

## ATIVIDADE MICROBIANA EM DIFERENTES CONDIÇÕES DE SOLO E SISTEMAS DE CULTIVO DO CACAUEIRO

*Rejane Mendes dos Anjos<sup>1</sup>, Quintino Reis de Araujo<sup>1,2</sup>, Sérgio José Ribeiro de Oliveira<sup>1</sup>, Eduardo Gross<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), Ilhéus, Bahia, Brasil. <sup>2</sup>Ceplac/Cepec, km 22, Rod. Ilhéus/Itabuna, 45690-970, Itabuna, Bahia, Brasil. rejanemanjos@yahoo.com.br

As práticas de manejo da terra ou das culturas interferem na estrutura e na atividade microbiana que está direta e fundamentalmente relacionada com as propriedades do solo. As principais atividades dos microrganismos são a decomposição da matéria orgânica e ciclagem de energia e nutrientes, indispensáveis para o crescimento das plantas. A medição de CO<sub>2</sub> liberada pela respiração dos microrganismos aeróbicos e anaeróbicos é um dos métodos mais tradicionais e utilizados para avaliar a atividade metabólica da microbiota do solo. O presente trabalho teve como objetivo estimar a atividade microbiana em 14 áreas, considerando-se diferentes solos e sistemas de produção de cacau. O estudo foi conduzido na Bahia, Brasil, comparando-se tratamentos correspondentes aos sistemas tradicional, SAFs e orgânico de cultivo do cacau. As amostras de solo (de 0-15 cm), em triplicatas, foram coletadas e analisadas quanto à evolução de CO<sub>2</sub>, e propriedades químicas e físicas. A evolução de CO<sub>2</sub> foi maior nos solos 14 (Nitossolo Háplico Eutrófico) e 11 (Cambissolo Háplico Distrófico típico), ambos com cacau cabruca orgânico, em condições edáficas mais favoráveis à microbiota do solo. Os solos com menor atividade microbiana (área 6 - Argissolo Vermelho-Amarelo Distrocoeso abruptico; área 3 - Latossolo Amarelo Distrófico câmbico; e área 1 - Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico), são cultivados em SAF cacau x seringueira e apresentaram limitações de fertilidade.

**Palavras-chave:** biologia do solo, evolução de CO<sub>2</sub>, microrganismos edáficos, cacau cabruca.

### **Microbial activity in different soil conditions and farming systems of cacao tree.**

The practices of land or crop management influence the microbial structure and activity that is directly and primarily related to soil properties. The main activities of microorganisms are the decomposition of organic matter and cycling of energy and nutrients essential for plant growth. The measurement of CO<sub>2</sub> released from the respiration of aerobic and anaerobic microorganisms is one of the traditional methods used to evaluate the metabolic activity of soil microbes. This study aimed to estimate the microbial activity in 14 areas, including different soils and cocoa production systems. The work was conducted in Bahia, Brazil, comparing treatments corresponding to the systems traditional, agroforestry and organic cacao cultivation. The soil samples (0-15 cm), in triplicate, were collected and analyzed for the CO<sub>2</sub> evolution, and chemical and physical properties. The CO<sub>2</sub> evolution was bigger in soils 14 (Nitossolo Háplico Eutrófico - Alfisol) and 11 (Cambissolo Háplico Distrófico típico - Inceptisol), both with organic cacao-cabruca, in soil conditions more favorable to soil microbiota. Soils with less microbial activity (area 6 - Argissolo Vermelho-Amarelo Distrocoeso abruptico - Ultisol; area 3 - Latossolo Amarelo Distrófico câmbico - Oxisol; and area 1 - Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico-Oxisol), are grown in agroforestry cocoa x rubber and showed fertility limitations.

**Key words:** soil biology, CO<sub>2</sub> evolution, edaphic microorganisms, cacao cabruca.

## Introdução

A respiração da microbiota do solo é um processo importante ao funcionamento do ecossistema e reflete a intensidade degradativa dos resíduos orgânicos. Os resíduos de origem vegetal, animal e os produtos das suas transformações provenientes da queda de material mortos do dossel das árvores, dos restos culturais que forma a serapilheira e da rizodeposição próxima às raízes são os principais responsáveis pelas deposições de materiais orgânicos no solo. As condições ambientais e os tipos de vegetação também são fatores determinantes da quantidade e da qualidade do material que cai nos solos, determinando também a sua heterogeneidade (Moreira; Siqueira, 2006).

O comportamento dos microrganismos do solo é influenciado pelos diferentes sistemas de usos da terra. A respiração microbiana é uma forma de estimar a atividade metabólica da microbiota (Mercante et al., 2008), que está relacionado com o estado físico-químico do solo, considerado componente essencial da biosfera, funcionando para a produção de alimentos, fibra e manutenção da qualidade do ambiente local, regional e global (Melloni, 2007).

Solos bem estruturados com agregados estáveis e poros de tamanhos diversos são requeridos para uma boa aeração, atividade microbiana, infiltração, retenção de água, penetração do sistema radicular e disponibilidade de nutrientes, resultando em um solo de boa qualidade (Gomes; Filizola, 2006). A solução do solo é responsável pelas modificações das trocas gasosas e, pelo transporte dos nutrientes utilizados pelos microrganismos para o seu crescimento. A temperatura do solo varia de acordo com a cobertura vegetal, tipo de solo, umidade (Brandão, 1992). A porosidade é um dos componentes físicos de grande importância, pois além de estar relacionado com o conteúdo de água e gases no solo, propicia ambiente para o desenvolvimento da microbiota. Os microrganismos ocupam em torno de 0,5% do espaço poroso, porém essa porcentagem aumenta significativamente no solo rizosférico devido ao aumento de substrato (Moreira; Siqueira, 2006).

