plantas, fitopatógenos, fixadores de nitrogênio e actinomicetos, dentre outros que possuem um papel importante no funcionamento e na sustentabilidade do agroecossistema do solo, pois atuam principalmente na ciclagem de nutrientes no sistema solo-planta.

Ao se adicionar um material orgânico ao solo, alguns microrganismos como os quimiorganotróficos são estimulados, pois trata-se de um substrato indispensável ao seu metabolismo. Através de reações de oxi-redução, estes grupos fisiológicos de microrganismos também realizam a decomposição do material adicionado, obtendo carbono e energia para seu crescimento e metabolismo (ALEXANDER, 1967; ALMEIDA, 1983; CARDOSO, 1992).

Os organismos heterótrofos como os fungos também são importantes componentes do ecossistema terrestre, apresentando-se em maior número na biomassa microbiana na maioria dos solos, além de serem organismos primariamente responsáveis pela decomposição de resíduos orgânicos (PAUL; CLARK, 1996). Promovendo a decomposição de resíduos, a mineralização e a absorção de determinados nutrientes pelas plantas, estes microrganismos participam diretamente na melhora da nutrição de plantas, resistência a doenças e estresses abióticos. E após a

colheita, quando os restos culturais das mesmas são adicionados ao solo, acabam por servir de fontes de carbono aos microrganismos, o que provavelmente estimula a atividade microbiana.

Em solos de regiões tropicais e subtropicais, altamente intemperizados, a matéria orgânica tem grande importância para o fornecimento de nutrientes às culturas, retenção de cátions, complexação de elementos tóxicos e de micronutrientes, estabilidade da estrutura, infiltração e retenção de água, aeração, atividade e biomassa microbiana, constituindo-se assim, um componente fundamental da sua capacidade produtiva (BAYER; MIELNICZUK, 1999). É importante salientar que a ação dos microrganismos depende da ocorrência de condições favoráveis, tais como: umidade, aeração, composição qualitativa e quantitativa dos materiais orgânicos adicionados, concentração e tipos de nutrientes disponíveis, dentre outros.

A composição dos resíduos orgânicos frescos adicionados ao solo, bem como a relação C:N elevada acarretam em maior imobilização de nitrogênio da solução do solo para a formação de compostos nitrogenados constituintes das células microbianas, em relação à mineralização de nitrogênio. Por outro lado, a mineralização será maior que a imobilização quando os resíduos adicionados ao solo possuem baixa relação C:N (material facilmente decomponível), resultando em enriquecimento da solução do solo com nitrogênio mineral (ZECH et al., 1997). Quanto ao carbono orgânico, Dioniso et al., (1995) verificaram que as populações microbianas avaliadas (fungos, bactérias e actinomicetos), pela técnica de contagem em placas de Petri, foram reduzidas em função do aumento da profundidade e diminuição do teor de carbono orgânico do solo.

Segundo Hattori e Hattori (1977), as populações bacterianas estão localizadas, predominantemente, no interior dos pequenos poros do solo, enquanto os fungos, devido ao seu crescimento miceliano, tendem a ligar-se entre os agregados, translocando nutrientes para regiões do solo distantes da rizosfera. Esta diferença sugere que os fungos e bactérias possuem estratégias de sobrevivência diferentes, de modo que as bactérias dependem, principalmente, dos exsudatos radiculares solúveis e os fungos filamentosos são capazes de obter seus substratos em regiões não rizosféricas. Ademais, outra razão para que as bactérias se localizem, predominantemente, no interior dos microporos é a proteção que este microhabitat promove às

populações (COLEMAN, 1985; FOSTER, 1994). Neste sentido, a maior disponibilidade de compostos orgânicos de fácil decomposição modificará o desenvolvimento microbiano no solo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3. 1. Localização da área experimental

Com o objetivo de estudar o efeito da solarização do solo e incorporação de matéria orgânica sobre parâmetros microbiológicos do solo, conduziu-se o experimento, sob condições de campo, em uma Área da Fazenda Experimental Lageado, Departamento de Produção Vegetal - UNESP localizada no Município de Botucatu (SP) (latitude 22°51'S e longitude 48°26'W). Utilizou-se um solo caracterizado atualmente como Latossolo Vermelho Distrófico textura média (Carvalho et al., 1983), segundo os critérios da EMBRAPA (1999).

Para a implantação do experimento, a área foi previamente preparada realizando-se capina e, em seguida, a retirada dos restos vegetais, gradeação e nivelamento. A matéria orgânica incorporada, com o auxílio de enxada rotativa, foi constituída de restos culturais de couve fresca e triturada, na quantidade de 4kg.m² de solo. Posteriormente, umedeceu-se o mesmo e cobriu-se com filme plástico transparente de polietileno aditivado com 150µm de espessura. Fez-se vedação lateral de cada parcela com solo, para se evitar a dispersão de gases e aumentar-se o efeito térmico natural.

Foram instalados dois blocos de 16 x 3 m, totalizando 48 m² cada um. Cada bloco, foi dividido em seis parcelas de 6m² (tratamentos solarizados) e uma de 12 m², servindo como testemunha para cada bloco. Os blocos foram separados por corredores de um metro de largura.

3. 2. Delineamento experimental

O estudo dos parâmetros avaliados em função da solarização e/ou adição de restos culturais de couve momentos de coletas foi realizado considerando-se a técnica da análise de variância para o esquema fatorial 2x2x4 (solo solarizado e não solarizado x com e sem incorporação de couve x quatro épocas de coleta) no modelo experimental inteiramente casualizado (MONTEGOMERY, 1991). O trabalho apresentou quatro tratamentos a saber: 1- solo não solarizado, 2-solo solarizado, 3-solo não solarizado com acréscimo de matéria orgânica e 4-solo solarizado com acréscimo de matéria orgânica, com três repetições cada tratamento.

Amostras compostas de solo de cada parcela foram coletadas de 0-10 cm de profundidade, com a primeira coleta realizada após sete dias de solarização e as posteriores, em intervalos de quatorze dias, nos meses de janeiro a março de 2001, sendo conduzidas em seguida, aos laboratórios do Departamento de Produção Vegetal (Defesa Fitossanitária) para a realização das análises microbiológicas.

3. 3. Características climáticas da área experimental

Os dados climatológicos de Temperatura e Umidade relativa do ar, bem como a precipitação durante o período do experimento, foram obtidos no Departamento de Recursos Naturais/Ciências Ambientais - UNESP-Botucatu, SP (Figuras 1, 2 e 3).

As temperaturas do solo foram medidas através de dois sensores térmicos conectados a um Datalogger DL 2E, colocados a 10 cm de profundidade. Nas repetições dos tratamentos solarizados, os cabos destes sensores, foram conduzidos até o Datalogger, por baixo passando abaixo da borda enterrada do plástico, para se evitar danos neste plástico. As temperaturas foram avaliadas a cada hora durante o período de solarização (Figura 4).

A temperatura média do ar durante o experimento foi de 23,64°C (Figura 1), enquanto que a Umidade relativa foi de 81,41% (Figura 2) e precipitação média de 10,83mm (Figura 3). Com relação ao solo, o tratamento sem solarização e sem adição de matéria orgânica apresentou temperatura média máxima de 21,43°C e média mínima de 34,37°C (Figura 4A), enquanto que para o solo solarizado sem adição de matéria orgânica (couve), 25,76°C e 40,66°C (Figura 4B), para o tratamento sem solarização mas com adição de fonte de matéria orgânica, 25,78°C e 33,66°C (Figura 4C) e finalmente, para o solo . com solarização e acréscimo de fonte de matéria orgânica (couve) 31,9°C e 48,8°C (Figura 4D), respectivamente.

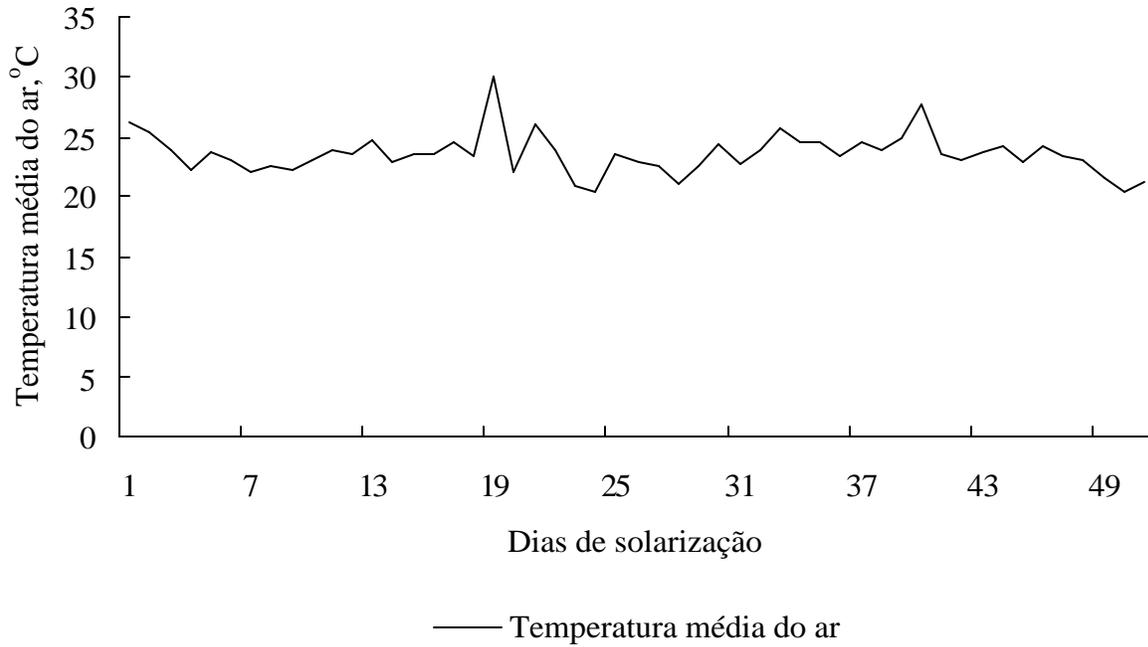


Figura 1. Temperatura média do ar, em °C, na região da área experimental, ao longo do período da solarização.

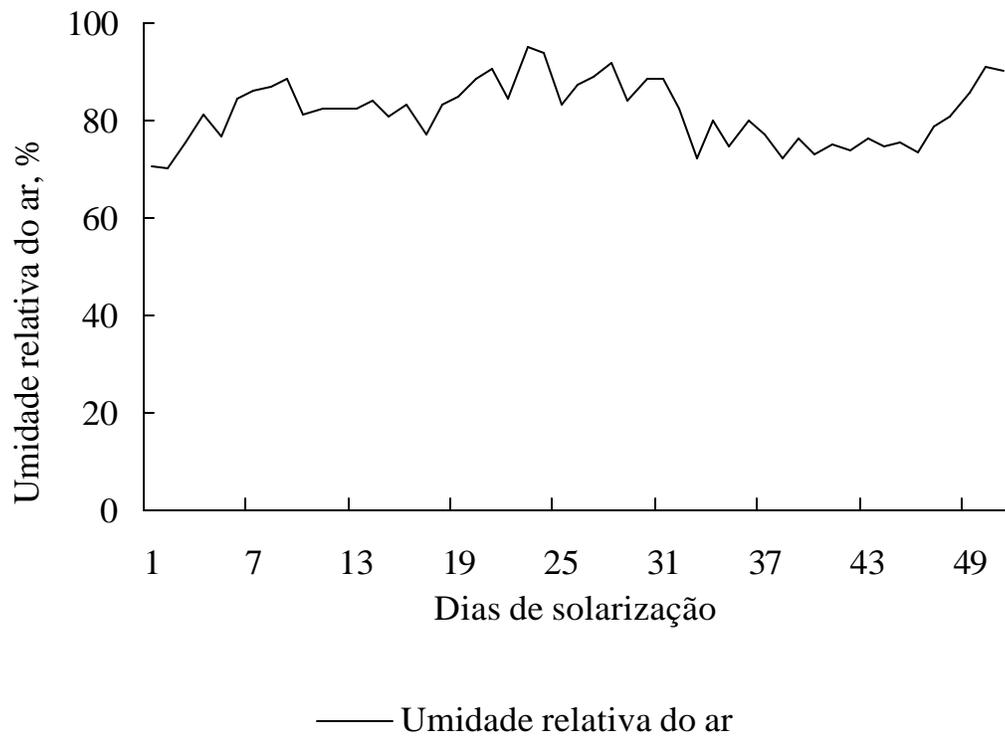


Figura 2. Umidade relativa do ar, em %, na região da área experimental, ao longo do período da solarização.

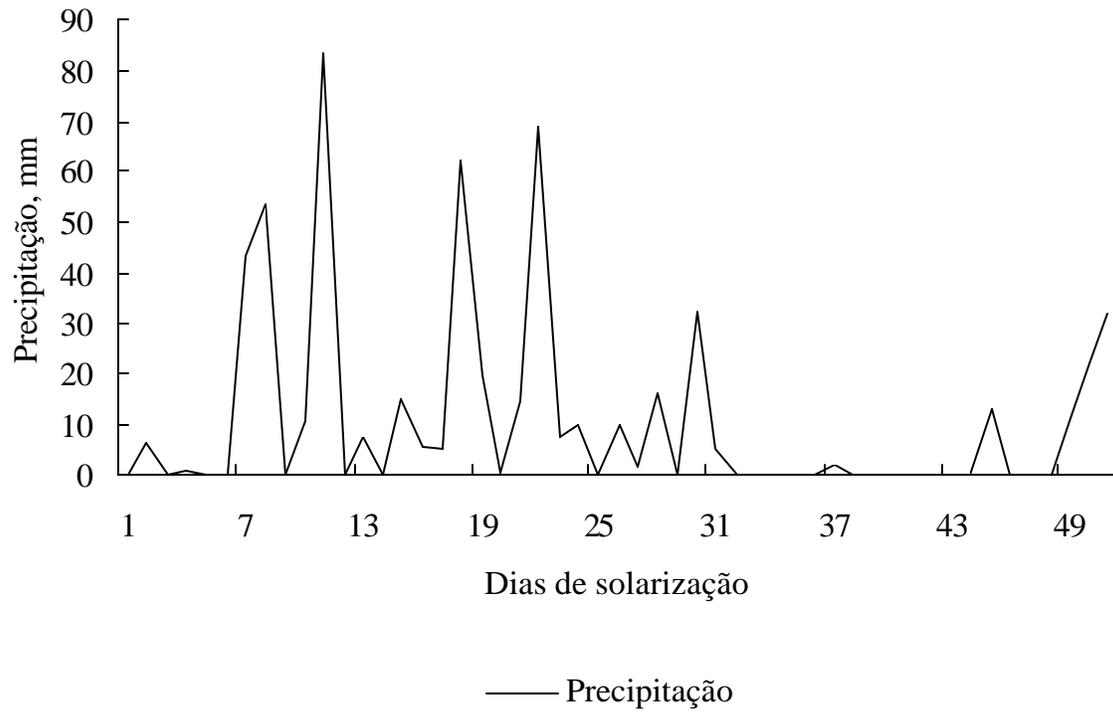


Figura 3. Precipitação, em mm, na região da área experimental, ao longo do período de solarização.

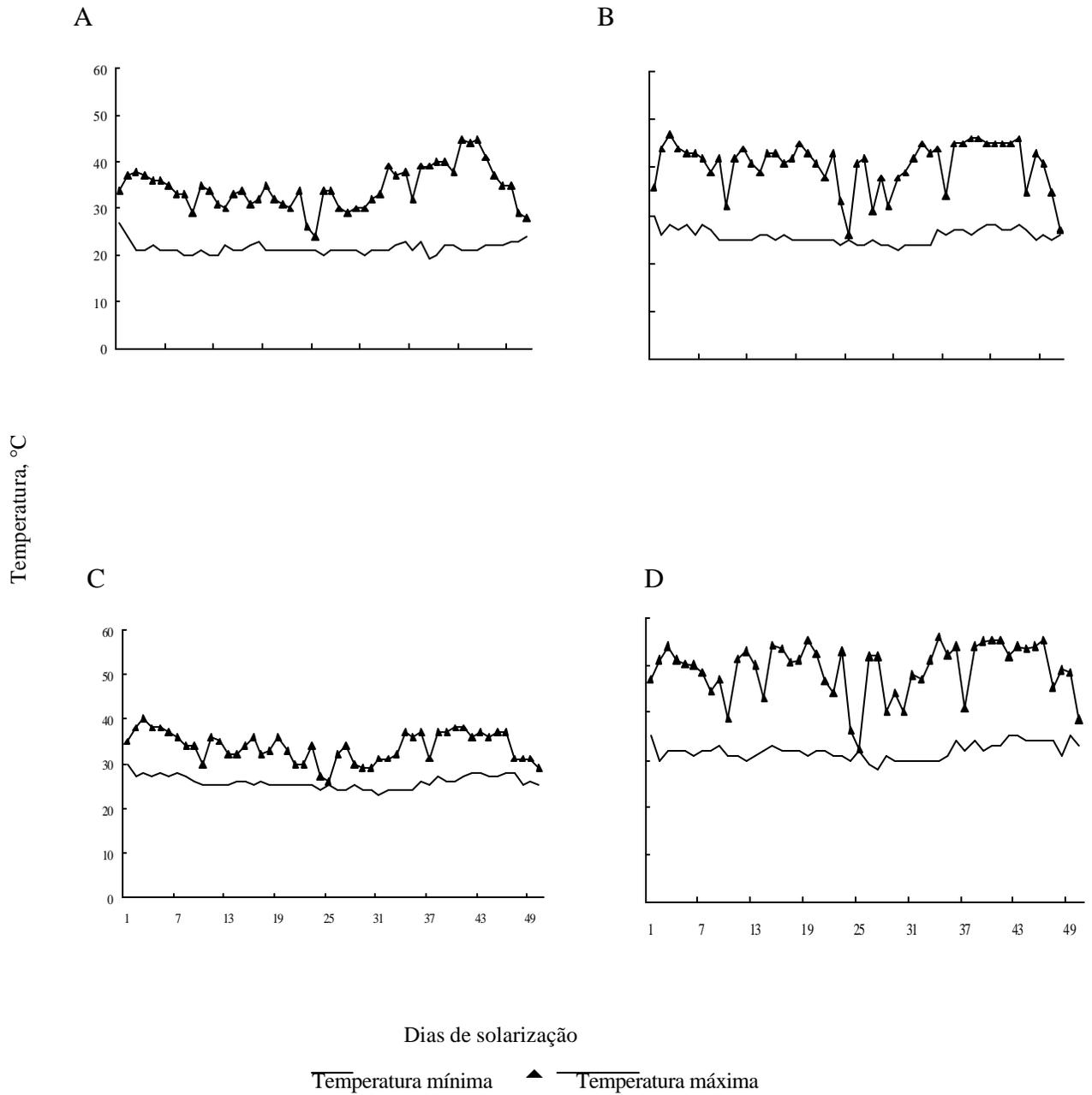


Figura 4. Temperaturas máximas e mínimas no solo, em °C, para os tratamentos sem solarização e sem incorporação de matéria orgânica (A), com solarização e sem incorporação de

matéria orgânica (B), sem solarização e com incorporação de matéria orgânica (C) e com solarização e incorporação de matéria orgânica (D).

