

# SEÇÃO III - BIOLOGIA DO SOLO

## CINÉTICA DE DEGRADAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA E VARIAÇÃO DO pH DO SOLO SOB DIFERENTES TEMPERATURAS<sup>(1)</sup>

T. C. REIS<sup>(2)</sup> & A. A. RODELLA<sup>(3)</sup>

### RESUMO

Nos solos onde fontes de carbono orgânico são incorporadas geralmente ocorre diminuição da acidez, sendo os mecanismos envolvidos nesta alteração ainda pouco esclarecidos. O objetivo deste estudo foi relacionar a cinética de degradação de materiais orgânicos com as alterações na acidez do solo. Amostras da camada de 0-20 cm de um Cambissolo Háplico Tb distrófico foram incubadas com cinco fontes de matéria orgânica: feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*), esterco bovino, vinhaça, biossólido e turfa, nas temperaturas de 20 e 30 °C. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado. Durante a incubação em frascos fechados, foram realizadas medidas da produção de CO<sub>2</sub> por condutimetria e coletadas amostras do solo para determinações do pH em CaCl<sub>2</sub>. De maneira geral, a incubação dos tratamentos a 30 °C promoveu a liberação de maior quantidade de CO<sub>2</sub>. A vinhaça foi o material que apresentou maiores valores de carbono mineralizado aliados a uma elevada velocidade de degradação. Apenas para este material foi obtida uma boa correlação entre as quantidades acumuladas de CO<sub>2</sub> desprendido e o aumento do pH do solo. A rápida mineralização do carbono orgânico da vinhaça pode criar um ambiente redutor responsável pela diminuição da acidez. Pode-se concluir que a redução da acidez do solo foi influenciada pela atividade microbiana apenas no tratamento com vinhaça.

**Termos de indexação:** atividade microbiana, acidez do solo, materiais orgânicos, decomposição, respirometria, carbono orgânico.

---

<sup>(1)</sup> Parte da Tese de Mestrado do primeiro autor, apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo – ESALQ/USP. Executada com auxílio da CAPES. Trabalho apresentado no XXVII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, realizado em Brasília (DF). Recebido para publicação em janeiro de 1999 e aprovado em março de 2002.

<sup>(2)</sup> Doutorando do Curso de Solos e Nutrição de Plantas da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" – ESALQ/USP. Caixa Postal 9, CEP 13418-900 Piracicaba (SP). Bolsista FAPESP. E-mail: tcreis@carpa.ciagri.usp.br

<sup>(3)</sup> Professor Doutor do Departamento de Ciências Exatas, ESALQ/USP. E-mail: aarodell@esalq.usp.br

**SUMMARY:** *DYNAMICS OF ORGANIC MATTER DEGRADATION AND PH VARIATION OF SOIL UNDER DIFFERENT TEMPERATURES*

*Acidity is generally reduced in soils when organic matter is incorporated but the mechanisms of this alteration are still poorly understood. The objective of this study was to determine the relationship between the kinetics of organic material degradation and acidity alterations. Samples taken from the 0-20 cm soil layer (Ustic Dystropepts) were incubated with five sources of organic matter: green manure (Canavalia ensiformis D.C), cattle manure, vinasse, sewage sludge and peat, at temperatures of 20 or 30 °C. The experimental design was completely randomized. Closed jars were used for soil incubation, where the CO<sub>2</sub> production was quantified by a conductimetric method, and soil samples were collected for pH (CaCl<sub>2</sub>) determinations. In general, a higher amount of CO<sub>2</sub> was released in treatments incubated at 30 °C. Vinasse was the material with the highest value of carbon mineralization accompanied by an accelerated degradation. Only for this material the accumulated CO<sub>2</sub> amounts produced during incubation were well correlated to increases in soil pH. The fast mineralization of organic carbon from vinasse might cause a reducing environment, responsible for the decrease in soil acidity. We conclude that only in the vinasse assay the reduction of soil acidity was influenced by microbial activity.*

*Index terms: microbial activity, soil acidity, organic matter decomposition, respirometry, organic carbon.*

## INTRODUÇÃO

A matéria orgânica aplicada ao solo exerce grande influência sobre suas propriedades químicas, físicas e biológicas. Após incorporação de materiais orgânicos ao solo, parte do carbono adicionado é desprendida como CO<sub>2</sub> e parte pode permanecer inalterada ou ser incorporada à biomassa microbiana. Esse processo de transformação da matéria orgânica é vital para o funcionamento dos ecossistemas terrestres.