Um dos melhores indicadores utilizados para determinar a qualidade do solo é a matéria orgânica (MO), pois o seu manejo pode estar diretamente relacionado com as características químicas, físicas e

biológicas (Melloni, 2007). Dentre os principais indicadores químicos que classificam o solo quanto à sua qualidade estão pH, carbono orgânico, capacidade de troca catiônica (CTC), teor de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), condutividade elétrica e sais solúveis totais (Gomes; Filizola, 2006). Valores extremos de pH afetam o crescimento dos microrganismos, não apenas pelo efeito direto da elevada concentração de íons  $H^+$  ou  $OH^-$ , mas também pela influência indireta na disponibilidade, toxicidade de nutrientes minerais, como Fe, Mn e Zn que são menos disponíveis em valores de pH acima de 7,0 e Fe, Al e Mn que atingem níveis tóxicos em valores de pH menores que 5,0 (Moreira; Siqueira, 2006).

As atividades agrícolas podem causar alterações significativas nos fatores físicos e químicos do solo, dentre outros efeitos, pela adição ou remoção de elementos químicos e composto tóxicos (xenobióticos e metais pesados), que causam impacto na microbiota do solo (Carneiro, 2010). O teor de N, condições físicas, químicas do solo maximizam a atividade biológica especialmente em temperaturas de 30 a 35°C, umidade próxima à capacidade de campo e aeração adequada com ausência de fatores tóxicos no solo que podem inibir atividades dos microrganismos decompositores (Moreira; Siqueira, 2006).

Os defensivos agrícolas foram utilizados intensamente na cultura do cacaueteiro principalmente os herbicidas e fungicidas (Gramacho et al., 1992). A aplicação em larga escala desses agentes químicos, embora aumente o rendimento agrícola, levanta problemas referente aos efeitos a curto e longo prazos. Devido à sua disposição no solo, o impacto dos pesticidas sobre a microbiota do solo afeta os processos de mineralização, nitrificação e desnitrificação (Pacheco, 2013).

Diferentes tipos de manejo do solo como policultivo, sistemas agroflorestais, cultivos orgânicos, cultivos mínimos potencializam a reciclagem de nutrientes, melhoram o microclima local, diminuem a ação dos patógenos e insetos-praga, eliminam determinados contaminantes conservando melhor a fertilidade do solo e a qualidade do ambiente e da água (Primavesi, 1997).

A principal responsável pela transformação da MO, ciclagem de nutrientes e fluxo de energia no solo é a biomassa microbiana do solo (BMS) (Moreira; Siqueira,

2006), como uma indicadora sensível das mudanças no solo (Mercante et al., 2008; Insam, 2001). Assim, a qualidade do solo pode ser mensurada pela diversidade microbiana que está localizada na base da cadeia trófica e tem relações com os processos ecológicos (Zilli et al., 2003).

Com base no seu tamanho, os organismos do solo podem ser classificados como microfauna (< 0,2 mm), mesofauna (0,2-10 mm) e macrofauna (> 10 mm). Os microrganismos do solo são representados em maior número por: bactérias, actinomicetos, fungos, algas, microfauna. A mesofauna pode ser representada pelas colêmbolas e ácaros; e a macrofauna pelos anelídeos, térmitas, isópteros e coleópteros (Silva; Mendonça, 2007). Os fungos e as bactérias são responsáveis por 96% da respiração total do solo enquanto a fauna contribui com apenas 4%. Estima-se que os microrganismos produzam 50 a 80% de CO<sub>2</sub> e as raízes de 20 a 50% (Moreira; Siqueira, 2006).

Mediante avaliação da biomassa microbiana é possível fazer comparações entre as mudanças de manejo e os solos, avaliando possíveis impactos ambientais (Insam, 2001). Mas, para Tótola e Chaer (2002), somente determinações da BMS não garantem informações sobre os níveis de atividade das populações de microrganismos, pois o solo pode conter elevadas quantidades de biomassa inativa, ressaltando a importância dos parâmetros que medem a atividade microbiana para avaliar o estado metabólico atual e o potencial dessas comunidades. Um dos métodos mais tradicionais utilizados para avaliar a atividade metabólica da população microbiana do solo é a quantidade de CO<sub>2</sub> liberada pela respiração dos microrganismos aeróbicos e anaeróbicos (Moreira; Siqueira, 2006).

Dentre os sistemas de produção adotados na região cacauera da Bahia os mais utilizados são: o tradicional (cacau-cabruca, cultivado sob variadas espécies arbóreas da Mata Atlântica, com adoção de recomendações convencionais de práticas agrícolas); sistema agroflorestal - SAF (cacau consorciado com seringueira), e cultivo orgânico (cacau consorciado com diferentes espécies arbóreas, sem utilização de agroquímicos).

O presente trabalho tem como objetivo determinar a atividade microbiana em diferentes sistemas de manejo de solo, em áreas de produção de cacau na Bahia.

## Material e Métodos

### - Caracterização da área

O estudo foi realizado em municípios da Bahia, Brasil, em 14 áreas (Quadro 1), com sistemas de cultivos do cacau, em diferentes solos.

Os dados foram interpretados considerando a comparação entre as 14 áreas estudadas e, em outra avaliação, reagrupando as áreas em três sistemas de cultivos/manejo: (1) cacau orgânico correspondente às áreas 11 e 14; (2) cacau tradicional (cabruca) nas áreas 4, 5, 7, 8, 9, 10, 12 e 13 e (3) cacau em SAFs (cacau x seringueira) correspondente às áreas 1, 2, 3, e 6.