3. 4. Caracterização química e física do solo da área experimental

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico textura média (CARVALHO et al., 1983), segundo os critérios atuais da EMBRAPA (1999). Suas características químicas e físicas, foram analisadas junto ao Departamento de Recursos Naturais (Ciências dos Solos) da FCA-UNESP, Botucatu-SP, conforme mostram a Quadro 1 e 2:

Quadro 1. Análise química do solo da área experimental.

pH	M.O.	P resina	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
	g.dm ⁻³	mg.dm ⁻³			mmolc.dm ⁻³				%
4,6	14	3	25	0,4	9	2	12	37	32

Quadro 2. Análise física do solo da área experimental.

Areia total	Argila	Silte	Argila Natural	Textura do solo
81	19	0	-	Média ¹

¹ Textura média: 0,5-0,25 mm.

3. 5. Solarização

Previamente à solarização, procedeu-se a capina, a retirada dos restos vegetais, a gradeação e o nivelamento da área. A matéria orgânica foi composta de folhas e caules de

couve, obtidas em propriedade agrícola do município de Botucatu-SP, numa área onde já havia ocorrido a colheita da cultura.

A análise de relação C/N da matéria orgânica foi feita no CENA/USP – Piracicaba-SP, enquanto que a análise dos demais nutrientes foi realizada pelo Departamento de Recursos Naturais (Ciências do Solo) da FCA-UNESP-Botucatu, como mostra a Tabela 3.

Quadro 3. Análise química da fonte de matéria orgânica (couve)

Amostra ⁽¹⁾	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	C/N	Umidade
			g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹			%	
Couve	28	4,5	38	15	5,9	6,6	23	4	493	25	32	15,8	87,19

¹ Média de 3 amostras

A couve fresca triturada foi adicionada ao solo na proporção de 4kg.m⁻², sendo depositada manualmente na superfície do solo que receberam este tratamento e em seguida, incorporada a 10 cm de profundidade com o auxílio de uma enxada rotativa acoplada a um trator, para que ocorresse uma distribuição homogênea do material no solo.

Após, a área experimental foi irrigada e procedeu-se ou não a colocação do filme de plástico de polietileno de baixa densidade, transparente, aditivado contra raios ultra violetas (o que permite maior durabilidade à exposição das intempéries do campo) e 150µm de espessura, sobre os diferentes tratamentos.

3. 6. Coleta das amostras

Coletou-se três amostras compostas, com 10 pontos ao acaso cada, para cada tratamento e cada momento de coleta de solo realizadas (7, 21, 35 e 49 dias do experimento no campo) a uma profundidade de 10 cm. As amostras foram coletadas com o auxílio de uma pá e

régua, após pequenas incisões no filme plástico, com o uso de um estilete, o qual foi posteriormente vedado com fita adesiva. Após 14 dias, procedeu-se a novas coletas a partir do mesmo tratamento, em local ainda não manipulado. Ao amostrar cada tratamento em cada momento de coleta de solo, as amostras compostas obtidas para um mesmo tratamento em diferentes momentos de coleta, não foram misturadas ou divididas em sub amostras, para que não houvesse perda de independência estatística, quando então, as amostras deixariam de ser repetições e passariam a ser réplicas (EMBRAPA, 1994). As amostras foram colocadas individualmente em sacos plásticos de polietileno, homogêneas e imediatamente transportadas para o Laboratório de Microbiologia da Faculdade de Ciências Agrônomicas/UNESP de Botucatu, para a realização das análises microbiológicas e químicas.

As coletas das amostras iniciaram-se em 24 de janeiro de 2001 e estenderam-se até 07 de março de 2001, porém, a solarização do solo teve início em 17 de janeiro do mesmo ano, totalizando 49 dias de solarização.

3. 7. Parâmetros analisados

Os parâmetros analisados foram a liberação de CO₂ (taxa diária média e dados cumulativos), carbono da biomassa microbiana (método da fumigação-extração), contagem de grupos microbianos (fungos e bactérias) e análises químicas do solo.

3. 7. 1. Liberação de CO₂

Para análise do CO₂ liberado e quantificação da respiração basal do solo foi utilizado o método de captura do CO₂ em solução alcalina (NaOH 1,0 mol L⁻¹). Para tanto, 50 g de solo de cada amostra composta foram dispostos em potes de polietileno (boca larga) e colocados no interior de jarros de vidro (capacidade de 3,6 litros). Um frasco (snap-cap) com 10 mL de

NaOH 1,0 mol L⁻¹ foi colocado no interior de cada jarro. Para manutenção da umidade da amostra durante o período de incubação, foram adicionadas 10 ml de água destilada na base do jarro. Posteriormente, os jarros foram fechados hermeticamente e incubados no escuro, a 25± 2°C. Mantiveram-se três brancos sob as mesmas condições de incubação. Aos 2, 5, 9, 12, 16, 20, 30 e 40 dias, renovava-se a solução de NaOH com frascos contendo 10ml a 1mol L⁻¹ e re-incubava-se. Jarros contendo somente a solução alcalina e água na base, também foram instalados; representando os brancos da amostras.

A análise do CO₂ liberado foi realizada através de titulometria, periodicamente dentro do período máximo de quarenta dias de incubação. O CO₂ liberado do solo é absorvido pelo NaOH produzindo Na₂CO₃. Para a quantificação do CO₂, o NaOH retirado dos jarros sofria a adição de 5 mL de BaCl₂ 2M, imediatamente após a sua retirada dos frascos de incubação, para formar o precipitado carbonato como BaCO₃ (insolúvel) e posteriormente adicionava-se três gotas da solução alcoólica de fenolftaleína, usada como indicador como ponto de viragem de rosa para branco leitoso. Durante a titulação lenta com HCl 0,5 mol L⁻¹ manteve-se a solução em agitação constante; então, o NaOH que não reagiu com o CO₂ é trazido para pH 8,3, até que aconteça a mudança de cor da solução. O cálculo do CO₂ liberado foi feito utilizando a seguinte equação:

$$\text{CO}_2 (\mu\text{g g}^{-1} \text{ de solo seco}) = \frac{(B-A) M 6}{\text{PS}}$$

onde,

B=quantidade de ácido utilizada para titular a solução de NaOH do branco (mL);

A=quantidade de ácido utilizada para titular a solução de NaOH da amostra (mL);

M=molaridade do ácido;

6= equivalente-grama do carbono;

PS= massa da amostra de solo seca (g).

3. 7. 2. Carbono da biomassa microbiana

Para determinação da biomassa microbiana foi utilizado o método da fumigação-extração, conforme Vance et al. (1987). Para tanto, amostras de solo (25 g), de cada uma das repetições, foram fumigadas com 25 mL de clorofórmio livre de etanol, em dessecador forrado com papel umedecido. Fez-se vácuo até atingir a pressão de 600 a 700 mm Hg negativos e borbulhamento do CHCl_3 (4 vezes, por 2 minutos) incubando-se posteriormente no escuro a 25°C por 24 horas. As amostras não fumigadas foram mantidas sob as mesmas condições de incubação (em dessecadores, no escuro, a 25° C, durante 24 horas).

Posteriormente, as amostras foram defumigadas; para tanto, retirou-se o recipiente com CHCl_3 , renovou-se o papel umedecido. Fez-se remoção do vapor do CHCl_3 com 8 vácuos sucessivos, com duração de 3 minutos cada. A seguir, as amostras foram adicionadas de 100mL de K_2SO_4 0,5 M (relação solo:extrator de 1:4) e mantidas sob agitação durante 60 minutos. Em seguida, foram deixadas em repouso por 12 horas para a extração do carbono.

Passado este período, o sobrenadante foi filtrado em papel de filtro Whatman nº 1 e o carbono do filtrado foi determinado por digestão com dicromato de potássio. Para a digestão, 10mL do filtrado foi disposto em frascos tipo “snap-cap” ao qual foi adicionado 1 mL de solução de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 0,167 mol L^{-1} + 10 mL de uma solução $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{H}_3\text{PO}_4$ (uma parte de ácido sulfúrico e uma parte de ácido fosfórico concentrado). A mistura foi levada ao banho-maria, por uma hora ($\pm 80^\circ\text{C}$) e, após resfriamento, foi acrescida de 10 mL de água destilada. O excesso de dicromato de potássio foi determinado através de titulação com sulfato ferroso amoniacal a 0,4 mol L^{-1} usando-se difenilamina 10 g L^{-1} como indicador do ponto de viragem da cor violeta para verde. Diariamente, para cada avaliação, foram feitas duas amostras sem adição de extrato de solo, que serviram como branco.

Para os cálculos, foi considerado que a quantidade de dicromato consumida é aquela que permaneceu na digestão do branco (10 mL de K_2SO_4 0,5 M) menos aquela que permaneceu na digestão do extrato da amostra. O carbono extraível foi calculado assumindo que

1mL de $K_2Cr_2O_7$ 0,066 mol L^{-1} (= 1 mL $K_2Cr_2O_7$ 0,4 N) é equivalente à 1200 μg C e o C da biomassa microbiana é calculado com a seguinte fórmula:

C da biomassa microbiana (μg C g^{-1} de solo seco) = $2,64 \times E_C$, onde:

E_C = à diferença entre o C extraído da amostra fumigada e o C da amostra não fumigada.

3. 7. 3. Contagem de grupos microbianos

Para a determinação da densidade de fungos e bactérias, foi utilizado o método da diluição em série da amostra em solução salina, seguida da semeadura em placas contendo meios de cultura seletivos descritos no Quadro 4. Os meios de cultura foram autoclavados a $120^\circ C$, durante 30 minutos antes de serem vertidos, a temperatura ambiente, nas placas inoculadas com as diferentes diluições.

Pesou-se 5 g de cada amostra composta, perfazendo três repetições por parcela. A seguir, cada amostra foi diluída em frascos tipo snap-caps, contendo 45 mL de solução salina a 0,85% esterilizada ($120^\circ C$, 30 min.), transferindo-se alíquotas de 5 ml de frascos de soluções mais concentradas para as de menor concentração, até a diluição 10^{-10} em câmara de fluxo laminar. Esta série de diluição decimal serviu para a quantificação dos grupos microbianos, sendo que para cada amostra foram realizadas três repetições por diluição.

Para a quantificação dos fungos, realizou-se o plaqueamento em câmara de fluxo laminar, onde foram tomadas 1,0 mL da diluição 10^{-2} da diluição seriada em solução salina como diluição inicial e procedeu-se a inoculação em placas de Petri esterilizadas e descartáveis até a diluição 10^{-8} .

Posteriormente, adicionou-se, de forma asséptica, o meio de cultura para fungos (MARTIN, 1950), conforme Quadro 4, nas placas semeadas, e foram imediatamente mantidas em câmaras tipo B.O.D., no escuro a $25^\circ C$.

A leitura de ufc g⁻¹ de solo (unidades formadoras de colônias) ocorreu após o quarto dia de incubação. Para as bactéria, procedeu-se da mesma forma, porém, a diluição tomada como inicial foi a de 10⁻³ até a 10⁻¹⁰ e o meio de cultura utilizado foi o ágar nutriente (BURNETT et al., 1957).

Quadro 4. Composição dos meios de cultura para quantificação de bactérias (BURNETT et al., 1957) e fungos (MARTIN, 1950).

Ágar nutriente (bactérias)	Meio de Martin (fungos)
10 g de NaCl	1 g de KH ₂ PO ₄
3 g de extrato de levedura	1 g de MgSO ₄ . 7H ₂ O
5 g de peptona	5 g de peptona
15 g de agar	10 g de dextrose
1000 mL de água destilada	0,03 de estreptomicina
	15g de ágar
	1000 mL de água destilada

3. 7. 4. Análises químicas do solo

As amostras coletadas no campo para cada momento de coleta do experimento, foram acondicionadas e encaminhadas para as análises químicas, realizadas no Departamento de Solos e Nutrição de Plantas da ESALQ-USP-Piracicaba, SP. Para a determinação da matéria orgânica do solo foi utilizado a técnica de colorimetria, para P utilizou-se extração de resina de troca iônica, o K⁺ foi determinado através de fotômetro de chama, Ca²⁺ e Mg²⁺

determinados através de espectrofotometria de absorção atômica e Al^{3+} determinado por espectrofotometria, segundo van Raij et al. (2001). A determinação de nitrogênio total foi realizada através da digestão sulfúrica, em digestor Kjeldahl, e titulação em ácido sulfúrico a 0,05N, NH_4^+ através da extração por agitação aquosa e óxido de magnésio e NO_3^- através da adição de liga de varda, metodologia adaptada de Malavolta et al. (1997).

3. 8. Análise estatística

O estudo dos parâmetros avaliados segundo solarização e adição de couve (como fonte de matéria orgânica ao solo) e momentos de coletas foi realizado considerando-se a técnica da análise de variância para o esquema fatorial $2 \times 2 \times 4$ (solo solarizado e não solarizado x com e sem incorporação de couve x quatro épocas de coleta) no modelo experimental inteiramente casualizado (MONTEGOMERY, 1991). Os processamentos das análises foram feitas utilizando-se o programa estatístico (SAEG 4.0), da Universidade Federal de Viçosa – Departamento de Informática.

Com relação à taxa acumulada e à taxa diária média de CO_2 , foram estabelecidas as estatísticas descritivas envolvendo mediana e semi-amplitude total dos valores obtidos (NORMAN; STREINER, 1994). Foram utilizadas letras de três tipos para indicar os resultados dos testes de comparações múltiplas relativos aos três fatores considerados. Para comparação dos níveis de adição de couve ao solo, fixados os níveis de solarização e momento da coleta, utilizou-se as letras minúsculas; na comparação dos níveis de solarização fixados adição de matéria orgânica e momento da coleta, letras maiúsculas e, finalmente, na comparação dos momentos de coleta fixados solarização e adição de matéria orgânica, letras gregas. Os momentos de coleta, foram especificados da seguinte forma: Primeiro momento, para sete dias de solarização, segundo momento para vinte e um dias de solarização, terceiro momento para trinta e cinco dias de solarização e, finalmente, quarto momento, para quarenta e nove dias de solarização.

Para a interpretação dos resultados a partir da leitura das letras deve-se proceder da seguinte forma: Duas médias seguidas de pelo menos uma mesma letra (do mesmo tipo) não diferem entre si, pelo teste de Tukey, no nível de 5% de significância.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4. 1. Carbono da biomassa microbiana

A Figura 5 apresenta os teores médios de carbono da biomassa microbiana (expressos em $\mu\text{g C g}^{-1}$ de solo), segundo o método proposto por Vance et al. (1987). O Quadro 5 apresenta a análise estatística realizada para os resultados de carbono da biomassa microbiana, conforme descrito no capítulo 4.

O carbono microbiano variou de 3,34 a 352,93 $\mu\text{g C g}^{-1}$ de solo, ao longo dos momentos de coleta do solo do experimento. O carbono da biomassa microbiana foi maior para solos não solarizados (3,34 a 352,93 $\mu\text{g C g}^{-1}$ de solo) do que para solos solarizados (5,79 a 259,56 $\mu\text{g C g}^{-1}$ de solo).

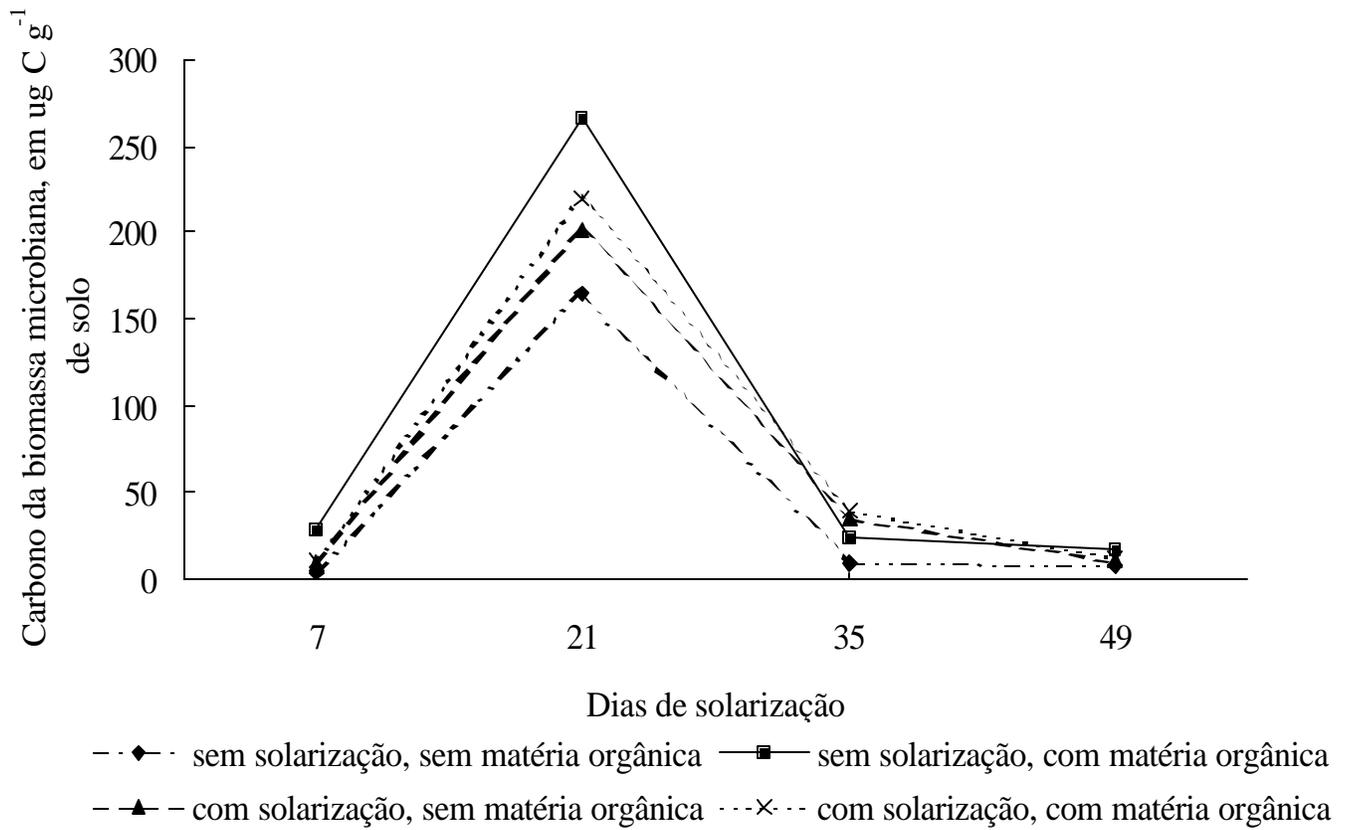


Figura 5. Quantidade média de carbono da biomassa microbiana, em $\mu\text{g C g}^{-1}$ de solo, em solo com e sem solarização e com e sem matéria orgânica. Média de 3 repetições.