De modo geral, nos solos onde fontes de carbono orgânico são incorporadas, ocorrem variações em seus atributos químicos, como o aumento do pH e a redução dos teores de alumínio trocável (Cambuim & Cordeiro, 1986; Camargo et al., 1987), influenciando diretamente em sua fertilidade.

Os mecanismos envolvidos neste processo são relacionados com a composição química dos materiais. Tais mecanismos variam desde simples reação de neutralização da acidez do solo por compostos alcalinos, inorgânicos (Korcak, 1980) ou orgânicos (Yan et al., 1996), até reações de oxiredução, com grande consumo de prótons do solo, provocadas pela intensa mineralização de determinados materiais (Leal et al., 1983).

A velocidade da decomposição dos materiais orgânicos adicionados a solos depende, dentre outros fatores, de sua relação C/N (Zilbilske, 1987), da forma em que se encontra o seu carbono (Rodella et al., 1983), das características físico-químicas e biológicas do solo e da temperatura (Alexander, 1967).

Quantificações do CO<sub>2</sub> desprendido de amostras de terra, incubadas com materiais orgânicos em laboratório dentro de respirômetros, são utilizadas para a avaliação da atividade microbiológica do solo, incluindo o cálculo de biomassa microbiana (Sparling, 1992), bem como para determinação de taxas de decomposição de materiais adicionados. Estudos desta natureza permitem obter informações sobre o comportamento de materiais orgânicos no solo, num curto intervalo de tempo (Cerri et al., 1994).

Na avaliação do comportamento da matéria orgânica no solo é importante determinar o modelo de cinética de degradação, pois através de parâmetros numéricos, como constante de velocidade, o processo pode ser relacionado com diferentes variáveis. Tais estudos envolvem a utilização de modelos matemáticos como o modelo de cinética de primeira ordem, que tem sido utilizado com frequência nos estudos de degradação da matéria orgânica (Jenkinson & Rayner, 1977). Este modelo baseia-se no princípio de que a velocidade de decomposição de determinado substrato, em determinado instante, é diretamente proporcional à quantidade de substrato presente neste mesmo momento. Como a quantidade de substrato é máxima no início e diminui com o tempo, a velocidade de decomposição é decrescente (Lathan, 1974).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a cinética de degradação de diferentes materiais orgânicos no solo, sob diferentes temperaturas, buscando relacionar os incrementos da atividade microbiana, promovida pela adição destes materiais, com as variações de pH ocorridas no meio.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido em câmaras de incubação, tipo DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), incubando-se amostras da camada de 0-20 cm de um Cambissolo Háplico Tb distrofico A moderado textura argilosa (EMBRAPA, 1999), da região de Piracicaba (SP), com cinco diferentes fontes de matéria orgânica (Quadro 1), sob as temperaturas de 20 e 30 °C. As amostras foram secas ao ar, destorroadas e peneiradas (malha de 2 mm). As características químicas do solo são as seguintes: pH em  $\text{CaCl}_2 = 4,1$ ; carbono orgânico =  $8,1 \text{ g dm}^{-3}$ ; P-resina =  $2 \text{ mg dm}^{-3}$ ; K, Ca, Mg e Al trocáveis = 1,8; 27; 10 e  $31 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , respectivamente;  $\text{H} + \text{Al} = 109 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ;  $\text{V} = 26 \%$  e  $\text{m} = 44 \%$ , avaliadas conforme método descrito por Raij et al. (1987).