### - Procedimentos de campo e laboratório

A amostragem foi realizada em separado em cada uma das 14 áreas, onde as amostras de solo foram retiradas da camada de 0-15 cm de profundidade, tendo-se afastado o material orgânico semi-decomposto (serapilheira), retirando-se amostras deformadas para análises (EMBRAPA, 1997) químicas, físicas (granulométrica, densidade de partícula) e biológica (evolução de CO<sub>2</sub>). Amostras indeformadas foram coletadas com anel de Kopecky, para a determinação da densidade do solo. Em cada uma das áreas foram coletadas três amostras compostas de solo, formadas por 12 subamostras simples de aproximadamente 100g cada. As três amostras compostas constituíram as repetições para cada área em estudo.

As amostras de solo, como TFSA, foram analisadas no laboratório de solos do Centro de Pesquisas de Cacau (CEPEC), juntamente com as amostras indeformadas (EMBRAPA, 1997). Os resultados das análises físicas e químicas estão, respectivamente, nas Tabelas 1 e 2.

### - Avaliação da quantidade de CO<sub>2</sub> liberado pelo solo

Para mensurar a atividade dos microrganismos no solo, aplicou-se o método proposto por Grisi (1979), com modificações. Amostras de 10g de cada solo, com respectivas triplicatas, como TFSA a 70 % da capacidade de campo, foram colocadas, juntamente com bquer contendo 20 mL de NaOH 0,4 mol L<sup>-1</sup>, em frasco hermeticamente fechado e mantidos em temperatura ambiente, para leituras nos tempos de incubação de 24, 48, 96, 168, 216 e 264 horas (totalizando 11 dias).

Quadro 1 - Descrição das áreas estudadas com a classificação do solo, localização e sistema de cultivos de cacau

Área	Classificação do solo	Localização	Sistema de cultivo de cacau
01	Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico	13° 51" 08" S e 39° 17" 54" W	SAF (cacau x seringueira espaçamento 7x3 m).
02	Latossolo Amarelo Distrófico típico	13° 46" 07" S e 39° 17" 52" W	SAF (cacau x seringueira espaçamento 7x3 m).
03	Latossolo Amarelo Distrófico câmbico	13° 40" 30" S e 39° 14" 27" W	SAF (cacau x seringueira espaçamento 7x3 m).
04	Argissolo Vermelho- Amarelo Distrófico abruptico	13° 45" 21" S e 39° 20" 25" W	Tradicional (cacau cabruca sob: gameleira, vinhático, cedro, crueira, cobi, louro, eritrina, gliricídia, bananeira, jaqueira, citrus).
05	Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico	13° 44" 38" S e 39° 30" 10" W	Tradicional (cacau cabruca sob: eritrina, bananeira, jaqueira, gliricídia).
06	Argissolo Vermelho-Amarelo Distrocoeso abruptico	16° 29" 02" S e 39° 23" 56" W	SAF (cacau x seringueira espaçamento 7x3).
07	Argissolo Vermelho-Amarelo Alítico típico	15° 23" 15" S e 39° 25" 48" W	Tradicional (cacau cabruca sob: eritrina, bananeira e gliricídia).
08	Argissolo Amarelo Distrófico	15° 23" 08" S e 39° 26" 04" W	Tradicional (cacau cabruca sob: eritrina).
09	Argissolo Amarelo Distrófico latossólico	15° 17" 04" S e 39° 28" 43" W	Tradicional (cacau cabruca sob: bananeira, gliricídia e jaqueira).
10	Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico câmbico	14° 31" 14" S e 39° 15" 45" W	Tradicional (cacau cabruca sob: cedro, pinho, putumuju, gameleira).
11	Cambissolo Háplico Distrófico típico	14° 51" 36" S e 39° 14" 42" W	Cultivos orgânicos (cacau cabruca sob: bananeira, gliricídia e jaqueira).
12	Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico abruptico	14° 42" 41" S e 39° 20" 13" W	Tradicional (cacau cabruca sob: gliricídia, bananeira, eritrina).
13	Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico argissolico	14° 51" 47" S e 39° 06" 47" W	Tradicional (cacau cabruca sob: bananeira, gliricídia e jaqueira).
14	Nitossolo Haplico Eutrófico	14° 46" 08" S e 39° 13" 26" W	Cultivos orgânicos (cacau cabruca sob: eritrina, bananeira, gliricídia).

### - Análise estatística

Para atividade microbiana no solo, os dados foram analisados, adotando-se o modelo inteiramente casualizado, em esquema fatorial com três repetições. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os dados das análises químicas e físicas do solo foram correlacionados com atividade microbiana, usando os índices de correlação de Pearson.

### Resultados e Discussão

A atividade microbiana, medida por meio da evolução de CO<sub>2</sub> foi avaliada cumulativamente para os tempos de incubação de 24, 48, 96, 168, 216 e 264 horas. Os resultados mostram diferentes desempenhos nos 14 solos estudados (Figura 1). Tomando como base os resultados obtidos às 264 h de medição, a comparação de média (p<0,05) revela que os maiores

Tabela 1 - Análise física do solo das 14 áreas estudadas, em amostras de 0-15cm de profundidade

Solo	Areia	Silte	Argila Total	Argila Natural	Silte/ Argila	Grau de Floculação (%)	Densidade do Solo ----- g cm <sup>-3</sup> -----	Densidade de Partícula	Porosidade Total (%)
	----- g kg <sup>-1</sup> -----								
01	280	279	441	60	0,67	85,9	0,97	2,58	62,4
02	335	324	341	36	0,95	88,9	1,02	2,58	60,4
03	329	380	291	33	1,31	88,5	1,07	2,65	59,6
04	597	237	166	27	1,66	79,9	1,16	2,65	56,2
05	679	238	83	30	2,93	63,2	1,46	2,67	45,3
06	800	72	128	19	0,57	85,5	1,36	2,65	48,5
07	63	628	309	118	2,06	61,6	1,10	2,58	57,3
08	262	473	265	25	1,89	90,1	1,00	2,65	62,2
09	275	369	356	21	1,17	93,2	1,10	2,64	58,2
10	667	243	90	17	2,95	82,1	1,25	2,67	53,1
11	503	352	145	27	2,65	81,3	1,26	2,68	52,8
12	433	390	177	22	2,25	87,2	1,15	2,63	56,1
13	675	200	125	33	1,74	70,2	1,21	2,68	54,9
14	488	372	140	28	2,67	79,6	1,15	2,67	56,7