Quadro 5. Médias de carbono da biomassa microbiana ($\mu\text{g C g}^{-1}$ de solo), em função da solarização, adição de matéria orgânica e momentos de coleta, e respectivos resultados do teste estatístico.

Solarização	Adição de couve	Momentos das coletas, dias			
		7	21	35	49
Ausente	sem	4,6bB β ⁽¹⁾	164,9bB α	9,4bB β	8,2bB β
	com	29,0bB β	266,5aB α	24,7bB β	17,5bB β
Presente	sem	9,36bB β	202,0bB α	35,7bB β	11,4bB β
	com	11,4bB β	219,9bB α	40,22bB β	12,6bB β
CV(%)	46,77				

¹ Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, no nível de 5% de significância. Média de três repetições. Para comparação dos níveis de adição de matéria orgânica ao solo, fixados os níveis de solarização e momento da coleta, utilizou-se as letras minúsculas; para comparação dos níveis de solarização, fixados adição de matéria orgânica e momento da coleta, letras maiúsculas; para comparação dos momentos de coletas de solo, fixados solarização e adição de matéria orgânica, letras gregas.

Considerando-se todos os momentos de coleta, observou-se que o carbono da biomassa microbiana quantificado na camada de 0-10 cm de solo, sofreu aumento significativo somente no segundo momento de coleta de solo (21 dias do experimento), para todos os tratamentos, sendo este aumento de 97,2%, 89,1%, 95,36% e 94,81% para os tratamentos não solarizados com e sem incorporação de matéria orgânica e solarizados com e sem incorporação de matéria orgânica, respectivamente, voltando a decair até o final do período do experimento. Para os demais momentos (7, 35 e 49 dias) não foram encontradas diferenças significativas, como mostra o Quadro 5.

Provavelmente, a comunidade microbiana começou a oxidar os compostos orgânicos e o pico de oxidação ocorreu aos 21 dias do experimento em todos os tratamentos, considerando-se que no início do experimento o solo de todos os tratamentos foram encharcados e

nesta situação, a decomposição de matéria orgânica e outras oxidações microbianas é mais lenta, produzindo menos ATP e formando-se biomassa lentamente. Os maiores valores obtidos aos 21 dias foi observado para os tratamentos não solarizados, o que era esperado, pois nos tratamentos sem solarização, o solo não foi mantido tão úmido quanto os tratamentos solarizados. Assim as oxidações nos tratamentos não solarizados é aeróbia e forma-se mais biomassa microbiana.

Alguns autores como Wardle e Parkinson (1990), Wardle (1992) e Feigl (1994), relacionaram a flutuação sazonal da biomassa microbiana e da sua atividade com a umidade e temperatura do solo. No presente experimento, comparando-se os dados de carbono da biomassa microbiana com a figura de precipitação pluviométrica (Figura 3), observa-se que a oscilação na quantidade de biomassa microbiana acompanhou a flutuação da precipitação pluviométrica que ocorreu na área experimental, sendo os valores mais homogêneos apresentados nos tratamentos solarizados, devido ao fato do filme plástico proporcionar maior retenção de umidade no solo, evitando dessa forma, perdas por evaporação e portanto apresentando menores valores de biomassa microbiana, decorrente das condições anaeróbias desses tratamentos.

A matéria orgânica também participa na retenção da umidade do solo, o que explica os maiores valores de carbono da biomassa microbiana para o solo não solarizado e com incorporação de matéria orgânica, como mostra a Figura 5. O aumento do carbono da biomassa microbiana para o tratamento solarizado que também recebeu acréscimo de matéria orgânica, foi menor devido, provavelmente, a ação dos altos índices de temperatura e excesso de umidade nos solos destes tratamentos, sobre a comunidade microbiana.

O tratamento considerado testemunha (sem solarização e sem adição de couve) apresentou menor aumento de carbono da biomassa microbiana, em função da não ação de matéria orgânica prontamente decomponível e também, provavelmente por não apresentar algum fator que proporcionasse maior retenção de umidade no solo e, desta forma, menor disponibilidade de água ao metabolismo microbiano, ainda que este tratamento tenha apresentado temperaturas mais favoráveis à atividade microbiana. O que também foi observado por Cattelan e Vidor (1990), onde o carbono da biomassa microbiana foi muito influenciado pela variação dos fatores climáticos, principalmente umidade e temperatura.

A matéria orgânica adicionada, proporcionou aumento significativo de carbono da biomassa microbiana para os tratamentos não solarizados no segundo momento de coleta de solo (21 dias), não sendo observado diferença significativa entre os demais tratamentos que receberam adição de matéria orgânica neste momento de coleta das amostras de solo (7, 35 e 49 dias), como mostra o Quadro 5. Este aumento foi de 38,12%, sendo explicado pelo fornecimento de nutrientes aos microrganismos através da decomposição da matéria orgânica adicionada ao solo, associada às temperaturas de solo favoráveis para o desenvolvimento de diferentes tipos de microrganismos (em média 28°C) e umidade favorável no solo deste tratamento.

As altas temperaturas encontradas nos solos solarizados e o excesso de umidade talvez tenha influenciado a densidade de microrganismos da microbiota do solo, proporcionando uma seleção qualitativa de microrganismos, que não apresentaram um aumento significativo na quantidade de carbono da biomassa microbiana, mesmo com a adição de uma fonte de nutrientes como a matéria orgânica utilizada neste experimento.

Nos tratamentos solarizados as temperaturas médias do solo oscilaram entre 56°C a 30°C e 47°C a 24°C para tratamentos com e sem adição de matéria orgânica respectivamente, como mostram as Figuras 4 e 5. O que explica os menores valores de carbono da biomassa microbiana mesmo quando o solo recebeu matéria orgânica, pois as altas temperaturas do solo acabaram sendo um fator limitante para o desenvolvimento dos microrganismos da microbiota do solo. Já para solos não solarizados, as temperaturas foram mais amenas, variando entre 40°C a 24°C e 45°C a 19°C, para os solos com e sem acréscimo de matéria orgânica respectivamente, sendo estas mais favoráveis para o desenvolvimento de uma grande diversidade de microrganismos, como mostra a Figura 8. Segundo Wardle (1998), nas regiões de clima tropical, onde não ocorrem congelamento de solo no inverno, a biomassa microbiana não demonstra um comportamento uniforme, como foi observado nos momentos de coleta no período em que o experimento estava no campo.

Para os tratamentos solarizados não houve diferença significativa de carbono da biomassa microbiana quanto à adição de matéria orgânica, na profundidade de 0-10 cm de solo avaliada durante os 49 dias de experimento no campo. Este fato também foi observado quando

comparados os tratamentos não solarizados com os solarizados durante o período de coleta de solo dos tratamentos, apresentando uma certa uniformidade de valores.

Hargreaves et al. (2003) observaram que o método da fumigação – extração, utilizado para a análise de carbono da biomassa microbiana, foi um bom indicador para a análise de solos que sofreram modificações na sua ecologia, num curto período de tempo, como também ocorreu no presente estudo.

4. 2. Contagem de microrganismos

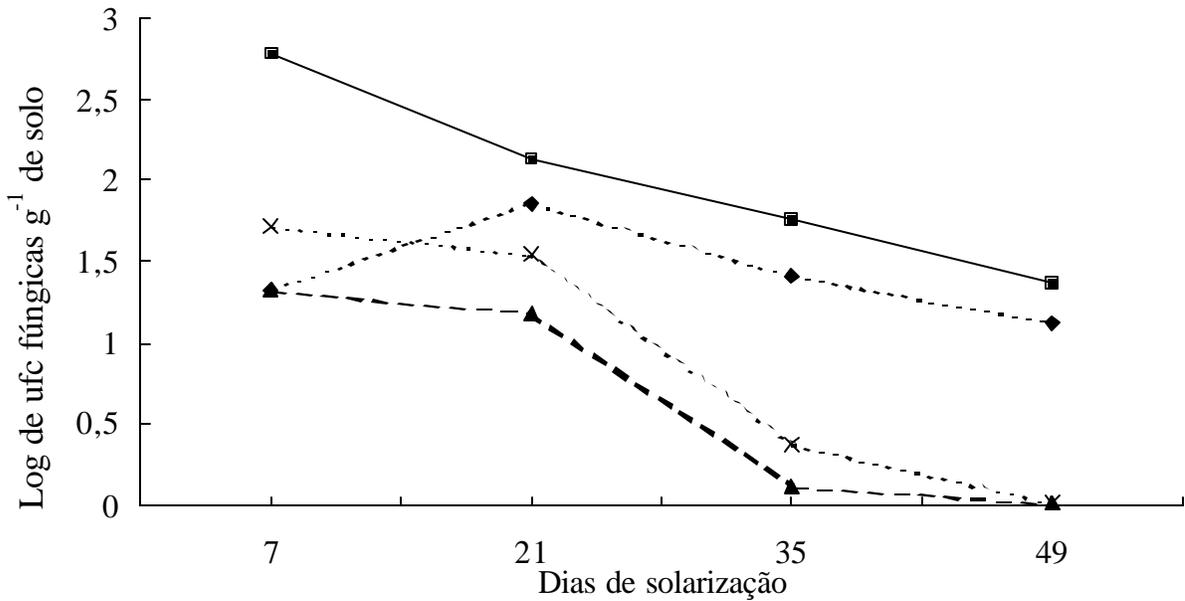
4. 2. 1. Contagem de Fungos

A Figura 6 apresenta os resultados das contagens de unidades formadoras de colônias (ufc) fúngicas, transformados em logx, dos tratamentos mencionados anteriormente, coletados a 0-10 cm de profundidade. O Quadro 6 mostra os dados numéricos médios (não transformados) dos valores da quantificação de unidades formadoras fúngicas em função do período de coleta e dos tratamentos utilizados, bem como a análise estatística realizada para os resultados de unidades formadoras de colônias fúngicas, conforme descrito no capítulo referente à descrição da análise estatística (item 3.8).

Através das contagens em placas de Petri, observou-se que para a comunidade fúngica, o número de unidades formadoras de colônias, variou de $1238,110^3$ a $0,87 \cdot 10^3$ ufc g^{-1} de solo durante o período de coletas das amostras. Os maiores valores foram obtidos para solos não solarizados ($1238,1 \cdot 10^3$ a $22,1 \cdot 10^3$ ufc g^{-1} de solo) do que para solos solarizados ($108,19 \cdot 10^3$ a $0,87 \cdot 10^3$ ufc g^{-1} de solo), provavelmente decorrente do efeito de maiores temperaturas e umidade encontradas nestes tratamentos.

No primeiro momento de coleta do solo, realizada no sétimo dia do experimento no campo, os tratamentos que receberam a fonte de matéria orgânica citada anteriormente, apresentaram maiores valores de unidades formadoras de colônias fúngicas, tanto para os tratamentos solarizados como para os não solarizados, coincidindo com os picos de CO_2 liberado

(Quadro 8), mas não coincidiram com os picos de biomassa microbiana que ocorreu aos 21 dias. De



---◆--- sem solarização, sem matéria orgânica —■— sem solarização, com matéria orgânica
 -▲- com solarização, sem matéria orgânica ---×--- com solarização, com matéria orgânica

Figura 6. Médias da contagem de ufc fúngicas 10^3 g^{-1} de terra, transformados em logx, ao longo do período de coleta. Médias de três repetições.

Quadro 6. Médias da contagem de unidades formadoras de colônias fúngicas (ufc) (g^{-1} de solo 10^3), dados transformados em $\log x$, em função da solarização, adição de matéria orgânica e momentos de coleta e respectivos resultados do teste estatístico.

Solarização	Adição de couve	Momentos da coleta, dias			
		7	21	35	49
Ausente	sem	(22,5) ⁽¹⁾ 1,32bA α ⁽²⁾	(110,8) 1,86aA α	(26,54) 1,41aA α	(15,01) 1,12aA α
	com	(713,06) 2,79aA α	(140,8) 2,14aA α	(56,75) 1,76aA β	(27,62) 1,37aA β
Presente	sem	(24,63) 1,32bA α	(15,92) 1,18aA α	(0,99) 0,12aB β	(0,96) 0,01aB β
	com	(74,91) 1,71aB α	(36,21) 1,55aB α	(64,31) 0,37aB β	(1,2) 0,01aB β
CV(%)	18,53				

¹ Médias dos dados originais obtidos através da contagem de unidades formadoras de colônias fúngicas (ufc) (g^{-1} de solo 10^3). Médias de três repetições.

² Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, no nível de 5% de significância. Médias de três repetições. Para a análise estatística os dados foram transformados em $\log x$. Para a comparação dos níveis de adição de matéria orgânica ao solo, fixados os níveis de solarização e momento da coleta, utilizou-se as letras minúsculas; para comparação dos níveis de solarização, fixados adição de matéria orgânica e momento da coleta, letras maiúsculas; para comparação dos momentos de coletas de solo, fixados solarização e adição de matéria orgânica, letras gregas.

forma dormente, são estimulados a entrar em atividade, o que também é válido para o presente estudo. Fontaine et al. (2003) também observaram que após a adição de uma fonte de matéria orgânica fresca ao solo, muitos microrganismos especializados cresceram rapidamente.

Para os demais momentos de coleta do solo (realizadas aos 21, 35 e 49 dias) a matéria orgânica adicionada (couve) ao solo não teve influência significativa sobre os valores observados, tanto para os tratamentos solarizados como para os não solarizados, como mostra o Quadro 2. Isso pode ser explicado pelo fato da matéria orgânica ter sido mineralizada pela comunidade fúngica nos primeiros dias após sua incorporação ao solo e posteriormente, a comunidade fúngica foi estabelecendo um novo equilíbrio, decorrente da diminuição da disponibilidade dos nutrientes oriundos da decomposição da matéria orgânica, ao metabolismo da comunidade fúngica.

Os tratamentos não solarizados apresentaram maiores valores significativos de unidades formadoras de colônias fúngicas para os tratamentos que receberam a adição de matéria orgânica durante todo o experimento e a partir do terceiro momento de coleta do solo (35 dias) para os tratamentos que não receberam acréscimo de matéria orgânica. Os menores valores de unidades formadoras de colônias fúngicas encontrados nos tratamentos solarizados, pode ser conseqüente dos maiores valores térmicos (Figura 4B e 4D), chegando a valores acima de 50 °C para os solos solarizados com acréscimo de matéria orgânica (Figura 4D), e da também da provável presença de maior umidade encontrada nos solos solarizados o que pode ter causado a morte de alguns microrganismos, como também foi observado por Ghini et al. (2002), num tratamento solarizado com adição de cama de frango.

A comunidade fúngica nos tratamento solarizados começou a diminuir devido ao provável efeito cumulativo térmico do solo, que modificou o ambiente, acabando por selecionar e permitir a sobrevivência de somente os microrganismos mais resistentes do solo, como ocorreu para os dois últimos momentos de coleta de solo (35 e 49 dias) onde os tratamentos solarizados apresentaram valores inferiores de unidades formadoras fúngicas, independentes da adição ou não de matéria orgânica. O que pode ser explicado devido a exposição desses microrganismos às altas temperaturas encontrada no solo no decorrer do experimento nos solos destes tratamentos (Figura 4B e 4D), que podem ter causado uma intensa atividade microbiana nos primeiros dias de tratamento decorrente do estresse térmico, e ocasionado posteriormente a morte de alguns elementos da comunidade fúngica ali presente, voltando a apresentar um novo equilíbrio

dinâmico, selecionando somente os microrganismos mais resistentes a temperaturas mais altas e permanecendo, no decorrer do experimento uma comunidade fúngica composta por menor quantidade de microrganismos, porém extremamente competitivos e resistentes às diversidades térmicas. Katan (1976) afirma que, com a solarização, a comunidade microbiana é alterada em favor dos microrganismos saprófitas, resistentes ao calor, sendo a ação destes, uma das maneiras de controle de fitopatógenos de solo através da solarização.

Entretanto, os valores de unidades formadoras de colônias fúngicas apresentaram comportamentos diferentes quando comparados aos valores de carbono da biomassa microbiana (Quadro 5). Portanto os dados apresentados no presente trabalho, mostram que provavelmente parte da microbiota encontrava-se em repouso ou latência e o meio de cultura utilizado, não foi capaz de proporcionar condições favoráveis para o desenvolvimento de colônias, visto que todos os meios de cultura são seletivos, ou então, devido à diversidade da microbiota no solo, a comunidade fúngica quantificada sofreu a ação da solarização, enquanto que outros microrganismos não quantificados neste trabalho não sofreram seu efeito, sendo responsáveis pelo carbono microbiano encontrado nas amostras avaliadas.