O delineamento experimental adotado foi do tipo inteiramente casualizado com seis repetições, sendo três utilizadas para a avaliação das quantidades de  $\text{CO}_2$  desprendido e as demais, para medidas de pH em  $\text{CaCl}_2$   $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ . Após 38 dias de incubação, as temperaturas foram elevadas a 35 °C.

A incubação foi efetuada em potes de vidro com tampas plásticas, com capacidade para  $1 \text{ dm}^3$ , que continham uma massa de 0,5 kg de TFSA. As doses dos diferentes materiais orgânicos foram estabelecidas, visando fornecer ao solo a mesma quantidade de carbono orgânico, suficiente para elevar o seu teor em 0,2 unidade percentual. Para tanto, foram incorporados ao solo: 2,6 g de feijão-de-porco; 2,9 g de esterco bovino; 2,5 g de turfa; 11,0 g de biossólido e 128 mL de vinhaça. Os materiais sólidos foram triturados para obter partículas de diâmetro inferior ou igual a 0,5 mm. A caracterização química e o teor de umidade dos materiais orgânicos utilizados encontram-se no quadro 1.

A umidade foi corrigida a 70 % da capacidade de campo e mantida durante todo o experimento.

Dentro dos frascos de incubação, foram acondicionados frascos plásticos que continham 40 mL de solução de  $\text{NaOH}$   $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  para absorção do  $\text{CO}_2$  liberado durante a respiração microbiana. No decorrer dos 71 dias de incubação, foram realizadas 20 trocas da solução de  $\text{NaOH}$ , intercaladas de acordo com a marcha de desprendimento do  $\text{CO}_2$ . A quantidade de  $\text{CO}_2$  liberado foi determinada, em cada período, pelo método condutimétrico (Rodella & Saboya, 1999).

As determinações de pH em solução de  $\text{CaCl}_2$   $0,01 \text{ mol L}^{-1}$  foram realizadas nos mesmos intervalos de tempo das determinações de  $\text{CO}_2$ . Aos 38 dias de incubação, foi determinado o alumínio trocável do solo por volumetria de neutralização.

As curvas de quantidades de  $\text{CO}_2$  acumuladas até o 38º dia de incubação, obtidas para cada material e temperatura, foram ajustadas ao modelo de cinética de primeira ordem, enquanto os resultados de pH ( $\text{CaCl}_2$ ) foram submetidos à análise de variância e comparação de médias, dia a dia, pelo teste de Tukey.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O tratamento-testemunha evoluiu aproximadamente 600 mg de  $\text{CO}_2$ , durante o período de incubação, quantidade considerada elevada, quando comparada à evolução líquida de  $\text{CO}_2$  dos tratamentos com adição de turfa e biossólido (Figura 1).