Tabela 2 - Análises químicas do solo das 14 áreas estudadas, em amostras de 0-15 cm de profundidade

Solo	pH H <sub>2</sub> O	pH KCL	Al <sup>3+</sup>	H+Al	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca+Mg	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	P	N	C-org	C/N	M.O.	SB	T	t	V	m
			cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>						mg dm <sup>-3</sup>			g dm <sup>-3</sup>		g kg <sup>-1</sup>		cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			%
01	5,3	4,8	0,10	8,10	4,16	2,06	6,22	0,08	0,03	1,83	1,97	24,10	12	41,50	6,35	14,40	6,41	44,00	1,56
02	4,7	4,2	0,40	8,60	1,71	0,93	2,64	0,11	0,03	2,30	2,13	24,50	11	42,40	2,79	11,40	3,19	24,40	12,50
03	4,7	4,2	0,40	7,80	1,23	0,58	1,80	0,10	0,02	1,83	1,85	21,10	11	36,30	1,94	9,74	2,34	19,90	17,00
04	5,6	4,9	0,03	3,10	4,18	1,53	5,70	0,10	0,03	4,66	1,69	17,10	10	29,50	5,84	8,94	5,87	65,30	0,51
05	5,5	4,9	0,00	2,40	2,31	1,11	3,42	0,10	0,01	6,50	0,79	8,30	10	14,30	3,54	5,94	3,54	59,50	0,00
06	4,9	3,9	0,30	4,30	0,85	0,13	1,00	0,12	0,01	4,33	0,98	10,30	12	17,90	1,11	5,41	1,41	20,50	21,20
07	5,8	4,6	0,08	4,90	9,45	6,10	15,50	0,09	0,06	1,66	2,47	24,60	10	42,50	15,60	20,00	15,60	78,00	0,51
08	5,1	3,9	0,50	5,70	1,95	1,35	3,28	0,42	0,04	2,16	0,63	8,61	14	14,80	3,76	9,16	4,26	41,00	11,70
09	5,1	4,1	0,60	5,90	1,46	1,13	2,61	0,08	0,03	1,16	1,18	10,70	09	18,50	2,70	8,68	3,30	31,10	18,10
10	6,2	5,9	0,00	2,60	4,85	1,45	6,26	0,09	0,04	1,33	1,55	15,10	10	26,10	6,38	8,98	6,38	71,00	0,00
11	5,9	5,1	0,00	3,40	4,38	2,48	6,88	0,06	0,05	3,66	1,56	17,00	11	29,30	6,99	10,40	6,99	67,20	0,00
12	6,4	6,0	0,00	2,80	11,10	3,45	14,50	0,22	0,04	58,80	2,43	23,00	09	39,70	14,80	17,60	14,80	84,00	0,00
13	6,2	5,6	0,00	2,50	3,18	2,06	5,25	0,05	0,04	1,16	1,85	15,50	08	26,70	5,35	7,85	5,35	68,10	0,00
14	5,9	5,4	0,00	3,40	9,03	3,73	12,70	0,07	0,08	3,66	2,05	20,70	10	35,60	12,90	16,30	12,90	79,20	0,00

M.O. = matéria orgânica; SB = soma de bases; T = capacidade de troca de cátions (CTC) a pH = 7,0; t = CTC efetiva; V = saturação por bases; m = saturação por alumínio

valores C-CO<sub>2</sub> foram 10,38, 10,20 e 9,72 mg g<sup>-1</sup> de solo, respectivamente, nas áreas 14, 11 e 8 correspondentes aos solos, Nitossolo Háplico Eutrófico, Cambissolo Háplico Distrófico e Argissolo Amarelo Distrófico. As diferenças começaram a ser observadas a partir de 48 horas na comparação entre áreas 8 (Argissolo Amarelo Distrófico) e o solo 3 (Latosolo Amarelo Distrófico).

Os solos das áreas 14 e 11 apresentaram maiores valores de C-CO<sub>2</sub>, e são manejados em sistema de cultivo orgânico, tendo diferentes espécies arbóreas como sombreadoras (Quadro 1), o que favorece a atividade microbiana. Além disso, estes solos apresentaram, de modo geral, atributos químicos (Tabela 1) e físicos (Tabela 2) favoráveis que estão