Quando comparado os momentos de coleta de solo, foi observado que os tratamentos solarizados apresentaram maiores valores de unidades formadoras de colônias fúngicas aos 7 e 21 dias de solarização, em relação aos 35 e 49 dias, independente da adição de matéria orgânica, o que mostra uma redução do número de unidades formadoras de colônias fúngicas, decorrente de provável morte de alguns indivíduos mais sensíveis ao efeito cumulativo térmico. Como foi observado por Randing et al. (2002) onde a partir do segundo dia de exposição a altas temperaturas, o potencial de inóculo de fungos micorrízicos arbusculares sofreram uma redução de 90%. Também foi observado uma certa estabilidade da comunidade fúngica após a degradação da matéria orgânica e à exposição aos altos índices térmicos. Ao final do experimento, ocorreu uma redução de 96,1% e 98,4% de unidades formadoras de colônias fúngicas para solos sem e com adição de matéria orgânica, respectivamente. Resultados similares, de decréscimo de densidade fúngica e bacteriana após solarização, foram também observados por Coates et al. (1988).

Para os tratamentos não solarizados, os maiores valores foram obtidos somente para o tratamento com adição de matéria orgânica, no primeiro momento de coleta (7 dias) enquanto que os tratamentos sem adição de matéria orgânica permaneceram sem diferenças significativas de unidades formadoras de colônias fúngicas durante a permanência do experimento no campo, como mostra o Quadro 6. Todos os tratamentos tenderam à diminuição dos valores de unidades formadoras de colônias fúngicas a partir do primeiro momento de coleta de solo (realizada no sétimo dia do experimento), com exceção do tratamento não solarizado e sem acréscimo de matéria orgânica, que apresentou uma tendência à diminuição a partir do segundo momento de coleta (21 dias de experimento), devido provavelmente à diminuição da precipitação pluviométrica (Figura 3) e conseqüentemente menor fornecimento de água ao metabolismo da comunidade fúngica presente neste tratamento.

Embora a redução de valores de unidades formadoras de colônias fúngicas apresentassem um tendência à redução nos momentos anteriores de coletas de solo dos tratamentos, de maneira geral, com exceção dos tratamentos não solarizados e sem acréscimo de matéria orgânica, os demais tratamentos apresentaram valores significativos de redução de unidades formadoras de colônias fúngicas a partir do 35º dia do experimento (Quadro 6) o que mostra a ação dos efeitos climáticos (temperatura, precipitação pluviométrica, umidade relativa do ar) na comunidade fúngica do solo, mostrando uma mesma tendência para todos os tratamentos, como também foi observado por Venâncio (1993).

4. 2. 2. Contagem de bactérias

A Figura 7 apresenta os resultados médios das contagens de unidades formadoras de colônias (ufc) bacterianas, transformados em $\log x$, dos tratamentos mencionados. O Quadro 7 apresenta a análise estatística realizada para os resultados de unidades formadoras de colônias bacteriana, conforme descrito no item 3.8. Através das contagens em placas de Petri, observou-se que para o solo coletado de 0-10 cm de profundidade para todos os tratamentos, o número de unidades formadoras de colônias bacterianas, por grama de solo, variou de 10^3 a 10^4 .

A quantidade de unidades formadoras de colônias bacterianas observadas, variou de $152,25 \cdot 10^3$ a $0,1 \cdot 10^3$ ufcg⁻¹ de solo durante todo o período de coletas das amostras de solo do experimento. A maior variação média de valores de unidades formadoras de colônias bacterianas foram obtidos para os tratamentos solarizados com e sem adição de matéria orgânica ($152,25 \cdot 10^3$ a $0,1 \cdot 10^3$ ufc g⁻¹ de solo e $104,94 \cdot 10^3$ a $0,103 \cdot 10^3$ ufc g⁻¹ de solo respectivamente) enquanto que para os tratamentos não solarizados os valores médios obtidos oscilaram entre $118 \cdot 10^3$ a $24,5 \cdot 10^3$ e $67,45 \cdot 10^3$ a $14,31 \cdot 10^3$ unidades formadoras de colônias

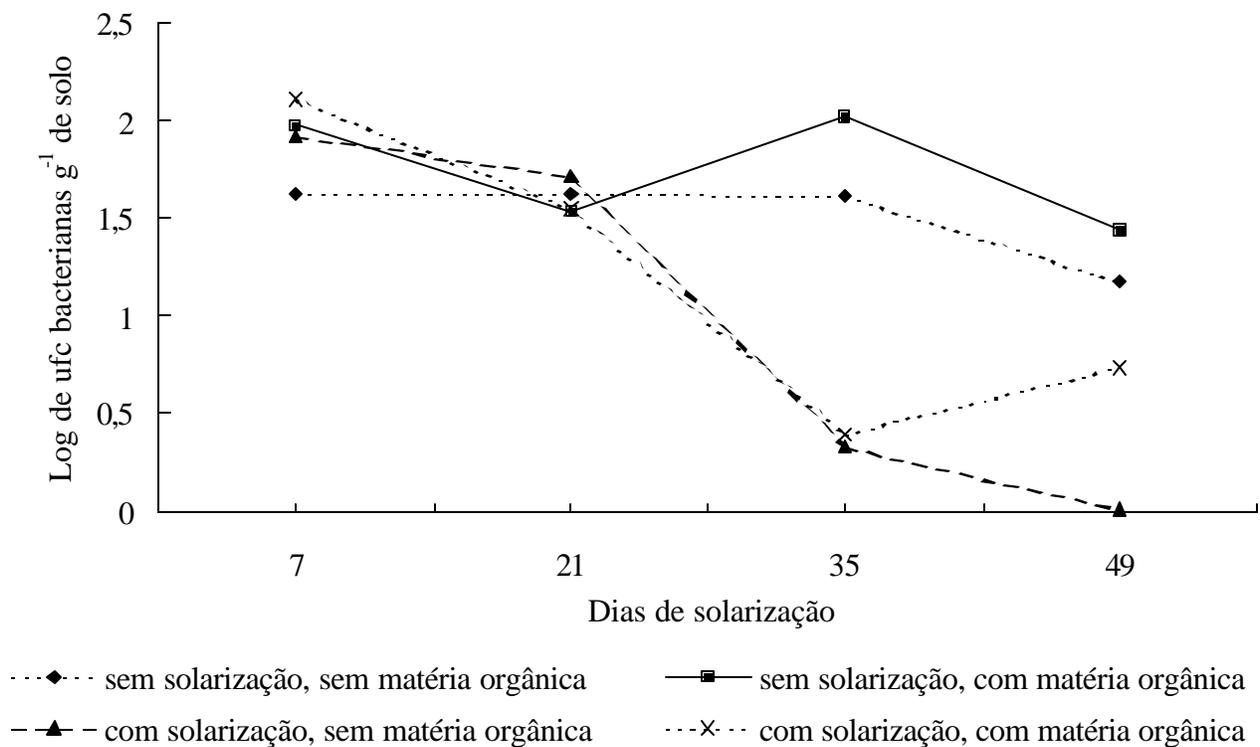


Figura 7. Médias da contagem de ufc bacterianas g⁻¹ de solo, transformados em logx, ao longo do período de coleta. Médias de três repetições.

Quadro 7. Médias da contagem de unidades formadoras de colônias bacterianas (ufc) (g^{-1} de solo 10^3), dados transformados em $\log x$, em função da solarização, adição de matéria orgânica e momentos de coleta e respectivos resultados do teste estatístico.

Solarização	Adição de couve	Momentos da coleta, dias			
		7	21	35	49
Ausente	sem	(44,5) ⁽¹⁾ 1,62aA α ⁽²⁾	(43,9) 1,62aA α	(41,7) 1,61aA α	(15,0) 1,17aA α
	com	(96,4) 1,97aA $\alpha\beta$	(35,2) 1,54aA $\alpha\beta$	(106,0) 2,02aA α	(27,6) 1,44aA β
Presente	sem	(86,6) 1,92aA α	(54,4) 1,71aA α	(0,68) 0,33aB β	(0,96) 0,02bB β
	com	(131,4) 2,11aA α	(42,4) 1,55aA α	(0,71) 0,40aB β	(6,96) 0,73aB β
CV (%)	20,83				

¹ Médias dos dados originais obtidos através da contagem de unidades formadoras de colônias fúngicas (ufc) (g^{-1} de solo 10^3). Médias de três repetições.

² Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, no nível de 5% de significância. Médias de três repetições. Para a análise estatística os dados foram transformados em $\log x$. Para a comparação dos níveis de adição de matéria orgânica ao solo, fixados os níveis de solarização e momento da coleta, utilizou-se as letras minúsculas; para comparação dos níveis de solarização, fixados adição de matéria orgânica e momento da coleta, letras maiúsculas; para comparação dos momentos de coletas de solo, fixados solarização e adição de matéria orgânica, letras gregas.

bacterianas ufc g^{-1} de solo, para os tratamentos sem e com adição de matéria orgânica respectivamente.

Nos tratamentos onde foram adicionados matéria orgânica (couve) não foram observadas diferenças significativas quanto aos valores de unidades formadoras de colônias bacterianas nos solos não solarizados, durante toda a duração do experimento. Nenhuma diferença significativa também foi observado por Crecchio et al. (2001) após avaliar a comunidade bacteriana de um solo que recebeu a adição de matéria orgânica oriunda da compostagem de lixo urbano. O mesmo comportamento foi observado para os tratamentos solarizados até o terceiro momento de coleta do solo (35 dias de experimento), apresentando no último momento de coleta (49 dias do experimento) um aumento significativo destes valores.

Este aumento observado pode ser conseqüente da reestruturação do metabolismo bacteriano e da sua diversidade, proporcionando a germinação de estruturas de resistência (endosporos) de colônias bacterianas que suportaram o efeito cumulativo da temperatura do solo neste tratamento (Figura 4D) e também por, teoricamente, o solo solarizado apresentar maior capacidade de retenção de água por estar coberto pelo filme plástico e por apresentar maiores teores de matéria orgânica, que colaboram para a retenção de umidade no solo.

Os tratamentos solarizados começaram a apresentar valores de unidades formadoras de colônias bacterianas inferiores aos tratamentos não solarizados a partir do terceiro momento de coleta (35 dias de experimento), como também ocorreu para os valores de unidades formadoras de colônias fúngicas (Quadro 6) em conseqüência à provável ação cumulativa térmica do solo, que modificou o ambiente, acabando por selecionar e permitir a sobrevivência de somente microrganismos mais resistentes, como ocorreu para os dois últimos momentos de coleta de solo (35 e 49 dias) onde os tratamentos solarizados apresentaram valores inferiores de unidades formadoras de colônias bacterianas, independentes da adição ou não de matéria orgânica. Os solos não solarizados, com e sem adição de matéria orgânica apresentaram valores significativamente maiores de unidades formadoras de colônias bacterianas que os solarizados a partir do terceiro momento de coleta (35 dias) mantendo-se superiores no quarto momento (49 dias), mostrando que, os efeitos

térmicos cumulativos dos tratamentos solarizados diminuíram significativamente o número de unidades formadoras de colônias bacterianas no transcorrer do experimento no campo.

O tratamento que não foi solarizado e também não sofreu a adição de matéria orgânica (couve) apresentou uma certa uniformidade de valores durante os momentos de coletas das amostras de solo, não apresentando valores significativamente diferentes entre si e tendendo à diminuição de valores no final do experimento. Entretanto, para o tratamento também não solarizado, mas que recebeu a incorporação de matéria orgânica, os valores de unidades formadoras de colônias bacterianas não foram significativamente diferentes nos dois primeiros momentos de coleta de solo do tratamento, apresentando maiores valores aos 35 dias do experimento e decaindo no último momento de coleta. Essas variações de valores não foram observadas nos tratamentos solarizados, que apresentaram o mesmo comportamento durante o experimento, sendo maiores nos dois primeiros momentos de coleta de solo e diminuindo nos dois últimos, não apresentando resultados estatísticos significativamente diferentes entre os tratamentos que receberam ou não a matéria orgânica entre os momentos de coleta de solo durante o experimento, como mostra o Quadro 7.

Essas oscilações podem ser explicadas segundo, Whipps (1990), que observou um estímulo na comunidade microbiana em solos com culturas anuais, através da deposição de resíduos orgânicos ao solo, sendo este estímulo dependente da quantidade e qualidade destes resíduos.

Desta forma, podemos entender o porquê do não aumento de valores de unidades formadoras de colônias bacterianas, ao contrário do que ocorreu com os valores de unidades formadoras de colônias fúngicas nos primeiros momentos de coleta de solo dos tratamentos que receberam matéria orgânica (Quadro 6) sendo observado este aumento de valores de unidades formadoras de colônias bacterianas em momentos de coletas posteriores (Figura 7).

Provavelmente a matéria orgânica adicionada não forneceu requisitos suficientes para promover o aumento na quantidade de unidades formadoras de colônias bacterianas presentes nos solos dos tratamentos avaliados nos primeiros momentos de coleta, mesmo a comunidade bacteriana apresentando grande diversidade de espécies e metabolismos

(ALEXANDER, 1967; SIQUEIRA et al., 1994). Segundo Brandão (1992), embora a comunidade bacteriana possa ser encontrada em menores quantidades que a comunidade fúngica no solo, ela também desempenha funções de grande importância na decomposição da matéria orgânica.

Com relação à essas contagens de grupos microbianos (fungos e bactérias) deve-se considerar que elas refletem a condição das populações em um dado momento, servindo para comparar os tratamentos apenas nos momentos das coletas das amostras. Além disso, a contagem representa apenas o número de microrganismos capazes de crescer no meio de cultura utilizado e não existe um meio de cultura que atenda todas as exigências nutricionais de todos os microrganismos encontrados (DROZDOWICZ, 1991).

4. 3. CO₂ Liberado do Solo

4. 3. 1. Taxa diária média de CO₂ liberado

O Quadro 8 apresenta o resultado da estatística descritiva envolvendo mediana e valores da semi-amplitude total dos dados de taxa diária média de CO₂ liberado do solo durante os 40 dias de incubação em laboratório para cada momento de coleta, expressos em $\mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1}$ de solo dia^{-1} , segundo solarização e incorporação de matéria orgânica (couve) ao solo.

Os valores originais da taxa diária média variaram de 1,0 a 158,92 $\mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1}$ de solo dia^{-1} , sendo ambos encontrados nos solos solarizados, sem e com incorporação de matéria orgânica, respectivamente.

Através das medianas dos valores de liberação da taxa média de $\text{CO}_2 \text{ g}^{-1}$ de solo dia^{-1} observou-se que para os tratamentos onde foi realizada a incorporação de matéria orgânica (couve) os dados tenderam a apresentar maiores valores de $\mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1}$ de solo dia^{-1} até o quinto dia de análise em laboratório tanto para tratamentos não solarizados como para os solarizados, como mostra o Quadro 8, tendendo a apresentar uma redução de valores e poucas variações desses

valores nas análises realizadas em dias posteriores para os tratamentos não solarizados. Essa tendência foi observada para as amostras de solo coletadas neste tratamento em diferentes momentos de coleta no campo ao 7º e 21º e no 49º dia de coleta de amostras no campo.

Este fato pode ser explicado através dos processos de decomposição de materiais orgânicos nos solo, onde a comunidade microbiana oxida os constituintes mais simples, gerando nutrientes que serão utilizados pelos microrganismos para sua estrutura e funcionamento celular. Nesse processo, parte do carbono é oxidado a CO₂. Este processo é realizado por muitos indivíduos heterótrofos da comunidade microbiana, como bactérias, fungos e actinomicetos, cujo metabolismo, fisiologia e nutrição são extremamente versáteis. Posteriormente, os compostos mais complexos para cuja degradação existem outros indivíduos da comunidade, de densidade menor, acabam por diminuir a liberação de CO₂, como foi também observado por Almeida (1983) e por Alvarez et al. (1995).

Os tratamentos solarizados com incorporação de matéria orgânica, apresentaram uma tendência de maiores valores de medianas de $\mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1}$ de solo dia^{-1} quando comparados aos demais tratamentos, principalmente para as amostras coletadas até o 35º dia de experimento no campo. Isto mostra que a solarização, juntamente com a incorporação de matéria orgânica oriunda de couve, pode ter estimulado a atividade respiratória de alguns microrganismos presentes na microbiota do solo deste tratamento.

Este estímulo pode ter ocorrido devido a potencialização da degradação da matéria orgânica, causada pelo maior aumento da temperatura do solo no campo causando um estresse na comunidade microbiana ali presente, ou pela seleção de microrganismos mais eficientes na degradação da matéria orgânica do solo nas amostras coletadas no campo para este tratamento.

Aumento na respiração basal do solo, bem como de carbono da biomassa microbiana, também foram observados por Ros et al., (2003), sendo conseqüente da incorporação de materiais orgânicos facilmente degradáveis, os quais estimularam a atividade microbiana num solo espanhol durante dois anos.

Outro fato que explicaria este rápido aumento na respiração microbiana é a exposição da matéria orgânica do solo, que estava inicialmente protegida dentro dos agregados e que,

devido ao manuseio e preparo das amostras para as análises em laboratório, foi liberada mais facilmente ao metabolismo microbiano (FOSTER, 1994; ROVIRA, 1994).

Os menores valores de medianas apresentados para as amostras coletadas no campo no 49º dia para todos os tratamentos, nos primeiros nove dias de análise em laboratório, mostraram que a comunidade microbiana pode ter sofrido os efeitos da escassez de chuvas encontradas nas condições de campo neste período (Figura 3) concordando com Nuernberg et al. (1984), onde também foi observado uma diminuição na liberação de CO₂, em um determinado período do experimento, devido ao baixo teor de umidade do solo, provocado por uma estiagem prolongada. Rocha (1997) também observou que a liberação de CO₂ acompanhou as variações das condições ambientais que ocorreram durante o período de experimentação.