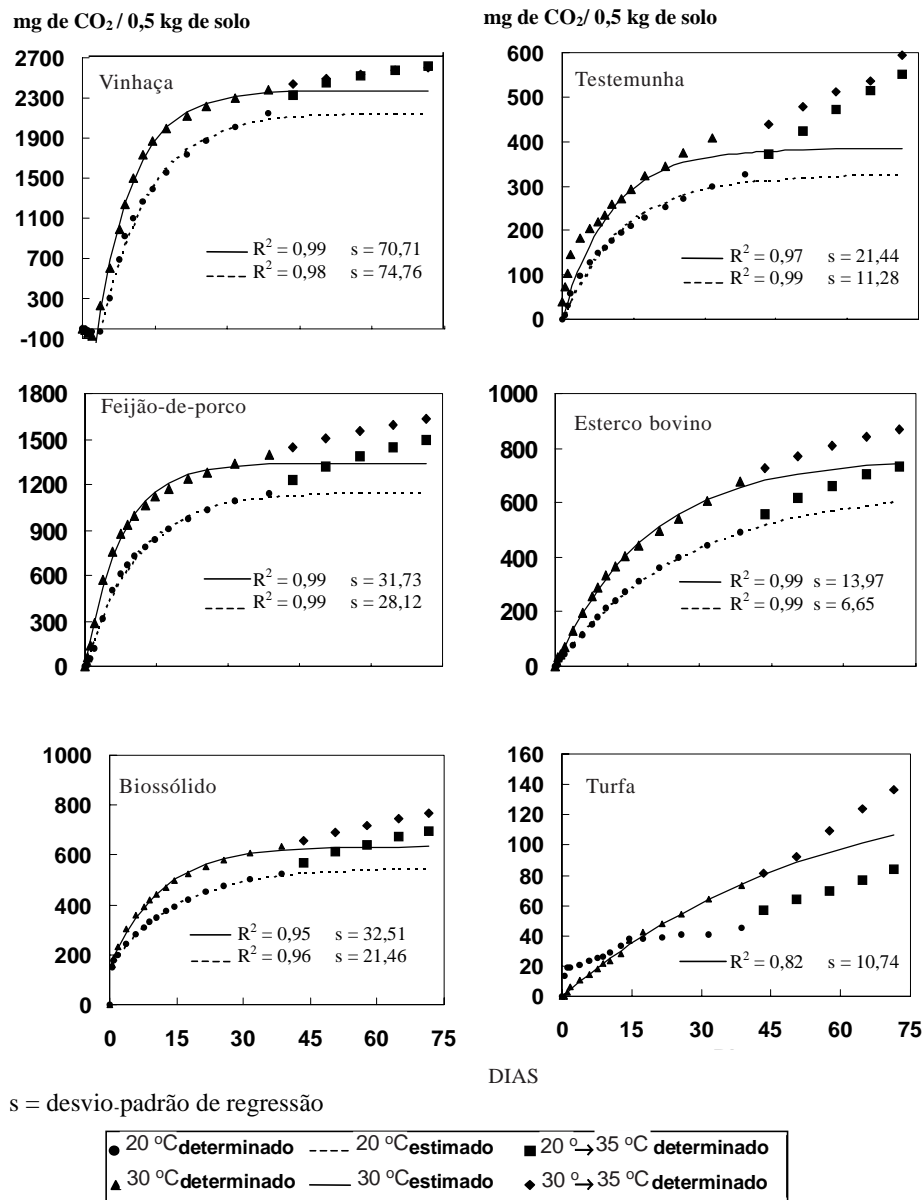
Como esperado, todos os tratamentos com adição de materiais orgânicos apresentaram, durante os primeiros 38 dias de incubação, maior evolução total de  $\text{CO}_2$  a 30 °C que a de 20 °C, observando-se, em ambas as condições, a seguinte ordem de mineralização: vinhaça > feijão-de-porco > esterco bovino > biossólido > turfa.

**Quadro 1. Caracterização do solo e dos materiais orgânicos utilizados**

Material	C/N <sup>(1)</sup>	pH $\text{CaCl}_2$	Alcalinidade <sup>(2)</sup>	Mat. seca 65 °C	C org.	MO <sup>(3)</sup>	K <sup>(4)</sup>	Ca <sup>(4)</sup>	Mg <sup>(4)</sup>	P total <sup>(4)</sup>
			mmol g <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup> <sup>(6)</sup>			g kg <sup>-1</sup> <sup>(5)</sup>			
Feijão-de-porco	11	7,71	0,92	908	390,6	859,5	29,9	20,1	2,8	4,9
Esterco bovino	16	7,60	0,68	912	377,8	903,9	17,5	13,4	3,1	18,2
Turfa	35	2,85	-	884	457,2	879,0	0,0	2,4	0,5	3,3
Biossólido	12	7,72	6,50	869	104,2	180,5	1,9	122,6	3,1	20,3
Vinhaça <sup>(6)</sup>	11	4,33	-	2,5	7,8	17,5	0,5	1,1	0,4	0,1

<sup>(1)</sup> Carbono por Walkley-Black/Nitrogênio por Kjeldahl. <sup>(2)</sup> Poder de Neutralização (Brasil, 1988). <sup>(3)</sup> Matéria Orgânica por calcinação.