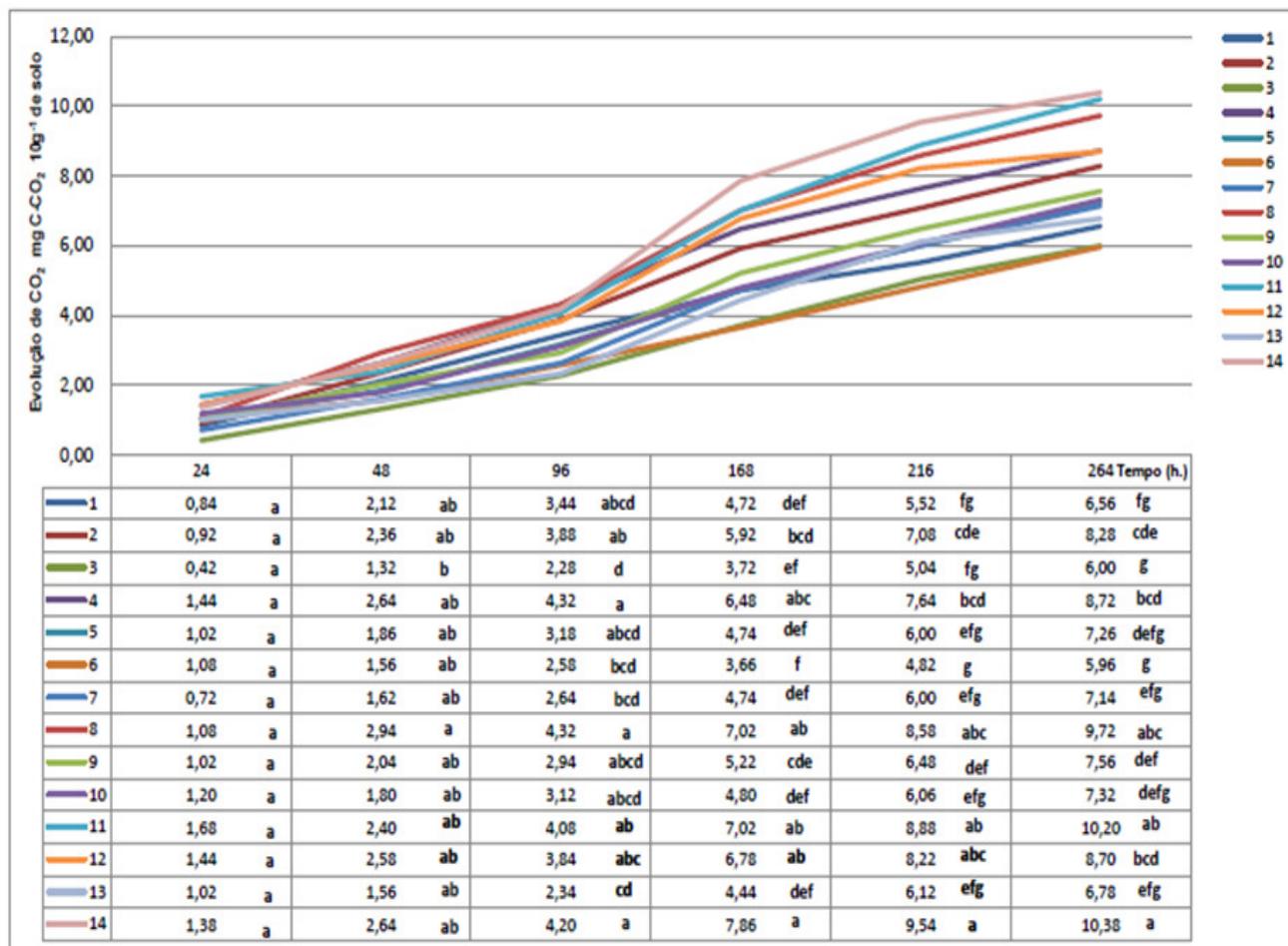


Figura 1 - Atividade microbiana, representada pela evolução de CO<sub>2</sub> nos 14 solos avaliados. [Na Coluna a >b (p <0,05) Tukey].

diretamente correlacionados com o metabolismo, a reprodução e as funções dos microrganismos do solo, destacando-se as condições de: pH, Al, Ca+Mg, P, C/N, MO, SB, argila e porosidade total. Por sua vez, estes mesmos atributos apresentaram valores menos favoráveis aos microrganismos nos solos das áreas 6, 3 e 1 (Tabela 1), conforme a atividade microbiana avaliada. A baixa evolução de CO<sub>2</sub> na área 1 pode decorrer de fatores ambientais e/ou de manejos das culturas, como o uso de agroquímicos (inseticidas, herbicidas, fungicidas), pois nesta área foram constatados valores tecnicamente favoráveis de MO, SB, densidade do solo, porosidade total.

No presente estudo foi observado que a atividade microbiana apresentou correlação significativa com as propriedades químicas do solo (Tabela 3). A correlação de Pearson indicou que a atividade microbiana se correlacionou positivamente nos solos

8 e 9 com V% ( $r = 0,969^*$ ), Ca+Mg ( $0,990^*$ ), MO ( $0,994^{**}$ ), C ( $0,995^*$ ), solo 10 com C/N ( $r = 1,00^{**}$ ), SB ( $r = 0,985^*$ ), N ( $r = 0,959^*$ ) e, no solo 11 com K+ ( $r = 0,999^*$ ) (Tabela 3). Catellan (1989) trabalhando com populações de actinomicetos observou que as mesmas apresentaram correlação positiva com o teor de MO do solo, K, Ca e CTC. Resultado semelhante foi observado por Silvestrin (2014), quando trabalhando com bactérias esporuláveis observou que as mesmas apresentaram correlação positiva com os atributos químicos: K, Ca, Al.

Algumas áreas apresentaram correlação negativa entre atividade microbiana e atributos químicos do solo: solo 14 para K+ ( $r = -0,956^*$ ), solo 1 para K+ ( $r = -0,978^*$ ) e m% ( $r = -0,985^*$ ), na área 3 para N ( $r = -0,950^*$ ), Ca+Mg ( $r = -0,970^*$ ) e SB ( $r = -0,999^{**}$ ) e na área 6 para C/N ( $r = -0,970^*$ ) (Tabela 3). Embora, o solo 14 (Nitossolo) apresentasse teores de K

Tabela 3 - Coeficientes de correlação entre análise química e atividades microbianas do solo nas 14 áreas estudadas