Carlyle e Than (1988) observaram que a respiração do solo correlacionou-se significativamente com a temperatura do solo ($r^2=0,85$) somente quando a umidade excedeu 12,5%, ou seja, quando a umidade não era fator limitante. Sob condições mais secas, não houve correlação com a temperatura do solo. Quando os níveis de umidade do solo foram maiores que 12,55% havia uma correlação negativa significativa ($r^2=0,91$) entre o conteúdo de água e a respiração, devido à diminuição de aeração do solo. Do mesmo modo, Guptra e Singh (1981), em experimento com solos tropicais, encontraram uma significativa correlação entre o CO₂ liberado e o conteúdo de água no solo.

De modo geral, para todos os tratamentos, em todos os períodos de coleta das amostras, a liberação de CO₂ apresentou uma tendência ao decréscimo ao longo do período de incubação em laboratório (40 dias). Os maiores valores apresentados no início do período de incubação, pode ser explicado pela proliferação de bactérias zimogênicas que crescem rapidamente após perturbações e/ou condições de alta disponibilidade de nutrientes (consideradas r-estrategistas e caracterizadas por altas velocidades de crescimento e reprodução) (Paul; Clark, 1989).

Estes microrganismos, segundo Andrews e Harris (1986), em solos com baixa densidade populacional, onde fatores de crescimento dependentes da densidade (suprimento alimentar, metabólitos tóxicos, predação, espaço) são negligíveis, a regulação da população é feita por mecanismos típicos independentes da densidade (extremos de temperatura e umidade, alterações

climáticas), onde predominam os microrganismos chamados de r-estrategistas, enquanto que em ambientes com alta densidade populacional predominam os k-estrategistas, onde as populações são reguladas pelos fatores dependentes da densidade.

Considerando-se o solo como um meio ambiente, uma condição “r” pode surgir temporariamente em consequência do aumento do suprimento alimentar ou declínio acentuado da densidade populacional; e a condição “k” ocorre quando a relação entre o meio ambiente e população é tal que a taxa específica de aumento da população é muito baixa ou até mesmo, zero. Conseqüentemente, a densidade populacional, neste último caso, está próxima da capacidade limite do ecossistema (que é aquele limite onde é capaz de manter a população em condições de equilíbrio dinâmico, ou seja, sem modificações significativas no número de indivíduos). Na prática, a maioria dos microhabitats microbianos apresentam características de oscilação entre os extremos de condições r e k (ANDREWS; HARRIS, 1986; GRISI, 1995).

A análise de CO₂ nem sempre é adequada para se determinar alterações na atividade microbiana de processos microbianos específicos (SARATCHANDRA et al., 1988; SANTRUCKOVÁ; STRASRABA, 1991) e por isso, é sempre recomendável a utilização de outra análise complementar para que se possa concluir de forma mais segura as modificações encontradas.

Comparando-se os dados de carbono da biomassa microbiana e liberação de CO₂, observou-se que quando ocorreram maiores valores de carbono da biomassa microbiana, foi encontrado uma tendência a menores valores para a liberação de CO₂. A atividade respiratória do solo depende de processos realizados pela biomassa microbiana e quatro possíveis hipóteses explicam a relação inversa entre os dois parâmetros, ou seja, a diminuição na taxa respiratória com o aumento da biomassa microbiana do solo, ou vice-versa: a redução da respiração é causada por alterações na composição da comunidade microbiana do solo; o aumento da respiração pode ser devido a efeitos estressantes na comunidade microbiana; ocorre a diminuição de células ativas com o aumento da biomassa microbiana (limitação de nutrientes) e o aumento excessivo da concentração de CO₂ no solo diminui a taxa respiratória. (COLEMAN, 1973).

4. 3. 2. Dados cumulativos de CO₂

O Quadro 9 mostra os dados acumulados de CO₂ liberados do solo, expressos em $\mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1}$ de solo, ao longo do período de incubação em laboratório, segundo a utilização de solarização e incorporação de matéria orgânica (couve) em diferentes momentos de coleta de solo no campo.

Foi utilizado a análise estatística descritiva envolvendo mediana e semi-amplitude total conforme Norman e Streiner (1994), dos dados cumulativos de liberação de CO₂ g^{-1} de solo, pelos mesmos motivos apresentados para os dados de taxa diária média de liberação de CO₂, ou seja, ocorreu uma desuniformidade de dados obtidos com apenas 3 repetições no campo e 3 repetições em laboratório, necessitando de um número maior de repetições para obter-se dados mais conclusivos. Em laboratório, Fernandes (1999) também não observou um padrão de liberação de CO₂ relacionado com o ciclo diário de temperatura em diferentes tratamentos; portanto, os dados apresentados por este autor, referiram-se às médias diárias no período de amostragem, esta ausência de padrão também foi observado por Feigl et al. (1995) durante o ano de 1992 na mesma área analisada pelo autor.

Os valores das medianas de CO₂ acumulados, no presente estudo, variaram de 6,58 a 1284,5 $\mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1}$ de solo. O menor valor foi encontrado no tratamento sem solarização com adição de matéria orgânica, no terceiro momento de coleta de solo (35 dias), nos dois primeiros dias de incubação em laboratório. O maior valor para o tratamento com solarização e incorporação de matéria orgânica no final das análises em laboratório (40 dias), para as amostras de solo coletadas no primeiro momento de coleta de solo no campo.

Os tratamentos com adição de matéria orgânica tenderam a apresentar maiores valores de CO₂ acumulados no final do período das análises em laboratório, quando comparados aos tratamentos solarizados mas sem incorporação de matéria orgânica para todas as amostras coletadas nos diferentes momentos (7, 21, 35 e 49 dias de experimento no campo). Isso pode ser explicado pelo fato de que, com a incorporação de matéria orgânica no solo, esta acaba por estimular a microbiota ali presente pelo fornecimento de nutrientes e conseqüentemente, observa-se

um aumento na liberação de CO₂ devido à oxidação microbiana do carbono presente no solo (REICOSKY E LINDSTROM, 1993; REICOSKY et al., 1995).

Os tratamentos solarizados com acréscimo de matéria orgânica mostraram uma maior tendência de liberação de CO₂ acumulados no final dos 40 dias de análises em laboratório, quando comparados aos tratamentos solarizados e sem acréscimo de matéria orgânica, bem como para todos os tratamentos não solarizados do experimento, como mostra o Quadro 9. Este fato foi observado para as amostras de solo coletadas até o 35º dia de experimento no campo.

O que concorda com os dados obtidos por Ghini et al. (2002) onde analisando diferentes fontes de matéria orgânica adicionadas em solos solarizados, foi observado que, nos primeiros 35 dias de experimento, o solo solarizado com incorporação de cama-de-frango, também apresentou maiores valores de liberação de CO₂. Estes maiores valores ocorreram devido à existência de matéria orgânica decomponível na cama de frango e sua relação C/N apropriada, fazendo com que ocorresse um aumento da atividade microbiana nos primeiros dias de tratamento no campo, e conseqüentemente uma decomposição mais rápida da matéria orgânica facilmente decomponível no solo, ocorrendo uma redução da atividade microbiana aos 91 e 138 dias do experimento, como foi também observado no presente experimento.

Valores acumulados de CO₂ liberados, descritos na literatura, são também bastante variados. Gama-Rodrigues et al. (1994) constataram que a respiração, em solos coletados em região de clima tropical (Brasil), variou de 6,3 a 20 µg de C g⁻¹ de solo, enquanto que no estudo de Alvarez et al. (1995), como solo da região dos Pampas da Argentina, observaram uma variação de 3,3 a 34,40 µg de C g⁻¹ de solo. Dessa forma, pode-se concluir que uma grande diversidade existe entre os solos e dentro de um mesmo tipo de solo (ou tratamento), face à heterogeneidade do sistema solo - microrganismo, condições climáticas, bem como as metodologias analíticas aplicadas e período de incubação empregados em cada estudo.

Quadro 8. Mediana e semiamplitude total da taxa diária média de CO₂ (µg de CO₂ dia⁻¹ g⁻¹ de solo), segundo solarização, adição de (matéria orgânica) e momentos de coleta em diferentes dias de leitura.

Solarização	Adição de couve	Coleta (dias)	Dias de leitura em laboratório							
			2	5	9	12	16	20	30	40
Ausente	Sem	7	8,13 ⁽¹⁾ ±2,01 ⁽²⁾	2,14 ±0,61	1,20 ±0,00	2,00 ±0,59	2,37 ±0,44	1,79 ±0,29	2,09 ±0,15	1,35 ±0,00
		21	5,10 ±1,53	1,82 ±0,20	2,36 ±0,34	3,04 ±0,42	4,29 ±0,90	1,92 ±0,15	2,39 ±0,33	1,24 ±0,02
		35	4,39 ±2,19	3,63 ±0,87	2,59 ±0,00	2,53 ±0,51	1,64 ±0,19	2,63 ±0,24	1,57 ±0,13	1,34 ±0,02
		49	13,41 ±1,91	2,92 ±0,38	1,85 ±0,21	1,64 ±0,87	1,29 ±0,02	1,46 ±0,20	1,27 ±0,06	1,17 ±0,03
	Com	7	18,96 ±7,22	12,35 ±4,49	3,02 ±0,68	3,19 ±1,36	2,76 ±0,83	4,45 ±0,59	3,78 ±0,95	2,47 ±0,66
		21	16,32 ±1,53	2,63 ±1,02	3,95 ±1,13	3,72 ±1,32	5,43 ±3,77	2,93 ±0,20	4,00 ±0,73	2,91 ±0,65
		35	3,29 ±1,10	2,75 ±0,43	2,59 ±0,57	1,68 ±0,08	1,83 ±0,38	2,91 ±0,62	4,38 ±1,96	2,61 ±0,52
		49	12,46 ±1,92	5,60 ±0,67	3,34 ±0,42	3,15 ±0,36	2,56 ±0,03	2,38 ±0,86	2,00 ±0,34	1,57 ±0,58
Presente	Sem	7	10,84 ±0,90	3,39 ±1,47	1,20 ±0,00	2,51 ±0,08	1,61 ±0,54	2,25 ±1,14	3,19 ±0,36	1,50 ±0,46
		21	7,14 ±3,57	1,41 ±0,61	2,59 ±0,56	2,61 ±0,08	3,33 ±1,51	2,12 ±0,20	2,09 ±0,58	1,57 ±0,07
		35	4,39 ±1,10	2,75 ±0,65	2,59 ±0,22	1,68 ±0,25	1,51 ±0,03	2,05 ±0,29	1,48 ±0,05	1,40 ±0,11
		49	11,50 ±2,87	2,34 ±0,09	2,28 ±0,32	2,44 ±0,24	1,36 ±0,00	1,29 ±0,03	1,38 ±0,03	1,17 ±0,03
	Com	7	47,86 ±67,27	60,10 ±32,24	20,70 ±9,75	11,69 ±3,74	8,24 ±2,3	8,54 ±0,15	7,22 ±1,98	4,31 ±0,71
		21	25,51 ±4,60	2,63 ±1,63	5,76 ±0,79	10,44 ±0,30	7,72 ±3,36	7,32 ±2,80	7,07 ±1,28	2,24 ±0,65
		35	6,59 ±0,54	6,71 ±2,41	3,49 ±1,70	2,53 ±0,42	3,17 ±1,79	3,87 ±1,10	4,22 ±1,10	2,53 ±0,71
		49	8,62 ±1,44	3,49 ±0,38	2,92 ±0,21	2,91 ±0,08	1,72 ±0,06	2,21 ±0,06	1,38 ±0,03	1,17 ±0,11

¹ Mediana;

² Semiamplitude total da taxa diária média de CO₂.

Quadro 9. Mediana e semiamplitude total da taxa acumulada de CO₂ (µg de CO₂ g⁻¹ de solo), segundo solarização, adição de couve (matéria orgânica) e momentos de coleta em diferentes dias de incubação em laboratório.

Solarização	Adição de couve	Coleta (dias)	Dias de leitura em laboratório							
			2	5	9	12	16	20	30	40
Ausente	Sem	7	16,25 ⁽¹⁾ ±4,5 ²⁾	22,96 ±7,57	25,8 ±7,57	38,84 ±14,71	61,88 ±21,86	78,8 ±27,73	112,73 ±32,12	127,82 ±32,12
		21	10,20 ±3,06	15,28 ±4,08	28,52 ±7,14	54,01 ±12,24	107,7 ±30,73	127,06 ±33,79	169,77 ±43,67	180,35 ±44,30
		35	8,78 ±4,39	22,95 ±8,79	38,25 ±8,79	57,63 ±14,92	68,84 ±17,98	102,42 ±22,77	120,66 ±26,60	135,51 ±27,76
		49	26,83 ±3,83	37,41 ±5,75	46,07 ±7,67	54,73 ±18,21	60,52 ±18,69	70,76 ±22,73	79,84 ±24,47	87,77 ±25,62
	Com	7	37,92 ±14,45	95,65 ±36,90	114,81 ±43,02	142,13 ±59,34	171,29 ±72,61	241,27 ±106,79	325,7 ±135,33	385,72 ±161,88
		21	32,65 ±3,06	41,81 ±8,16	69,34 ±18,40	102,99 ±34,18	174,97 ±69,31	214,74 ±73,39	305,76 ±95,35	383,41 ±121,22
		35	6,58 ±2,19	16,36 ±4,39	33,70 ±10,51	44,91 ±12,55	56,12 ±19,70	91,61 ±32,22	152,02 ±60,51	217,67 ±126,37
		49	24,91 ±3,83	48,9 ±7,18	70,98 ±11,01	97,85 ±15,33	123,76 ±16,29	152,52 ±33,62	202,04 ±34,76	226,14 ±57,86
Presente	Sem	7	21,67 ±1,80	32,46 ±10,99	35,3 ±10,99	54,46 ±14,05	62,25 ±22,72	91,35 ±45,68	158,24 ±56,65	179,46 ±75,03
		21	14,28 ±7,14	20,38 ±9,18	35,66 ±14,29	56,04 ±15,31	94,36 ±39,46	117,81 ±43,55	151,74 ±61,11	175,73 ±63,99
		35	10,97 ±33,08	20,75 ±36,37	36,05 ±41,17	45,22 ±45,66	54,34 ±47,81	76,47 ±58,09	92,8 ±59,53	109,96 ±64,15
		49	22,99 ±5,75	30,69 ±6,22	43,19 ±9,19	59,52 ±12,93	66,27 ±12,93	73,04 ±13,51	85,59 ±15,25	93,52 ±16,40
	Com	7	95,71 ±134,54	392,21 ±294,77	570,55±383,52	699,91 ±428,41	816,82 ±465,15	963,33 ±485,56	1150,95 ±594,84	1284,5 ±623,43
		21	51,02 ±9,18	60,18 ±17,34	104,5 ±24,49	218,31 ±28,06	326,89 ±81,85	454,42 ±137,97	620,09 ±217,61	670,91 ±243,48
		35	13,17 ±1,10	42,71 ±13,17	66,17 ±28,49	85,55 ±65,20	123,31 ±37,68	181,8 ±59,83	279,58 ±106,28	341,77 ±121,07
		49	17,25 ±2,87	30,71 ±4,79	48,96 ±6,70	72,95 ±7,66	85,45 ±8,62	110,71 ±9,78	123,26 ±10,93	133,5 ±15,55

¹ Mediana;

² Semiamplitude total da taxa acumulada de CO₂.

4. 4. Características químicas do solo

Para uma maior compreensão da relação entre o índice de pH, o fornecimento de nutrientes ao solo e os tratamentos utilizados no presente experimento, fez-se uma rápida discussão sobre o assunto.

4. 4. 1. pH

Os valores médios dos índices de pH (CaCl_2) dos solos amostrados estão expressos no Quadro 10. Neste mesmo Quadro, pode-se observar que a matéria orgânica adicionada ao solo, causou aumentos significativos dos índices de pH somente para os tratamentos solarizados. Para os tratamentos não solarizados, a adição de matéria orgânica não afetou o índice de pH.

Quando avaliou-se a ação da solarização sobre os valores médios dos índices de pH das amostras de solo coletadas, verificou-se que a solarização foi responsável pelo aumento destes valores nos tratamentos com acréscimo de matéria orgânica, para todos os momentos de coleta do material no campo. Como sugestão para um próximo trabalho, talvez seria interessante observar se este aumento de pH é mantido após a retirada do filme plástico do solo. Pois a solarização por si só, também promoveu aumento no índice de pH mas, somente, até o segundo momento de coleta de solo, realizado no 21º dia do experimento.

Para os tratamentos não solarizados, com e sem acréscimo de matéria orgânica, estes não apresentaram variações dos valores dos índices de pH entre todos os momentos de coletas de solo realizadas durante o experimento, sendo o mesmo fato observado para os tratamentos solarizados com acréscimo de matéria orgânica. Entretanto, os tratamentos apenas solarizados apresentaram valores de índices de pH significativamente maiores no primeiro momento de coleta (7 dias de solarização) e posteriormente, estes índices foram gradativamente diminuindo no transcorrer do experimento.

O fator pH de um solo vem a ser o expoente da concentração hidrogeniônica com o sinal positivo, interpretado como acidez na solução do mesmo. Esta acidez acaba por interferir na comunidade microbiana de maneira direta, atuando nos processos microbianos fisiológicos e bioquímicos específicos, ou indiretamente, através da neutralização de elementos tóxicos (KAMEL, et al., 1989). A comunidade fúngica de um solo tolera os baixos índices de pH ou seja, solos ácidos, o que pode ter favorecido o desenvolvimento da comunidade fúngica no presente experimento para os solos não solarizados, como mostra a Figura 6, enquanto que a comunidade bacteriana desenvolve-se melhor em solos tendendo à alcalinidade.

O pH também afeta a comunidade de actinomicetos que, geralmente, são influenciados de forma negativa em solos com pH menores que 5,0 pois, não toleram valores de pH baixos; e a distribuição e o tamanho dessas populações relaciona-se inversamente com a concentração iônica do hidrogênio no solo (CRAWFORD et al., 1993). As populações de actinomicetos são capazes de produzir antibióticos e, desta forma, podem interferir nos demais componentes da comunidade microbiana presente no solo não tolerantes a estes antibióticos (WELLINGTON; TOTH, 1994). Assim, podem ter afetado diretamente a população de fungos e bactérias encontrados na comunidade microbiana dos tratamentos que apresentaram índices de pH maiores que 5,0, como ocorreu com os solos solarizados com acréscimo de matéria orgânica neste experimento.