<sup>(4)</sup> Obtidos a partir de digestão nitroperclórica. <sup>(5)</sup> Valores expressos na matéria seca a 65 °C. <sup>(6)</sup> Material "in natura".



**Figura 1. Quantidades acumuladas de CO<sub>2</sub> evoluído pela testemunha e quantidades líquidas acumuladas liberadas pelos materiais estudados, considerando o tempo de incubação.**

Esses resultados ressaltam a importância da temperatura na mineralização do carbono orgânico. Joergensen et al. (1990) observaram que, após 240 dias de incubação, 6,4 % do carbono nativo de um solo foi mineralizado a 15 °C; 12,2 % a 25 °C e 35,4 % a 35 °C.

Aos 38 dias de incubação, as curvas de respirometria dos diferentes materiais, com exceção do esterco bovino e da turfa, apresentavam tendência assintótica, evidenciando uma baixa velocidade de evolução de CO<sub>2</sub>.

O ajuste dos resultados de respirometria ao modelo de cinética de primeira ordem forneceu os

parâmetros apresentados no quadro 2. De maneira geral, o modelo de cinética de primeira ordem ajustou-se eficientemente aos dados experimentais, conforme demonstrado pelos coeficientes de determinação obtidos (Figura 1).

O ajuste do modelo básico de cinética de primeira ordem foi obtido para o feijão-de-porco e para o esterco bovino, em ambas as temperaturas estudadas, com  $R^2$  igual a 0,99. Para o feijão-de-porco, tanto as quantidades do carbono liberado na forma de CO<sub>2</sub> como as constantes de velocidade foram relativamente elevadas, promovendo o aumento na temperatura de incubação de 20 para

**Quadro 2. Parâmetros da equação de cinética do primeiro grau ajustada aos dados de liberação de CO<sub>2</sub> pelos materiais orgânicos incubados a 20 e 30 °C e a percentagem do carbono adicionado mineralizada até o 38 ° dia**

Temperatura de incubação	Material	Modelo	a <sup>(1)</sup>	p <sup>(2)</sup>	b <sup>(3)</sup>	k <sup>(4)</sup>	t <sub>1/2</sub> <sup>(5)</sup>	C respirado
			— mg CO <sub>2</sub> —		dia	dia <sup>-1</sup>	dia	%
20 °C	Testemunha	$y = a (1 - e^{-kx})$	327,3	-	-	0,0754	9,2	2,2 <sup>(6)</sup>
	Feijão-de-porco	$y = a (1 - e^{-kx})$	1.154,8	-	-	0,0911	7,6	31,0
	Esterco bovino	$y = a (1 - e^{-kx})$	653,8	-	-	0,0362	19,1	13,4
	Vinhaça	$y = a [1 - e^{-k(x-b)}]$	2.156,3	-	3,85	0,0992	7,0	58,6
	Biossólido	$y = p + a (1 - e^{-kx})$	401,1	149,1	-	0,0665	10,4	14,3
	Turfa	não ajustado	--	-	-	-	-	1,2
30 °C	Testemunha	$y = a (1 - e^{-kx})$	383,8	-	-	0,0972	7,1	2,8*
	Feijão-de-porco	$y = a (1 - e^{-kx})$	1.341,8	-	-	0,1326	5,2	38,1
	Esterco bovino	$y = a (1 - e^{-kx})$	762,5	-	-	0,0516	13,4	18,5
	Vinhaça	$y = a [1 - e^{-k(x-b)}]$	2.374,4	-	3,17	0,1306	5,3	65,0
	Biossólido	$y = p + a (1 - e^{-kx})$	481,8	152,1	-	0,0893	7,8	17,3
	Turfa	$y = a (1 - e^{-kx})$	144,7	-	-	0,0186	37,3	2,0

(1) Produção máxima de CO<sub>2</sub>. (2) Período necessário à adaptação microbiana. (3) Evolução de CO<sub>2</sub> independente do tempo. (4) Constante de velocidade. (5) t<sub>1/2</sub> = meia vida. (6) Em relação ao C orgânico do solo.