Variável	C-CO <sub>2</sub> mg g <sup>-1</sup> solo													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
pH (água)	-0,997**	0,091 ns	-0,944ns	0,162ns	0,426ns	-0,241ns	-0,368ns	-0,984*	-0,984*	-0,492 ns	0,082 ns	0,696 ns	-0,942 ns	0,359 ns
Alumínio	-0,868ns	0,864 ns	0,765 ns	0,067ns	0,000ns	0,000 ns	0,272 ns	-0,942 ns	-0,942 ns	0,000 ns	0,000 ns	0,000 ns	0,000 ns	0,000 ns
Cálcio	0,879 ns	-0,722ns	-0,917ns	-0,865ns	-0,426ns	0,439 ns	0,236 ns	0,678 ns	0,678 ns	0,686 ns	-0,346 ns	0,842 ns	-0,584 ns	-0,235 ns
Magnésio	0,543 ns	-0,948ns	-0,944ns	-0,641ns	-0,426ns	0,241 ns	0,777 ns	-0,319 ns	-0,319 ns	0,426 ns	-0,027 ns	-0,032ns	-0,535 ns	-0,249 ns
Ca+Mg	0,869 ns	-0,951*	-0,970*	-0,897ns	-0,426ns	0,428 ns	0,743 ns	0,990**	0,990**	0,993**	-0,508 ns	0,899 ns	-0,559 ns	-0,732 ns
Potássio	-0,978*	0,328ns	0,054 ns	0,792ns	-0,426ns	-0,931ns	0,816 ns	0,816 ns	0,816 ns	-0,816 ns	0,999**	0,457 ns	0,000 ns	-0,956*
Fósforo	0,869 ns	0,065ns	0,000 ns	0,173ns	0,000ns	-0,811ns	-0,816ns	0,816 ns	0,816 ns	0,000 ns	-0,492 ns	0,785 ns	0,097 ns	0,942 ns
pH(KCl)	0,865 ns	-0,864ns	-0,816ns	0,365ns	0,426ns	0,757 ns	-0,236 ns	0,344 ns	0,344 ns	-0,595 ns	-0,858 ns	0,995**	0,206 ns	-0,155ns
Al+H	-0,550ns	-0,131ns	0,569 ns	-0,721ns	-0,426ns	0,631 ns	-0,155ns	0,665 ns	0,665 ns	0,457 ns	0,130 ns	-0,310ns	-0,816ns	-0,792 ns
Sódio	0,125 ns	0,087ns	-0,816ns	-0,799ns	-0,426ns	-0,642ns	0,000 ns	0,000 ns	0,000 ns	0,816 ns	0,272 ns	0,686 ns	0,426 ns	-0,816ns
Nitrogênio	0,231 ns	0,864ns	-0,950*	-0,277ns	-0,426ns	0,757 ns	0,957*	0,492 ns	0,492 ns	0,959*	-0,134 ns	0,524 ns	0,390 ns	-0,876ns
Carbono	0,847 ns	-0,206ns	-0,672ns	-0,370ns	-0,063ns	0,313 ns	0,997**	0,995**	0,995**	0,938 ns	-0,221 ns	0,491 ns	-0,626ns	-0,811 ns
C/N	0,385 ns	-0,842ns	0,500 ns	0,000ns	-0,426ns	-0,970*	0,000 ns	0,155 ns	0,155 ns	1,000**	0,000 ns	0,000 ns	-0,999**	-0,816ns
SB	0,791 ns	-0,920ns	-0,996**	-0,830ns	-0,426ns	0,250 ns	0,561 ns	0,907 ns	0,907 ns	0,985*	-0,497 ns	0,890 ns	-0,559 ns	-0,758ns
T	0,478 ns	-0,336ns	0,000ns	-0,448ns	-0,756ns	0,590 ns	0,944 ns	0,823 ns	0,823 ns	0,805 ns	-0,225ns	0,910 ns	-0,276 ns	-0,999**
V%	0,929 ns	-0,869ns	-0,912ns	-0,004ns	-0,426ns	0,149 ns	0,303 ns	0,969*	0,969*	-0,093 ns	-0,780 ns	0,831 ns	-0,847ns	0,618 ns
m%	-0,985 *	0,777 ns	0,628 ns	0,039ns	0,000ns	-0,654ns	0,225 ns	-0,993**	-0,993**	0,000 ns	0,000 ns	0,000 ns	0,000 ns	0,000 ns
t	0,767 ns	-0,518ns	-0,962*	-0,866ns	-0,426ns	0,110 ns	0,624 ns	0,785 ns	0,785 ns	0,995**	-0,497 ns	0,890 ns	-0,559 ns	-0,758ns
MO	0,000 ns	-0,290ns	-0,648ns	-0,143ns	0,121ns	0,289 ns	0,998**	0,994**	0,994**	0,936 ns	-0,216 ns	0,497 ns	-0,622ns	-0,829ns

ns = não significativo, \* significativo a 5% de probabilidade, \*\* significativo 1% de probabilidade. pH (água) = acidez ativa; pH (KCl) = trocável; Al+H = acidez potencial; C/N = relação carbono, nitrogênio; SB = soma de base; T = CTC potencial; V% = saturação de bases; m% = saturação por alumínio; t = CTC efetiva; MO = matéria orgânica.

ligeiramente maior que o solo 11 (Cambissolo), a correlação linear foi negativa, o que pode estar relacionado com diferentes comportamentos (físicos e químicos) destes solos, além dos fatores edáficos do sistema agrícola da área.

A relação C/N < 20, os baixos teores de Ca+Mg, SB e alta saturação por Al interferem no desenvolvimento dos microrganismos e na ciclagem de nutrientes do solo. As condições edáficas (umidade do solo) e ambientais (temperatura) são fatores que influenciam a atividade dos microrganismos. A atividade microbiana do solo geralmente aumenta com a elevação da temperatura e em geral solos de regiões de clima mais quente tem a respiração mais elevada quando

comparado a solos de regiões de clima mais frio (Moreira; Siqueira, 2006).