Quadro 10. Médias de valores de pH (CaCl₂), em função da solarização, adição de matéria orgânica e momentos de coleta e respectivos resultados do teste estatístico.

Solarização	Adição de couve	Momentos da coleta, dias			
		7	21	35	49
Ausente	sem	4,26aB α ⁽¹⁾	4,16aB α	4,23aA α	4,10aA α
	com	4,23aB α	4,23aB α	4,36aB α	4,23aB α
Presente	sem	4,86bA γ	4,66bA $\alpha\beta\gamma$	4,33bA $\alpha\beta$	4,13bA α
	com	5,20aA α	5,03aA α	5,33aA α	4,93aA α
CV (%)	4,84				

¹ Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, no nível de 5% de significância. Médias de três repetições. Para a comparação dos níveis de adição de matéria orgânica ao solo, fixados os níveis de solarização e momento da coleta, utilizou-se as letras minúsculas; para comparação dos níveis de solarização, fixados adição de matéria orgânica e momento da coleta, letras maiúsculas; para comparação dos momentos de coletas de solo, fixados solarização e adição de matéria orgânica, letras gregas.

4. 4. 2. Matéria orgânica do solo

Os valores médios dos teores de matéria orgânica disponíveis no solo, expressos em g dm⁻³ foram maiores nos tratamentos solarizados com acréscimo de matéria orgânica fresca (couve) para todas as amostras de solo coletadas durante o experimento. Os solos não solarizados, com acréscimo de matéria orgânica, apresentaram diferença significativa somente no trigésimo quinto dia de coleta de solo, como mostra o Quadro 11. Para todos os tratamentos houve uma tendência de redução no teor de matéria orgânica em função do tempo. Esta redução foi significativa para o tratamento solarizado adicionado de matéria orgânica.

A matéria orgânica do solo e de resíduos, do ponto de vista estritamente teórico, pode ser dividida em dois grandes compartimentos: um, composto de fração não humificada, representada pelos restos vegetais e animais pouco decompostos e pelos compostos orgânicos com

categoria bioquímica definida (proteínas, açúcares, ceras, graxas, resinas) e outro compartimento formado pelas substâncias humificadas, compostas de produtos de intensa transformação dos resíduos orgânicos pela biomassa microbiana e polimerização dos compostos orgânicos (principalmente através de reações de condensação, demetilação e oxidação) até macromoléculas resistentes a degradação biológica (SANTOS; CAMARGO, 1999), o que dificulta a quantificação no presente trabalho, da porcentagem de degradação microbiana da matéria orgânica adicionada inicialmente ao solo e a encontrada nas coletas de solo realizadas, sendo necessárias análises mais específicas para tal quantificação.

Segundo Canellas et al. (2001) a argila presente num Latossolo Vermelho-Amarelo pode favorecer a estabilização da matéria orgânica humificada por meio da formação de complexos organo-minerais, tornando a matéria orgânica relativamente mais protegida da degradação microbiana, o que também pode ter ocorrido no presente solo analisado (Latosolo Vermelho Distrófico) solarizado com adição de couve. Pois com as altas temperaturas encontradas neste tratamento (Figura 4 D), as partículas de argila podem ter se expandido, favorecendo a uma maior área de contato com a matéria orgânica adicionada ao solo e tornando-a mais protegida à degradação microbiana, e aumentando seus teores no solo analisado, como mostra o Quadro 11.

Quadro 11. Médias de matéria orgânica do solo (g dm^{-3}), em função da solarização, adição de matéria orgânica e momentos de coleta e respectivos resultados do teste estatístico.

Solarização	Adição de couve	Momentos da coleta, dias			
		7	21	35	49
Ausente	sem	19,33aA α ⁽¹⁾	17,00aA α	15,66bA α	15,66aA α
	com	20,66aA α	18,66aB α	19,00aA α	18,33aA α
Presente	sem	17,33bA α	16,66bA α	15,00bA α	13,00bA α
	com	22,66aA $\alpha\beta$	25,00aA α	20,00aA β	20,66aA β
CV(%)	10,80				

¹ Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, no nível de 5% de significância. Médias de três repetições. Para a comparação dos níveis de adição de matéria orgânica ao solo, fixados os níveis de solarização e momento da coleta, utilizou-se as letras minúsculas; para comparação dos níveis de solarização, fixados adição de matéria orgânica e momento da coleta, letras

maiúsculas; para comparação dos momentos de coletas de solo, fixados solarização e adição de matéria orgânica, letras gregas.

4. 4. 3. Fósforo

Os valores médios de fósforo total das amostras de solo coletadas dos tratamentos, expressos em mg dm^{-3} , apresentaram aumento significativo decorrente da adição de matéria orgânica, somente para os tratamentos solarizados, no primeiro momento de coleta de solo, realizada no 7º dia do experimento, o que não ocorreu para o tratamento não solarizado (Quadro 12). Segundo Mafongoya et al. (2000), a maior fonte de fósforo disponível para as plantas em solos tropicais, são derivadas da mineralização da matéria orgânica recentemente adicionada ao solo.

Este aumento nos teores de fósforo, foi estatisticamente significativo devido a ação da solarização, até os 21 dias do experimento no campo, podendo ser explicado pela ação das altas temperaturas quantificadas neste tratamento (Figura 4D), que podem ter provocado um aumento da liberação de CO_2 microbiano, como mostra o Quadro 8, ou seja, um aumento na atividade microbiana decorrente do estresse térmico sofrido pela mesma, o que pode ter acelerado o metabolismo da microbiota ali presente e conseqüentemente, acelerado a degradação da matéria orgânica adicionada e desta forma, imobilizando elemento fósforo para o seu metabolismo e disponibilizando-o na forma orgânica no solo. Guerra et al (1996) observou que em Latossolos, o fósforo orgânico total oriundo da decomposição de materiais orgânicos, se correlaciona positivamente com o fósforo total e com o teor de argila do mesmo.

Os maiores teores de fósforo total do solo obtidos para os tratamentos solarizados com adição de matéria orgânica, apresentaram significativa redução nas análises realizadas nos solos coletados. Kwabiah et al. (2003), através da análise de incorporação de diferentes materiais orgânicos ao solo, também observaram que os valores de fósforo decaíram imediatamente depois do início das análises, provavelmente devido ao aumento do número de microrganismos que foram capazes de imobilizar o fósforo solúvel da solução do solo para seu crescimento e multiplicação.

Quadro 12. Médias dos teores de fósforo (mg dm^{-3}), em função da solarização, adição de matéria orgânica e momentos de coleta e respectivos resultados do teste estatístico.

Solarização	Adição de couve	Momentos da coleta, dias			
		7	21	35	49
Ausente	Sem	3,33aA α ⁽¹⁾	3,33aA α	3,00aA α	4,66aA α
	Com	5,33aB α	2,26aB α	1,36aA α	4,66aA α
Presente	Sem	11,33bA α	8,66aA α	13,33aA α	3,66aA α
	Com	45,33aA α	18,66aA β	4,83aA β	6,66aA β
CV(%)	103,18				

¹ Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, no nível de 5% de significância. Médias de três repetições. Para a comparação dos níveis de adição de matéria orgânica ao solo, fixados os níveis de solarização e momento da coleta, utilizou-se as letras minúsculas; para comparação dos níveis de solarização, fixados adição de matéria orgânica e momento da coleta, letras maiúsculas; para comparação dos momentos de coletas de solo, fixados solarização e adição de matéria orgânica, letras gregas.

4. 4. 4. Potássio

Os valores médios de potássio, expressos em mmolc dm^{-3} , para todos os tratamentos, estão apresentados no Quadro 13. Observando os dados obtidos, foi verificado que a matéria orgânica adicionada ao solo, provocou aumento significativo nos níveis de potássio para os tratamentos solarizados e não solarizados. Para os tratamentos solarizados, este aumento foi expressivo durante todo o experimento, enquanto para o não solarizado, a matéria orgânica não foi responsável por um aumento significativo de valores de potássio apenas no 35º dia de coleta do material no campo.

O efeito da solarização nos níveis de potássio das amostras coletadas foi significativamente maior apenas para as amostras dos tratamentos solarizados e com acréscimo de

matéria orgânica, até o 3º momento de coleta de solo (35 dias) e no 49º dia de experimento, esses valores foram menores do que os encontrados para os solos não solarizados com adição de matéria orgânica. O aumento dos níveis de potássio nos primeiros dias de coleta das amostras dos tratamentos solarizados com matéria orgânica, comparados aos tratamentos que receberam apenas matéria orgânica e não foram solarizados, também pode ser conseqüente da ação das altas temperaturas do solo encontradas neste tratamento (Figura 4D), que provocaram um aumento no metabolismo microbiano, e desta forma, os microrganismos presentes também utilizaram este nutriente de forma mais rápida, fazendo com que decaísse seus teores na última coletas de solo.

Este aumento de valores de potássio para os tratamentos solarizados com adição de matéria orgânica, foi mais significativo no primeiro momento de coleta (7 dias) e o mesmo foi observado nos tratamentos não solarizados com adição de matéria orgânica apenas no final do experimento. Franchini et al (1999) observou num trabalho realizado em solos ácidos que o cátion mais retido pelo solo quando presente na solução foi o potássio e embora o aumento dos teores de potássio no solo para os tratamentos apenas solarizados não tenham sido expressivos, Katan e Devay (1991) afirmam que com o aumento das temperaturas dos solos, obtido através da solarização, este provoca uma expansão nas camadas de argila, liberando potássio que estava retido nestas camadas para a solução do solo.

Quadro 13. Médias dos teores de potássio (mmolc dm^{-3}), em função da solarização, adição de matéria orgânica e momentos de coleta e respectivos resultados do teste estatístico.

Solarização	Adição de couve	Momentos da coleta, dias			
		7	21	35	49
Ausente	sem	0,86bA α ⁽¹⁾	0,70bA α	0,53aA α	0,46bA α
	com	2,66aB β	2,26aB β	1,36aB β	7,66aA α
Presente	sem	2,10bA α	1,10bA α	0,73bA α	0,60bA α
	com	6,53aA α	3,96aA β	4,83aA β	4,03aB β
CV(%)	30,15				

¹ Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, no nível de 5% de significância. Médias de três repetições. Para a comparação dos níveis de adição de matéria orgânica ao solo, fixados os níveis de solarização e momento da coleta, utilizou-se as letras minúsculas; para

comparação dos níveis de solarização, fixados adição de matéria orgânica e momento da coleta, letras maiúsculas; para comparação dos momentos de coletas de solo, fixados solarização e adição de matéria orgânica, letras gregas.

4. 4. 5. Cálcio

Os teores de cálcio, expressos em $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Quadro 14), mostraram que a matéria orgânica adicionada ao solo proporcionou aumentos significativos deste nutriente na solução do solo somente para os tratamentos solarizados. Provavelmente, a adição da matéria orgânica fresca ao solo não solarizado, também causou aumento deste elemento, porém, ele não foi encontrado na forma disponível, ou seja, na sua forma iônica, pois segundo Mello et al. (1983) o cálcio é um elemento que se perde no solo em quantidades bastante elevadas, podendo ser facilmente lixiviado, quelatizado ou adsorvido às partículas coloidais do solo, o que promove uma menor disponibilidade deste elemento na solução.

No primeiro momento de coleta de solo, observa-se um maior número de unidades formadoras de colônias fúngicas e bacterianas, (Quadro 6 e 7,) que provavelmente participaram da decomposição da matéria orgânica fresca adicionada e promoveram a liberação de cálcio na solução do solo, porém, em solos não solarizados, o cálcio liberado não foi encontrado na sua forma solúvel, sendo provavelmente imobilizado pelos ácido orgânicos encontrados no solo ou adsorvido às partículas coloidais do solo, mostrando-se até mesmo em quantidades inferiores à dos tratamentos que não receberam a incorporação de matéria orgânica.

Já para os solos dos tratamentos solarizados, a matéria orgânica adicionada promoveu maior disponibilidade de cálcio, provavelmente devido ao fato das partículas coloidais do solo terem se expandido, provavelmente conseqüente do grande aumento da temperatura encontrado no solo deste tratamento (Figura 4D), tornando-as incapazes de reter os íons solúveis de cálcio da solução do solo, ou então evitando sua provável quelatização, deixando-os na sua forma solúvel, e podendo ser dessa forma, quantificado.

A solarização proporcionou aumento significativo dos teores do elemento cálcio somente para os tratamentos que receberam incorporação de matéria orgânica até o segundo momento de coleta das amostras de solo neste tratamento (21 dias do experimento), equivalendo-se aos demais tratamentos nas análises realizadas nas amostras coletadas posteriormente.

Os tratamentos não solarizados com incorporação de matéria orgânica não apresentaram diferenças significativas de teores de cálcio entre os dias de coleta das amostras de solo, enquanto que os tratamentos não solarizados e sem incorporação de matéria orgânica apresentaram maiores aos 7 dias de experimento no campo, diminuindo gradativamente seus teores de cálcio até o final do período de coleta de solo. Os tratamentos solarizados apresentaram maiores teores de cálcio nos dois primeiros momentos de coleta das amostras de solo, porém foi observado uma diminuição destes teores a partir do vigésimo primeiro dia do experimento para o tratamento com incorporação de matéria orgânica, enquanto que para os tratamentos apenas solarizados, os teores de cálcio permaneceram maiores até os 35 dias. Ao final das análises das amostras coletadas, todos os tratamentos apresentaram valores estatisticamente iguais de cálcio disponível na solução do solo.

Quadro 14. Médias dos teores de cálcio (mmolc dm^{-3}), em função da solarização, adição de matéria orgânica e momentos de coleta e respectivos resultados do teste estatístico.

Solarização	Adição de couve	Momentos da coleta, dias			
		7	21	35	49
Ausente	Sem	25,33aA α ⁽¹⁾	9,66aA $\alpha\beta$	8,33aA α	9,33aA β
	Com	10,66bB α	11,66bB α	10,33aA α	7,66aA α
Presente	Sem	25,33bA α	17,66aA $\alpha\beta$	12,00aA $\alpha\beta$	7,66aA β
	Com	44,66aA α	32,00aA $\alpha\beta$	22,00aA β	16,66aA β
CV(%)	43,19				

¹ Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, no nível de 5% de significância. Médias de três repetições. Para a comparação dos níveis de adição de matéria orgânica ao solo, fixados os níveis de solarização e momento da coleta, utilizou-se as letras minúsculas; para comparação dos níveis de solarização, fixados adição de matéria orgânica e momento da coleta, letras maiúsculas; para comparação dos momentos de coletas de solo, fixados solarização e adição de matéria orgânica, letras gregas.

4. 4. 6. Magnésio

Os valores médios de magnésio, em $\text{mmol} \cdot \text{dm}^{-3}$, estão demonstrados no Quadro 15, para todos os tratamentos, bem como a sua análise estatística. Foi observado que a matéria orgânica fresca adicionada ao solo, proporcionou aumento significativo dos valores de magnésio para os tratamentos não solarizados até o segundo momento de coleta das amostras de solo (21 dias do experimento) e para o solo solarizado este aumento também foi significativo durante todos os momentos de coleta de solo do experimento.

A solarização proporcionou o aumento significativo dos teores de magnésio somente para os tratamentos que receberam incorporação de matéria orgânica também durante todos os momentos de coleta de solo (7, 21, 35 e 49 dias). Entretanto entre os solos que não receberam acréscimo de matéria orgânica, a solarização não promoveu aumento significativo dos teores deste elemento, ao contrário do que foi observado por Ghini et al. (2003) que observou um aumento significativo de magnésio em solos apenas solarizados.

Entre os momentos de coleta das amostras de solo no campo, não foi observado diferença da disponibilidade de magnésio entre os dias de coleta para os tratamentos não solarizados, o que também ocorreu para o tratamentos apenas solarizados, entretanto os tratamentos solarizados com incorporação de matéria orgânica apresentaram valores estatisticamente maiores entre o sétimo e vigésimo primeiro dia de coleta das amostras de solo, diminuindo gradativamente nas coletas realizadas posteriormente (35 e 49 dias) até o final do experimento.

Quadro 15. Médias dos teores de magnésio ($\text{mmol}_e \text{dm}^{-3}$), em função da solarização, adição de matéria orgânica e momentos de coleta e respectivos resultados do teste estatístico.

Solarização	Adição de couve	Momentos da coleta, dias			
		7	21	35	49
Ausente	sem	3,33bA α ⁽¹⁾	2,33bA α	2,00aA α	2,33aA α
	com	5,00aB α	6,00aB α	4,66aB α	3,33aB α
Presente	sem	6,33bA α	4,66bA α	3,66bA α	3,00bA α
	com	18,33aA α	13,33aA β	9,66aA $\beta\gamma$	9,00aA γ
CV(%)	32,12				

¹ Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, no nível de 5% de significância. Médias de três repetições. Para a comparação dos níveis de adição de matéria orgânica ao solo, fixados os níveis de solarização e momento da coleta, utilizou-se as letras minúsculas; para comparação dos níveis de solarização, fixados adição de matéria orgânica e momento da coleta, letras maiúsculas; para comparação dos momentos de coletas de solo, fixados solarização e adição de matéria orgânica, letras gregas.

4. 4. 7. Alumínio

Observando o Quadro 16, onde estão demonstrados os valores médios dos teores de alumínio na solução do solo em $\text{mmol}_e \text{dm}^{-3}$ para os tratamentos envolvidos, verificou-se que a matéria orgânica incorporada proporcionou redução significativa nos níveis de alumínio no solo não solarizado no último momento de coleta, realizado aos 49 dias do experimento. Já para os solos dos tratamentos solarizados com acréscimo de couve esta redução foi observada a partir do 21º dia de

coleta das amostras de solo. A solarização também foi responsável por esta redução nos dois primeiros momentos de coleta do solo (7 e 21 dias) e permaneceu reduzindo a disponibilidade deste elemento, nos momentos de coleta de solo subsequentes somente para o tratamento solarizado com acréscimo de matéria orgânica.