30 °C um acréscimo de 45 % na velocidade de liberação de CO<sub>2</sub> e de 23 % na quantidade de CO<sub>2</sub> desprendido (Quadro 2).

Com exceção da turfa, o esterco bovino apresentou a menor velocidade de liberação de CO<sub>2</sub>, tanto a 20 como a 30 °C, liberando menos de 20 % do seu carbono orgânico na forma de CO<sub>2</sub>. É interessante observar que estes valores de evolução foram similares aos obtidos para o biossólido, embora o carbono orgânico deste último tenha sido degradado mais rapidamente que o do esterco bovino, com acréscimos de velocidade de 84 e 73 % a 20 e a 30 °C, respectivamente (Quadro 2).

O ajuste do modelo de cinética de primeira ordem aos dados de respirometria do biossólido mostrou uma característica especial. A liberação de CO<sub>2</sub> com a adição deste material foi de aproximadamente 150 mg nas primeiras 12 horas de incubação, o que, provavelmente, pode ser atribuído à reação química praticamente instantânea entre os íons carbonato do material com os componentes da acidez do solo. Para tanto, foi introduzido um novo parâmetro, **p**, à equação do modelo básico de cinética, buscando representar a liberação de CO<sub>2</sub>, independentemente do tempo de incubação. É importante notar que a incubação a 20 ou 30 °C não afetou a magnitude deste parâmetro, indicando a natureza puramente química dessa liberação inicial de CO<sub>2</sub>. Por outro lado, a variação de temperatura promoveu um aumento de 34 % na velocidade de evolução de CO<sub>2</sub> na sequência da incubação.

No caso da vinhaça, foram observados, no início da sua degradação, valores negativos para a

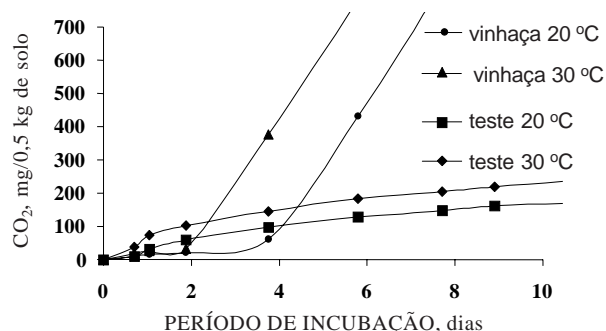
produção líquida de CO<sub>2</sub> nas duas temperaturas (Figura 1). Como os pontos do gráfico resultam da diferença entre a produção de CO<sub>2</sub> do tratamento e da testemunha, os dados negativos apenas indicam que no tratamento com vinhaça ocorreu menor liberação de CO<sub>2</sub> que no tratamento-testemunha durante os primeiros dias de incubação (Figura 2).

O fato de a vinhaça inicialmente inibir a mineralização do carbono nativo do solo revela o período de adaptação microbiana, decorrente da incorporação desse material orgânico. Em geral, a adição de vinhaça ao solo promove alterações significativas na população microbiana (Camargo, 1954). Este período é chamado de *lag-phase*. Embora esteja sempre presente nos processos de degradação, nem sempre pode ser identificado pela periodicidade das medidas de CO<sub>2</sub>. Quando se manifesta, pode ser identificado pela tendência sigmóide da curva de respirometria (Figura 2).

No estudo da cinética de degradação da vinhaça, não foram incluídos os valores de produção líquida negativa de CO<sub>2</sub>. O modelo básico de cinética de primeira ordem foi modificado pela introdução de um novo parâmetro, **b**, que se soma ao período de incubação em dias, **t**. Esse parâmetro **b** representa o período necessário para ultrapassar a adaptação inicial dos microrganismos e dar sequência à degradação do material.