Os atributos físicos do solo estão diretamente relacionados com a atividade microbiana (Tabela 4). A atividade microbiana correlacionou-se negativamente com os teores de areia do solo 3 ( $r = -0,991^{**}$ ) e argila do solo 1 ( $r = -0,994^{**}$ ), 3 ( $r = -0,962^{*}$ ) e 11 ( $r = -0,999^{**}$ ), densidade do solo 9 ( $r = -0,989^{*}$ ) e, porosidade 1 ( $r = -0,998^{*}$ ). Solos argilosos possuem menor densidade e maior porosidade total, que favorecem a atividade microbiana (Silva et al., 2006). A porosidade do solo é muito importante, pois proporciona ambiente para o desenvolvimento dos microrganismos (Moreira; Siqueira, 2006). Embora o solo 1 apresentasse uma boa porosidade

Tabela 4 - Coeficiente de correlação entre análise física e atividade microbiana do solo nas áreas estudadas

Variável	C-CO <sub>2</sub> mg g <sup>-1</sup> solo													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Areia (g kg <sup>-1</sup> )	0,842ns	0,472ns	-0,991**	0,602ns	0,816ns	-0,151ns	0,448ns	0,751ns	-0,637ns	-0,775ns	0,588ns	0,439ns	-0,216ns	0,645ns
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	0,886ns	0,973*	0,995**	-0,773ns	-0,917ns	0,540ns	-0,093ns	-0,956*	0,995**	0,9971*	-0,198ns	0,986*	-0,077ns	-0,554ns
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	-0,994**	-0,918ns	-0,962*	-0,490ns	-0,662ns	-0,070ns	-0,122ns	0,230ns	-0,488ns	0,245ns	-0,999**	-0,784ns	0,506ns	-0,762ns
Densidade do Solo (g cm <sup>-3</sup> )	0,765ns	0,548ns	0,684ns	0,859ns	0,954*	-0,196ns	-0,381ns	0,963*	-0,989*	-0,359ns	-0,850ns	0,518ns	0,254ns	0,639ns
PT (%)	-0,998**	-0,889ns	-0,903ns	-0,868ns	-0,937ns	0,229ns	0,246ns	-0,958*	0,881ns	0,185ns	0,754ns	-0,374ns	-0,179ns	-0,603ns

ns = não significativo, \* significativo a 5% de probabilidade, \*\* significativo 1% de probabilidade.

de 62,4% a correlação linear foi negativa o que leva a concluir que o manejo adotado e fatores edáficos e ambientais podem estar inibindo o desenvolvimento da microbiota do solo. A correlação foi positiva entre atividade microbiana e densidade do solo, nas áreas 5 ( $r = 0,954^*$ ) e 8 ( $r = 0,963^*$ ). Solos com alta densidade pode dificultar a difusão de  $O_2$  e criar um ambiente desfavorável ao desenvolvimento da microbiota (Silvestrin, 2014).

A Tabela 5 apresenta a correlação entre atividade microbiana e os diferentes sistemas de cultivo do cacau, agrupados em: cacau orgânico (áreas 11 e 14), cacau tradicional (áreas 4, 5, 7, 8, 9, 10, 12 e 13) e cacau em SAF (áreas 1, 2, 3 e 6).

A correlação linear foi positiva no sistema cacau orgânico para as variáveis químicas como  $Ca^{+2}$  ( $r = 0,99^{**}$ ),  $Mg^{+2}$  ( $r = 0,99^{**}$ ),  $Ca+Mg$  ( $r = 0,99^{**}$ ), pH ( $r = 0,99^{**}$ ), N ( $r = 0,99^{**}$ ), C ( $r = 0,99^{**}$ ), T ( $r = 0,99^{**}$ ), t ( $r = 0,99^{**}$ ), V ( $r = 0,99^{**}$ ) e MO ( $r = 0,99^{**}$ ) (Tabela 5). Estes resultados eram prováveis por se tratar de sistemas de cultivos orgânicos associados à

uma diversidade arbórea (Quadro 1). Os tipos de vegetação e as condições ambientais são fatores determinantes da quantidade e da qualidade do material que cai nos solos, promovendo a sua heterogeneidade e a atividade dos microrganismos (Moreira; Siqueira, 2006). O cultivo orgânico sem utilização de agroquímico contribui para a qualidade e fertilidade do solo, favorecendo desenvolvimento da microbiota, como observado no presente estudo.

No sistema SAFs (cacau x seringueira), a correlação linear não foi significativa o que pode ser explicado pela pouca diversidade de culturas, que depositam no solo materiais menos ricos em nutrientes, usos de pesticidas, além da grande quantidade de nutrientes retiradas do solo pelas culturas, diminuindo o pH do solo, a fertilidade, os teores de C, N e MO, afetando o desenvolvimento da microbiota do solo. Para Angelini et al. (2011) devido à presença de material de fácil decomposição no sistema SAF e de seu lento fornecimento, o C-BMS neste sistema é menor. As áreas

Tabela 5 - Coeficiente de correlação entre diferentes sistemas de cultivos e atividade microbiana no solo nas 14 áreas estudadas

Variável	Cacau Orgânico	Cacau SAFs	Cacau Tradicional
	C-CO <sub>2</sub> mg g <sup>-1</sup> solo		
pH (água)	- 0,86 ns	-0,31 ns	-0,34 ns
Al	0,00 ns	0,28 ns	0,41 ns
Ca <sup>+2</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,99 **	0,03 ns	0,02 ns
Mg <sup>+2</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,99 **	0,16 ns	-0,19 ns
Ca+Mg	0,99 **	0,85 ns	-0,04 ns
K <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,74 ns	0,14 ns	0,86 **
P mg kg <sup>-1</sup>	0,05 ns	-0,24 ns	0,32 ns
pH (KCl)	0,99 **	-0,01 ns	-0,31 ns
Al+H	- 0,95 *	0,57 ns	0,33 ns
Na <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	-	0,61 ns	-0,02 ns
N (g dm <sup>-3</sup> )	0,99 **	0,60 ns	-0,26 ns
C (g dm <sup>-3</sup> )	0,99 **	0,55 ns	-0,13 ns
C/N	- 0,66 ns	0,51 ns	0,69 ns
S (bases)	0,99 **	0,08 ns	-0,04 ns
T (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,99 **	0,35 ns	0,07 ns
V (%)	0,99 **	0,00 ns	-0,29 ns
m (%)	0,00 ns	-0,20 ns	0,29 ns
t (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,99 **	0,17 ns	-0,02 ns
MO (g kg <sup>-1</sup> )	0,99 **	0,57 ns	-0,09 ns

ns = não significativo, \* significativo a 5% de probabilidade, \*\* significativo 1% de probabilidade.

em sistema SAF (cacau x seringueira) apresentaram menor evolução de CO<sub>2</sub> devido aos menores teores de C-org, COS, Nt, Np (Araujo et al., 1998).