Esta redução dos teores de alumínio para os solos solarizados com incorporação de matéria orgânica durante todo o experimento pode ter ocorrido devido ao aumento do índice de pH dos solos destes tratamentos, pois, segundo Mello et al (1983) em solos com pH mais altos, ou seja, menos ácidos, ocorre menor disponibilidade deste elemento no solo, ou então pode ter sido precipitado pelo cálcio, que foi encontrado em maior disponibilidade nestes tratamentos. Esta redução de alumínio nos solos é muito desejável, pois, a presença deste elemento na solução do solo acaba por promover toxicidade às plantas cultiváveis e a solarização juntamente com a adição da matéria orgânica promoveu esta redução por mais tempo do que os solos dos tratamentos apenas solarizados.

Os tratamentos que receberam matéria orgânica apresentaram maior uniformidade de valores de alumínio entre os momentos de coleta de solos, tanto para os tratamentos solarizados como para os não solarizados, enquanto que os tratamentos sem adição de matéria orgânica, apresentaram oscilações de valores deste elemento entre os momentos de coleta de solo durante o experimento, mostrando uma provável estabilidade química decorrente da sua adição ao solo destes tratamentos. Segundo Franchini et al (1999), o alumínio pode ter o seu teor trocável reduzido pela formação de complexos orgânicos solúveis, oriundos de substâncias da matéria orgânica adicionada ao solo, sendo posteriormente mobilização pelo fluxo de água.

Quadro 16. Médias dos teores de alumínio ($\text{mmol}_e \text{dm}^{-3}$), em função da solarização, adição de matéria orgânica e momentos de coleta e respectivos resultados do teste estatístico

Solarização	Adição de couve	Momentos da coleta, dias			
		7	21	35	49
Ausente	sem	3,33aA β ⁽¹⁾	4,00aA $\alpha\beta$	3,33aA β	5,00aA α
	com	3,33aA α	3,00aA α	2,66aA α	3,33bA α
Presente	sem	0,33aB γ	1,33aB $\alpha\gamma$	2,66aA $\alpha\beta$	4,00aA α
	com	0,33aB α	0,02bB α	0,02bB α	0,33bB α

CV(%)	31,20
-------	-------

¹ Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, no nível de 5% de significância. Médias de três repetições. Para a comparação dos níveis de adição de matéria orgânica ao solo, fixados os níveis de solarização e momento da coleta, utilizou-se as letras minúsculas; para comparação dos níveis de solarização, fixados adição de matéria orgânica e momento da coleta, letras maiúsculas; para comparação dos momentos de coletas de solo, fixados solarização e adição de matéria orgânica, letras gregas.

4. 4. 8. Nitrogênio total, amônio e nitrato

Para os teores médios de nitrogênio total presente na nas amostras de solo, expressos em g.kg^{-1} , verificou-se, que a matéria orgânica adicionada proporcionou aumento significativo dos teores deste elemento para os tratamentos solarizados durante todos os momentos de coleta das amostras de solo e apenas nos dois primeiros momentos de coleta (21 dias) para os tratamentos não solarizados, diminuindo o teor deste elemento para este tratamento, até o final do experimento (Quadro 17).

Em solos solarizados com acréscimo de matéria orgânica, foi observado maiores valores médios por g.kg^{-1} de nitrogênio total, provavelmente, devido à menor ação da microbiota do solo na decomposição do material orgânico encontrado no solo deste tratamento. A degradação de compostos nitrogenados é resultado do metabolismo de vários elementos microbianos e quase todas as bactérias, fungos e actinomicetos degradam alguma forma complexa de nitrogênio, mas a taxa de decomposição e os compostos utilizados variam com a espécie e gênero da comunidade microbiana presente no solo. Provavelmente, neste tratamento houve predomínio do metabolismo anaeróbico dos microrganismos envolvidos, fazendo com que a decomposição do material orgânico fosse mais lenta e restando maior quantidade de matéria orgânica a ser decomposta. Já no solo não solarizado com adição de couve, a temperatura e a umidade do solo foram mais favoráveis a uma decomposição mais rápida deste material.

Cada etapa bioquímica da mineralização de nitrogênio é catalizada por enzimas produzidas pelos microrganismos, cujo o crescimento está condicionado pela temperatura. Em contraste com a maioria das transformações microbianas a temperaturas ótimas para a amonificação (uma das etapas da mineralização do nitrogênio) não está dentro da variação mesofílica e sim, acima dos 40°C, geralmente, ficando entre 40 e 60°C (ALEXANDER, 1967).

Os tratamentos solarizados com incorporação de matéria orgânica, também apresentaram aumentos significativos de amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-) durante o primeiro momento de coleta das amostras de solo do experimento (7 dias), quando comparados aos demais tratamentos como mostram os Quadros 18 e 19 respectivamente. Entretanto, para o amônio, nos tratamentos solarizados e com incorporação de matéria orgânica, não foi observado uniformidade na sua disponibilidade no solo, diminuindo consideravelmente apenas no 35º dia de coleta de solo voltando a aumentar na última coleta de solo (49 dias), devido a um provável reinício do processo de mineralização do nitrogênio total envolvido. Ghini et al (2003) observaram aumento significativo de NH_4^+ , decorrente da mineralização do nitrogênio orgânico do solo, potencializada pelo aumento de temperatura em solo solarizado, como provavelmente também pode ter ocorrido no presente experimento.

Segundo Oliveira et al (2000) num experimento realizado em Latossolos de cerrado, verificaram que a adsorção de nitrato nas partículas do solo, diminuem com o aumento dos teores de matéria orgânica, podendo ser facilmente lixiviado e adsorvido em camadas mais profundas, onde são encontrados menores teores de matéria orgânica, o que pode também ter ocorrido nos momentos de coleta de solo realizada aos 21, 35 e 49 dias do experimento no tratamento solarizado com adição de matéria orgânica.

Quadro 17. Médias dos teores de Nitrogênio total (g.kg^{-1}) no solo, em função da solarização, adição de matéria orgânica e momentos de coleta e respectivos resultados do teste estatístico.

Solarização	Adição de couve	Momentos da coleta, dias			
		7	21	35	49
Ausente	sem	0,53bA α ⁽¹⁾	0,53bA α	0,54aA α	0,53aA α
	com	0,63aB α	0,66aB α	0,59aB $\alpha\beta$	0,52aB β
Presente	sem	0,57bA α	0,50bA α	0,48bA α	0,52bA α
	com	0,94aA α	0,81aA β	0,72aA $\gamma\beta$	0,69aA γ
CV(%)	7,13				

¹ Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, no nível de 5% de significância. Médias de três repetições. Para a comparação dos níveis de adição de matéria orgânica ao solo, fixados os níveis de solarização e momento da coleta, utilizou-se as letras minúsculas; para comparação dos níveis de solarização, fixados adição de matéria orgânica e momento da coleta, letras maiúsculas; para comparação dos momentos de coletas de solo, fixados solarização e adição de matéria orgânica, letras gregas.

Quadro 18. Médias de amônio (NH_4^+) (g.kg^{-1}) no solo, em função da solarização, adição de matéria orgânica e momentos de coleta e respectivos resultados do teste estatístico.

Solarização	Adição de couve	Momentos da coleta, dias			
		7	21	35	49
Ausente	sem	0,01aA α ⁽¹⁾	0,01aA α	0,01aA α	0,01aA α
	com	0,01aB α	0,01aA α	0,01aA α	0,01aA α
Presente	sem	0,01bA α	0,01aA α	0,01aA α	0,01aA α
	com	0,24aA α	0,10aA $\alpha\beta$	0,01aA β	0,13 aA $\alpha\beta$
CV(%)	75,98				

¹ Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, no nível de 5% de significância. Médias de três repetições. Para a comparação dos níveis de adição de matéria orgânica ao solo, fixados os níveis de solarização e momento da coleta, utilizou-se as letras minúsculas; para

comparação dos níveis de solarização, fixados adição de matéria orgânica e momento da coleta, letras maiúsculas; para comparação dos momentos de coletas de solo, fixados solarização e adição de matéria orgânica, letras gregas.

Quadro 19. Médias de nitrato (NO_3^-) (g.kg^{-1}) no solo, em função da solarização, adição de matéria orgânica e momentos de coleta e respectivos resultados do teste estatístico.

Solarização	Adição de couve	Momentos da coleta, dias			
		7	21	35	49
Ausente	sem	0,01bB β ⁽¹⁾	0,01bB β	0,01bB β	0,01bB β
	com	0,01bB β	0,01bB β	0,01bB β	0,01bB β
Presente	sem	0,01bB β	0,01bB β	0,01bB β	0,01bB β
	com	0,10aA α	0,01bB β	0,01bB β	0,01bB β
CV(%)	111,95				

¹ Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, no nível de 5% de significância. Médias de três repetições. Para a comparação dos níveis de adição de matéria orgânica ao solo, fixados os níveis de solarização e momento da coleta, utilizou-se as letras minúsculas; para comparação dos níveis de solarização, fixados adição de matéria orgânica e momento da coleta, letras maiúsculas; para comparação dos momentos de coletas de solo, fixados solarização e adição de matéria orgânica, letras gregas.

5. CONCLUSÕES

- O carbono da biomassa microbiana, variou em função do tempo, apresentando maiores valores aos 21 dias do experimento, para todos os tratamentos.
- A solarização não afetou a biomassa microbiana, independente da adição de matéria orgânica.
- A adição de matéria orgânica aumentou a biomassa microbiana em tratamentos não solarizados, aos 21 dias do experimento.
- Os tratamentos solarizados com incorporação de couve mostram diariamente maior liberação de CO₂ microbiano, durante 30 dias de análises em laboratório, para os três primeiros momentos de coletas de amostras de solo no campo.
- A solarização promoveu redução no número de unidades formadoras de colônias fúngicas. Nos tratamentos adicionados de matéria orgânica, esta redução ocorreu em todos os períodos de amostragem, enquanto que para os tratamentos sem adição de matéria orgânica esta redução ocorreu somente a partir do 35º dia do experimento.
- A solarização também reduziu o número de fungos, independentemente da adição de matéria orgânica, mas somente a partir do 35º dia do experimento.
- Solos solarizados incorporados com couve apresentam maiores índices de pH, potássio, fósforo, cálcio, magnésio, nitrogênio total, amônio e nitrato, e menores valores de alumínio que solos não solarizados ou não incorporados com a matéria orgânica durante o experimento, sendo necessário a realização de análises químicas posteriores à solarização para detecção da sustentabilidade destes valores.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEF, K.; NANNIPIERI, P. **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**.

Academic Press: London, 1995. 576.

ALEXANDER, M. **Introduction to soil microbiology**. 4ed. New York: John Wiley, 1967. 472 p.

ALMEIDA, M.T. **Decomposição da vinhaça incorporada ao solo (evolução de CO₂ e formação de biomassa microbiana) e destino da complementação nitrogenada**. 1983. 75 fl. Dissertação (Mestrado em Solos) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

ALVAREZ, R. et al. Soil organic carbon, microbial biomass and CO₂ production from three tillage systems. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.33, p.17-28, 1995.

ANDERSON, T.H.; DOMSCH, K.H. The metabolic quotient ($q\text{CO}_2$) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils.

Soil Biology and Biochemistry, Oxford, v.25, n.3, p.393-395, 1993.

ANDERSON, T.H.; DOMSCH, K.H. Application of eco-physiological quotients ($q\text{CO}_2$ and $q\text{D}$) on microbial biomasses from soils different cropping histories. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.22, n.2, p.251-255, 1990.

ANDERSON, T.H.; DOMSCH, K.H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v.21, n.4, p.471-479, 1989.

ANDERSON, J.P.E. Soil respiration. In: PAGE, A .L.; MILLER, R.H.; KEENEY, D.R. (Ed.) Method of soil analysis. 2ed. Madison: American Society of Agronomy, **Soil Science Society of America**, 1982. parte 2, p.831-871.

ANDRADE, D.S.et al. Atividade microbiana em função da calagem em um solo cultivado com cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.19, p.191-196, 1995.

ANDREWS, J.H., HARRIS, R.F. r-and k- selection and microbial ecology. In: MARSHALL, K.C. (Ed.) **Advance in microbial ecology**. New York: Plenum Press, 1986. p.99-147, 1986.

BALOTA, et al. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, p.641-649, 1998.

BAYER, C.; MIELNICZUCK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.). **Fundamentos da material orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. 508 p.

BETTIOL, W. et al.. Soil organisms in organic and conventional cropping systems. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.59, n.3, p.565-572, 2002.

BOLAN, N.S. et al. Assessment of the influence of phosphate fertilizers on the microbial activity of pasture soils. **Biology Fertility of Soils**, Berlin, v. 21, p. 234-292, 1996.

BRANDÃO, E. M. Os componentes da comunidade microbiana de solos. In: CARDOSO et al. (ed.) **Microbiologia do solo**. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992, p.1-16.

BROOKES, P.C. et al. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.17, n.6, p.837-842, 1985.

BURNETT, G.W. et al. Preparation of media. In: **Manual of microbiological methods**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1957. 315 p.

CAMPBELL, C.A. et al. Effect of crop rotations on microbial biomass, specific respiratory activity and mineralizable nitrogen in a Black Chernozemic soil. **Canadian Journal Soil Science**, Ottawa, v.71, p. 417-427, 1992.

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 Society**, Ottawa, v.56, p. 293-310, 1976.

CANELLAS, L. P. et al. Distribuição da matéria orgânica e características de ácidos húmicos em solos com adição de resíduos de origem urbana. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.12, p. 1529-1538, 2001.

CARDOSO, E.J.B.N. Efeito da material orgânica na biologia do solo. In: Encontro sobre matéria orgânica do solo: problemas e soluções, 1992, Botucatu. **Anais...Botucatu**. Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, 1992. 203 p.

CARLYLE, J.C. THAN, U.B.A. Abiotic control of soil respiration beneath in eighteen-year-old *Pinus radiata* stand in south-eastern Australia. **Journal of Ecology**, Oxford, v.16, p.654-662, 1988.

CARTER, M.R. The influence of tillage on the proportion of organic carbon and nitrogen in the microbial biomass of medium-textured soils in a humid climate. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.11, p.135-139, 1991.

CARVALHO, W.A.; ESPINDOLA, C.R.; PACCOLA, A.A. **Levantamento de solos da Fazenda Lageado – Estação Experimental Presidente Médice**. Botucatu: Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, 1983, 95p. (Boletim científico número 1).

CASTRO, O. M. et al. Avaliação da atividade de microorganismos do solo em diferentes sistemas de manejo de soja. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.50, p.212-219, 1993.

CATTELAN, A.J.; VIDOR, C. Flutuações na biomassa, atividade e população microbiana do solo, em função de variações ambientais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.14, p.113-142, 1990.

CHEN, Y. et al. Chemical, physical and microbial changes related to plant growth in desinfested soils. In: KATAN, J.; DEVAY, J.E. (Ed.). **Soil solarization**. London: CRC, 1991, p.103-113,

COATES – BECKFORD, P.L. et al. Effects of plastic mulches on growth and yield of cucumber (*Cucumis sativus L.*) and on nematode and microbial population densities in the soil. **Nematropica**, Mayaguez, v.27, n.2, p.191-207, 1998.

COLEMAN, D.C. Through a ped darkly: na ecological assessment of root-soil-microbial-fungal interactions. In: HITTER, A.H. (Ed.) **Ecological interactions in soil, plants, microbes and animals**. Oxford: Blackwell Scientific, 1985. p.1-21.

COLEMAN, D.C. Compartmental analysis of “total soil respiration”: an exploratory study. **Oikos**, Copenhagen, v.24, p.361-366, 1973.

CRAWFORD, D. L., et al. Isolation and characterization of actinomycete antagonists of a fungal root pathogen. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 59, p. 3899-3905, 1993.

CRECHIO, C. et al. Short-term effects of municipal solid waste compost amendments on soil carbon and nitrogen content, some enzyme activities and genetic diversity . **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.34, p.311-318, 2001.

DAFFARI, E. F.; ALBA, C. G.; GARCIA, E.G. **La desinfección del suelo por energia solar:** solarization. Andalucía: Junta de Andalucía, Consejeria de Agricultura y Pesca. 1994. 24 p. (Comunicación I+D Agroalimentaria, 8194).

DE NOBILLI, M. et al. Soil micorbial biomass in triggered into activity by trace amounts of substrate. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.33, n.9, p.1163-1170, 2001.

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

DIONÍSIO, J.A. et al. Ocorrência de microorganismos em áreas de plantio direto. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, Curitiba, v. 38, p.327-330, 1995.

DREW, M.C.; LYNCH, J.M. Soil anaerobiosis, microorganisms, and root function. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v.18, p.37-66, 1980.

DROWZDOWICZ, A. G. Microbiologia ambiental. In: ROITMAN, I. et al. (Ed.) **Tratado e microbiologia**. Rio de Janeiro: Manole, 1991, v.2, p.1-102.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja. **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Brasília, 1994. 542 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 1999. 412 p.

FERNANDES, E. C. M. et al. Management control of soil organic matter dynamics in tropical land-use systems. **Geoderma**, Amsterdam, v.79, n. 1-4, p.49-67, 1997.

FERNANDES, S.A.P. **Propriedades do solo na conversão de floresta em pastagem fertilizada e não fertilizada com fósforo na Amazônia (Rondônia)**,1999. 131 f. Tese (Doutorado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba 1999.

FEIGL, B. J. et al. Soil microbial biomass in Amazonian soils: evaluation of methods and estimates of pool size. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.27, n.11, p.1467 –1472, 1995.

FEIGL, B.J. **Dinâmica da matéria orgânica do solo na sucessão floresta/pastagem na Amazônia (Rondônia)**. 1995. 68f. Tese (Doutorado) -Universidade de São Paulo, Centro de Energia Nuclear na Agricultura , Piracicaba, 1994.

FONTAINE, S. et al. The priming effect of organic matter; a question of microbial competition? **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.35, n.6, p. 837-843, 2003.

FOSTER, R.C. Microorganisms and soil aggregates. In: PANKHURST, C.E. et al. (Eds.) **Soil Biota: management in sustainable farming systems**. New York: John Wiley, 1994. p. 144-55.

FRANCHINI et al. Dinâmica de íons em solo ácido lixiviado com extratos de resíduos de adubos verdes e soluções puras de ácidos orgânicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, n.12, p.2267-2276, 1999.

GAMA-RODRIGUES, E.F. da. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F.A.O., (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica no solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, 1999. p.227-244.

GAMA-RODRIGUES, E.F. et al. Biomassa microbiana de carbono de solos de Itaguaí (RJ): comparação entre métodos de fumigação-incubação e fumigação-extração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.18, p.427-432, 1994.

GAMA-RODRIGUES, E.F. et al. Biomassa microbiana de carbono e de nitrogênio de solos sob diferentes coberturas florestais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, p.361-365, 1997.

GAMLIEL, A.; STAPLETON, J.J. Characterization of antifungal volatile compounds evolved from solarized soil amended with cabbage residues. **Phytopathology**, St. Paul, v. 83, n.9, p.899-905, 1993.

GRISI, B.M. Biomassa e a atividade e microrganismos do solo: revisão metodológica. **Revista Nordestina de Biologia**, João Pessoa, v.10, p.1-22, 1995.

GUERRA, J.G.M. et al. Conteúdo de fósforo da biomassa microbiana de um solo cultivado com *Brachiaria decumbens* STAFF. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30, p.543-551, 1995.

GUERRA, J.G.M. et al. Conteúdo de fósforo orgânico em amostras de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.31, n.4, p.291-299, 1996.

GUPTA, S.R.; SINGH, J.S. Soil respiration in a tropical grassland. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.13, n.4, p.261-8, 1981.

GHINI, R. et al.. Efeito da solarização sobre propriedades físicas, químicas e biológicas de solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.1, p.71-79, 2003.

GHINI, R. et al. Solarização do solo e incorporação de fontes de matéria orgânica no controle de *Pythium* spp. **Pesquisa Agropecuária Brasileira.**, Brasília, v.37, n.9, p.1253-1261, 2002.

GHINI, R. **Desinfestação do solo com o uso da energia solar: solarização e coletor solar.** Jaguariúna : Centro Nacional de pesquisa Agropecuária/Embrapa, 1997. 29 p.

GOYAL, S. et al. Organic matter-microbial biomass relationships in field experiments under tropical conditions: Effects on inorganic fertilization and organic amendments. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.24, n.11, p.1081-1084, 1992.

GRAY, T.R.G.; WILLIAMS, S.T. **Soil microorganisms.** 2.ed. London: Longman, 1975. 240 p.

GRISI, B.M.; GRAY, T.R.G. Comparação dos métodos de fumigação, taxa de respiração em resposta à adição de glicose e conteúdo de ATP para estimar a biomassa microbiana do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.10, p.109-115, 1986.

GRISI, B.M. Biomassa e a atividade de microrganismos do solo: revisão metodológica. **Revista Nordestina de Biologia**, João Pessoa., v.10, p.1-22, 1995.

HARDY, J.S.T.E.G.; SIVASITHAMPARAM, K. Soil solarization: effects on *Fusarium wilt* of carnation and *Verticillium wilt* on eggplant. In: PARKER, C.A. et al. (Ed.) **Ecology and management of soilborne plant pathogens.** St. Paul: APS, 1985. p.279-281.

HARGREAVES et al. Evaluating soil microbial biomass carbon as an indicator of long-term environmental change. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.35, p. 401-407, 2003.

HATTORI, T.; HATTORI, R. The physical environment in soil microbiology: an attempt to extend principles of microbiology to soil microorganisms. **Critical Reviews in Microbiology**, Boca Raton, v.4, p. 423-461, 1977.

HE, Z.L. et al. Seasonal responses in microbial biomass carbon, phosphorus and sulphur in soils under pasture. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.24, p.421-428, 1997.

INSAM, H. Are the soil microbial biomass and basal respiration governed by the climatic regime? **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.22, p.525-532, 1990.

IOANNOU, N. Soil solarization as a substitute for methyl bromide fumigation in greenhouse tomato production in Cyprus. **Phytoparasitica**, Bet-Dagan, v.28, n. 3, 248-256, 2000.

JARVIS, W.R. **Managing diseases in greenhouse crops**. 2.ed. St.Paul: APS PRESS, 1992.288p.

JENKINSON, D.S.; POWLSON, D.S. A comparison of the organic matter, biomass adenosine triphosphate and mineralisable nitrogen contents of ploughed and direct drilled soils. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v.97, p.713-721, 1981.

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**, Oxford, v.8, p.209-213, 1976.

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

KAMEL, Z. et al. Calcium and the biological activities of two *Streptomyces* species isolated from the rhizosphere of soybean plants. **Journal of Basic Microbiology**, Berlin, v.29. p.31-39, 1989.

KATAN, J. Solar heating (solarization) of soil for control of soil borne pests. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v.19, p. 211-236, 1981.

KATAN, J. Solar solarization. In: CHET, I. **Innovative approaches to plant disease control**. New York: Wiley-Interscience, 1987. p.77-106.

KATAN, J.; DEVAY, E.J. **Soil solarization**. London: CRC Press, 1991, 267 p.

KATAN, J. et al. Solar heating by polyethylene mulching for the control of diseases caused by soil-borne pathogens. **Phytopathology**, St. Paul, v.66, n.5, p.683-688, 1976.

KAWABIAH, A.B. et al. Response of soil micorbial biomass dynamics to quality of plant materials with emphasis om P availability. **Soil Biology and Bioche mistry**, Oxford,v.35, p. 207-216, 2003.

LEFÈVRE, A.F.V.; SOUZA, N.L. Efeitos da solarização sobre algumas variáveis do solo. **Summa Phytopathologica**, Piracicaba, v.19, n.2, p.113-118, 1993.

LOHDA, S. Soil solarization, summer irrigation and amendmets for the control of *Fusarium oxysporum* f.sp.cumini and *Macrophomina phaseolina* in a arid soils. **Crop Protection**, Surrey, v.14, n.3, p.215-219, 1995.

LYNCH, J.M.; PANTING, L.M. Variations in the size of the soil biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.12, n.6, p.547-550, 1980.

MACHADO, E.S.; MINHONI, M.T.A.; BÜLL, L.T. Liberação de CO₂, biomassa microbiana e fósforo disponível em solo adicionado de matéria seca de poaia-banca. **Planta Daninha**, Rio de Janeiro, v.17, n.1, p.73-81,1999.

MAFONGOYA, P.L. et al. Carbon, nitrogen and phosphorus mineralization of tree leaves and manure. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 30, n.4, p. 298-305, 2000.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Potafós, 2º edição, cap. 6, p. 231-307, 1997.

MARTIN, J.P. Use of acid, rose bengal and streptomycin in the plate method for estimating soil fungus. **Soil Science**, Baltimore, n.134, p.1528-1529, 1950.

MELLO, F.A.F. et al. O cálcio no solo. **Fertilidade do solo**. São Paulo, Nobel, cap. 11, p.265-288, 1983.

MILLER, M.H. JASTROW, J.D. Vesicular-arbuscular mycorrhizae and biogeochemical cycling. In: PFLEGER, F.L.; LINDERMAN, R.G. (Ed.) **Mycorrhizae in plant health**. St. Paul: American Phytopathology Society, 1994. p. 189-212.

MINHONI, M.T.A.; EIRA, A.F.; CARDOSO, E.J.B.N. Efeitos da adição de N e P sobre a decomposição de diferentes tipos de material orgânico no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.14, p.297-304, 1990.

MONTEGOMERY, D.C. **Design and analysis of experiments**. 3 rd. ed. New York: John Wiley, 1991. 649 p.

NEWSHAM, K.K.; FITTER, A.H.; WATKINSON, A.R. Arbuscular mycorrhiza protect an annual grass from root pathogenic fungi in the field. **Journal of Ecology**, Oxford, v.83, p.991-1000, 1995.

NORMAN, G.R.; STREINER, D.L. **Bioestatistic -The bare essentials**. St. Louis : Mosby, 1994. 260 p.

NURNBERG, N.J.; VIDOR, C.; STAMMEL, J.G. Efeito de sucessões de culturas e tipo de adubação na densidade populacional e atividade microbiana do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.8, p.197-203, 1984.

OLIVEIRA, J.R.A. et al. Adsorção de nitrato em solos de cerrado do Distrito Federal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.6, p. 1199-1205, 2000.

PAUL, E.A.; CLARK, F.E. Carbon cycling and soil organic matter. In: PAUL, E.A.; CLARK, F.E. (Ed.). **Soil microbiology and biochemistry**. San Diego: Academic Press, 1996. p.130-155

PAUL, E.A.; CLARK, F.E. **Soil biology and biochemistry**. San Diego: Academic Press, 1989. 275 p.

PFENNING, L. et al. Os métodos de fumigação-incubação e fumigação-extração na estimativa da biomassa microbiana de solos da Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.16, p.31-37, 1992.

POWLSON, D.S. et al. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.19, n.2, p.159-164, 1987.

POWLSON, D.S.; JENKINSON, D.S. A comparison of the organic matter, biomass, adenosine triphosphate and mineralizable nitrogen contents of ploughed and direct-drilled soils. **Journal Agricultural Science**, Cambridge, v.97, p.713-721, 1981.

PULLMAN, G.S. et al. Soil solarization effects on *Verticillium dahliae*, *Pythium spp*, *Rhizoctonia solani* and *Thielaviopsis basicola*. **Phytopathology**, St. Paul, n.71, p. 954-959, 1981.

RAICH, J.W.; POTTER C.S. Global patents of carbon dioxide emissions from soils. **Global Biogeochemical Cycles**, London, v.9, p.23-26, 1995.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**.(Ed.). Campinas, Instituto Agronômico, 2001, 285p.

RAO, V.K.; KRISHNAPPA, K. Soil solarization for the control of soil borne pathogen complexes with special reference to *Meloidigyne incognita* and *Fusarium oxysporum* f.sp. *ciceri*. **Indian Phytopathology**, New Delhi, v.8, n.3, p.300-303, 1995.

RAMIREZ-VILLAPUDUA, J.; MUNNECKE, D.E. Effect of solar heating and soil amendments of cruciferous residues on *Fusarium oxysporum* f. sp.*conglutinans* and other organisms. **Phytopathology**, St. Paul, v.78, n.3, p.289-295, 1988.

RANDING, O.; MEDEIROS, S.A.B.; SPERANDIO, C.A. Efeito da desinfestação do solo pelo uso da energia solar sobre fungos micorrízicos arbusculares. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, n.1, p.135-140, 2002.

REEVES, D.M. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v.43, p.131-167, 1997.

REIS, E.M. Solos supressivos e seu aproveitamento no controle de doenças de plantas. In; BETTIOL, W. **Controle biológico de doenças de plantas**. Jaguariúna: Centro Nacional de Pesquisa Agropecuária/EMBRAPA, 1991. cap. 11, p.181-193.

REICOSKY, D.C. et al. Soil organic matter changes resulting from tillage and biomass production. **Journal of soil and water conservation**, Ankeny, v.50, p.253 – 61, 1995.

REICOSKY, D.C., LINDSTROM, M.J. Fall tillage methods: effect on short- term carbon dioxide flux from soil. **Agronomy Journal**, Madison, v.85, p.1237 – 43, 1993.

REZENDE, L.A. **Transformações microbianas do carbono, nitrogênio e fósforo em solos tratados com levedura**. 2002. 104f., Dissertação (Mestrado em Microbiologia)- Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2002.

RICCI, M. S. F. et al. Efeitos da solarização do solo na densidade populacional da tiririca e na produtividade de hortaliças sob manejo orgânico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.11, p. 2175-2179, 2000.

RISTAINO, J.B.; THOMAS, W. Agriculture, methyl bromide and the ozone hole: can we fill gaps? **Plant Disease**, St. Paul, v.81, n.9, p. 964-977,1997.

ROCHA, M. M. **Grupos microbianos e atividade respiratória em solo adicionado de herbicidas pré-emergentes**. 1997. 105f., Dissertação (Mestrado em Proteção de Plantas) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu,1997.

ROQUE, M.R. de A. **Efeitos de solarização do solo na simbiose de *Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli* conn. e fungos micorrízicos vesículo-arbusculares em feijoeiro**. 1993. 82f., Dissertação (Mestrado em Proteção de Plantas) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1993.

ROS, M.; et al. Soil microbial activity after restoration of semiarid soil by organic amendments. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.35, n.3, p. 463-469, 2003.

ROSA, E.A.; HEANEY, R.K.; FENWICK, G.R. Glucosinolates em crop plants. **Horticultural Reviews**, New York, v.19, p.99-215, 1997.

ROSS, D.J. et al. Soil microbial biomass, C and N mineralization and enzyme activities in a hill pasture; influence of grazing management. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v.33, n. 11, p.943-959, 1995.

ROSS, D.J. et al. Temporal fluctuations in biochemical properties of soil under pasture. II. Nitrogen mineralization and enzyme activities. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v.2, p.319-330, 1984.

ROSS, D.J. et al. Restoration of pasture after topsoil removal: effects on soil carbon and nitrogen mineralization, microbial biomass and enzymes activities. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 14, n.6, p.575-581, 1982.

ROVIRA, A.D. The effect of farming practices on the soil biota. In: PANKHURST, C.E. et al.. (Ed.) **Soil Biota: management in sustainable farming systems**. New York: John Wiley, 1994, p.81-87.

SANTOS, G. de A.; CAMARGO, F.A.O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gêneses, 1999, 544p.

SANTRUCKOVÁ, H. STRASKRABA, M. On the relationship between specific respiration activity and microbial biomass in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.23, p.525-32, 1991.

SARATHCHANDRA, S.U., PERROTT, K.W., UPSDELL, M.P. Microbial and biochemical characteristics of range of range of New Zealand soils under established pasture. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.16, p.117-83, 1988.

SILVA FILHO, G.N.; VIDOR, C. As práticas de manejo do solo na população microbiana. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.8, p.291-296, 1984.

SIQUEIRA, J.O.; FRANCO, A.A. **Biotecnologia de solo: fundamentos e perspectivas**. Brasília: ABEAS; Lavras: ESAL, FAEPE, 1988, 236 p.

SIQUEIRA, J.O. et al. **Microrganismos e processos biológicos do solo: perspectiva ambiental**. Brasília: Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão, Centro Nacional de Pesquisa de Soja/Embrapa, 1994. 142 p.

SPARLING, G. P.; WEST, A.W. A direct extraction method to estimate soil microbial C: calibration in situ using microbial respiration and C_{14} labeled cells. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.20, n.3, p.337-343, 1988.

STAPLETON, J.J.; DEVAY, J.E. Soil solarization: a non chemical approach for management of plant pathogens and pests. **Crop Protection**, Surrey, v.5, n.3, p.190-198, 1986.

STAPLETON, J.J.; DEVAY, J.E. Soil solarization; a natural mechanism of integrated pest management. In: STAPLETON, J.J., DEVAY, J.E. **Novel approaches to integrated pest management**.. Boca Ranton: Lewis Publishing, 1995. p.309-322.

TATE, K.R. et al. Microbial biomass of measurement procedures, temporal variations, and influence o P fertility status. **Plant and Soil**, The Hague, v.132, p.233-241, 1991.

TATE, K.R. et al. A direct extraction method, to estimate soil microbial C: effects of experimental variables and some different calibration procedures. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.20, n.3, p.329-335, 1988.

- TSAI, S.M. et al. Efeito de fatores do solo. In: CARDOSO, E.J.B.N.; . et al.(Ed.). **Microbiologia do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p. 59-72.
- TUITERT, G. et al.. Suppression of *Rhizoctonia solani* potting mixtures amended with compost made from organic household waste. **Phytopathology**, St. Paul, v.88, n.8, p.764-773, 1998.
- VANCE, E.D.; BROOKES, P.C.; JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry** ,Oxford, v.19, n.6, p. 703-7, 1987.
- VARGAS, L.K.; SCHOLLES, D. Biomassa microbiana e produção de C-CO₂ e N mineral de um Podzólico Vermelho-Escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p.35-42, 2000.
- VIDA, J.B. et al. Manejo fitossanitário em cultivo protegido. In: GOTO, R., TIVELLI, S.W. **Produção de hortaliças em ambiente protegido: condições subtropicais**. São Paulo: Universidade Estadual Paulista, 1998. p.53-104.
- VENANCIO, W.S. **Efeito da solarização e do tratamento com brometo de metila sobre a população de fungos no solo**. 1993. 119f., Dissertação (Mestrado em Proteção de Plantas) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1993.
- VORONEY, R.P.; PAUL, E.A. Determination of kc and kn in situ for calibration of the chloroform fumigation-incubation method. **Soil Biology and Biochemistry** ,Oxford, v.16, n.1, p.9-14, 1984.
- WARDLE, D.A. Controls of temporal variability of the soil microbial biomass: a globalscale synthesis. **Soil Biology and Biochemistry** ,Oxford, v.30, n.13, p. 1627-37, 1998.

WARDLE, D.A.; HUNGRIA, M. A biomassa microbiana do solo e sua importância nos ecossistemas terrestres. In: ARAÚJO, R.S.; HUNGRIA, M. (Ed.). **Microrganismos de importância agrícola**. Brasília: SPI: EMBRAPA, 1994. p. 193-216.

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

WARDLE, D.A.; PARKINSON, D. Interactions between microclimatic variables and the soil microbial biomass. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.9, p.273-280, 1990.

WELLINGTON, E.M.; TOTH, I.K. Actinomycetes. In: Weaver et al. (Ed.). **Methods of soil analysis**. 3. Ed. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 269-290.

WHIPPS, J.M. Carbon economy. In: LYNCH, J.M. (Ed.) **The Rhizosphere**. Chichester: John Wiley, 1990. p-59-98.

YOKOMIZO, N. K. S. **Solarização do substrato de mudas de Pinus elliottii Engelmann var. elliottii: Efeito na população de fungos, bactérias e plantas invasoras, com ênfase nas ectomicorrizas e inoculantes à base de Pisolithus tinctorius (Mich. & Pers.) Coker e Couch e Suillus luteus (L. ex Fr.) Gray**. 2002.118f., Tese (Doutorado em Microbiologia Aplicada) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2002.

ZECH, W. et al. Factors, controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. **Geoderma**, Amsterdam, v.79, n. 1-4, p.117-161, 1997.