No sistema tradicional (cacau cabruca) a correlação linear foi positiva entre atividade microbiana e os teores de K disponível (Tabela 5). Neste sistema encontra-se uma grande diversidade de culturas como cacau com outros cultivos e exemplares de diferentes espécies arbóreas (Quadro 1), o que confere a este maior aporte e heterogeneidade de matéria orgânica, contribuindo para o desenvolvimento da microbiota do solo e, conseqüentemente, da fertilidade.

### Conclusões

A evolução de CO<sub>2</sub> foi maior nos solos Nitossolo Háplico Eutrófico (área14) e Cambissolo Háplico Distrófico típico (área 11), com cultivos orgânicos em sistema de cacau-cabruca, sob condições de boa fertilidade do solo e cobertura florestal (árvores de sombras) diversificada.

Os solos que apresentaram os menores valores da atividade microbiana foram aqueles das áreas 6 (Argissolo Vermelho-Amarelo Distrocoeso abruptico), 3 (Latossolo Amarelo Distrófico câmbico), e 1 (Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico), cultivados em sistema SAFs (cacau x seringueira), e com limitações de fertilidade.

### Literatura Citada

- ANGELINI, G. A. R. et al. 2011. Atividade microbiana do solo sob agrofloresta e pastagem em área de manejo agroecológico, em Seropédica. In: Congresso Brasileiro de Agroecologia, 6, 2011, Fortaleza. Resumos. Fortaleza, CE; Caderno Agroecológico 6(2):1-5.
- ARAUJO, Q. R. de; et al. 1988. Alterações em propriedades químicas e biológicas de um podzólico Vermelho-amarelo da Região Cacaueira da Bahia, Brasil, sob diferentes coberturas vegetais. *Especiaria: Revista da UESC (Brasil)* 1 (1):83-118.
- BRANDÃO, E. M. 1992. Os componentes da comunidade microbiana do solo. In: Cardoso, E. J. B. N.; Tsai, S. M.; Neves, M. C. P. *Microbiologia do solo*. Campinas, SP, SBCS. pp. 1-15.
- CARNEIRO, S. P. 2010. Qualidade de um Latossolo Vermelho sob diferentes tipos de usos e manejos em área de cerrados. Dissertação Mestrado. Belo Horizonte, MG, UFMG/IG. 125p.
- CATTELAN, A. J. 1989. Sistemas de culturas e os microrganismos do solo. Dissertação Mestrado. Porto Alegre, RS, UFRGS/ FA. 152p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA. 1997. Manual de métodos de análise de solo. 2 ed. Rio de Janeiro, RJ, EMBRAPA. 212p.
- GRAMACHO, I. C. P. et al. 1992. Cultivo e beneficiamento do cacau na Bahia. Ilhéus, BA, CEPLAC/CEPEC. 124p.
- GRISI, B. M. 1979. Método químico da medição da respiração edáfica: alguns aspectos técnicos. *Revista Ciência e Cultura (Brasil)* 30:82-88.
- GOMES, M. A. F.; FILIZOLA, H. F. 2006. Indicadores físicos e químicos de qualidade de solo de interesse agrícola. Jaguariuna, SP, EMBRAPA MEIO AMBIENTE. 8p.
- INSAM, H. 2001. Developments in soil microbiology since the mid 1960s. *Geoderma* 100(3):389-402.
- MERCANTE, F. M. et al. 2008. Biomassa microbiana, em um Argissolo Vermelho, em diferentes coberturas vegetais, em área cultivada com mandioca. *Acta Scientiarum Agronomy (Brasil)* 34(4):479-485.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. 2006. *Microbiologia e bioquímica do Solo*. 2 ed. Lavras, MG, UFLA. 729p.
- PACHECO, L. C. P. S. 2013. Emissão de amônia e teores de nitrogênio no sistema solo-planta após aplicação de herbicidas dessecantes. Dissertação Mestrado. Goiânia, GO, Universidade Federal de Goiás. 101p.
- PRIMAVESI, A. 1997. *Agroecologia: ecosfera, tecnosfera e agricultura*. São Paulo, SP, Nobel. 199p.
- SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. 2007. Matéria orgânica do solo. In: Novais, et al. *Fertilidade do solo*. Viçosa, MG, SBCS. pp.276-375.

- SILVA, M. A. S. et al. 2006. Propriedades físicas e teor de carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob distintos sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 30:329-337.
- SILVESTRIN, A. R. DE C. 2014. Recomposição inicial de floresta ripária com práticas de cobertura de solo e de adubação, Região Metropolitana de Curitiba-PR. Tese de Doutorado. Curitiba, PR, Universidade Federal do Paraná. 113p.
- TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. 2002. Microorganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade do solo. *Tópicos em Ciência do Solo (Brasil)* 2(2):195-276.
- ZILLI, Z. E. et al. 2003. Diversidade microbiana como indicador de qualidade do solo. *Caderno de Ciência & Tecnologia (Brasil)* 20(3):391-411.