A vinhaça foi o material que teve seu conteúdo em carbono orgânico mineralizado de forma mais completa e com maior velocidade. A 30 °C, cerca de 64 % do carbono orgânico presente no resíduo foi mineralizado. A elevação de temperatura da





**Figura 2. Quantidades de CO<sub>2</sub> evoluído a partir do C nativo do solo (testemunha) e a partir da vinhaça mais o C nativo do solo, nas temperaturas de 20 e 30 °C.**

incubação de 20 para 30 °C promoveu um aumento de 32 % na velocidade de degradação e de apenas 11 % na quantidade de carbono transformado em CO<sub>2</sub>. Observou-se que a decomposição da fração orgânica da vinhaça foi menos influenciada pela temperatura que a dos demais materiais, o que pode ser explicado pelo fato de a vinhaça conter formas de carbono facilmente decomponíveis (Rodella et al., 1983).

A turfa foi o material que proporcionou a menor evolução de CO<sub>2</sub> pelo seu elevado grau de estabilização e pelas suas características químicas: pH muito baixo, alta relação C/N e baixos teores de nutrientes (Quadro 1). Esta reduzida mineralização, principalmente a 20 °C, causou menor exatidão na estimativa da quantidade líquida de CO<sub>2</sub> liberado do solo. Desta forma, apenas foi possível ajustar o modelo de cinética de primeira ordem aos dados de incubação da turfa a 30 °C, resultando na menor constante de velocidade (Quadro 2).

As constantes de velocidade  $k$  dizem respeito apenas à fração mineralizada dos materiais. Por este motivo, valores de meia-vida ( $t_{1/2}$ ), calculados com base nessas constantes, devem ser interpretados como indicativos de velocidade de mineralização da referida fração.

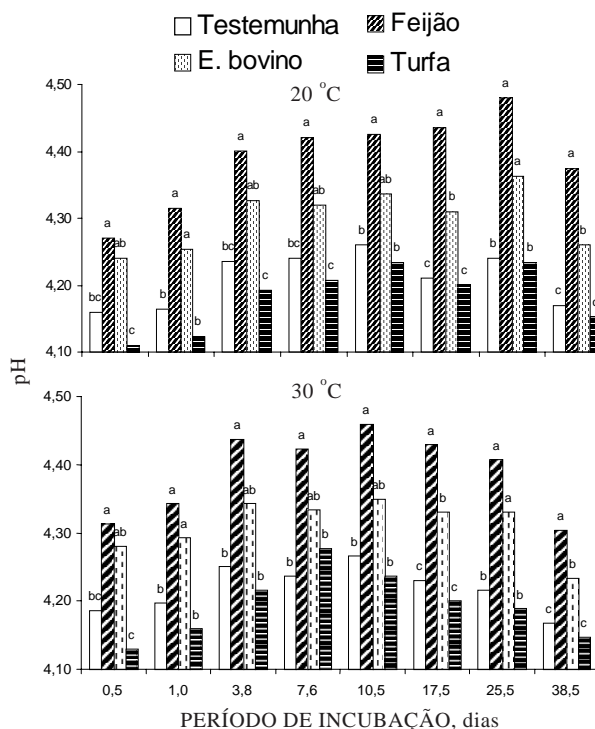
A elevação das temperaturas de incubação para 35 °C, após 38 dias, proporcionou um aumento na evolução de CO<sub>2</sub> em todos os tratamentos (Figura 1). Enquanto as curvas de evolução de CO<sub>2</sub> acumulado do esterco bovino mantiveram-se praticamente paralelas, as do bio sólido e do feijão-de-porco apresentaram ligeira tendência de aproximação.

Após a elevação das temperaturas, a produção de CO<sub>2</sub> da vinhaça que vinha sendo incubada a 20 °C foi incrementada, contrastando com o comportamento do mesmo material incubado a 30 °C, em que a liberação de CO<sub>2</sub> pouco se alterou (Figura 1). Isso pode indicar que, na incubação da vinhaça a 30 °C, a maior parte do carbono orgânico já havia sido mineralizada.

Durante a incubação, as variações de pH dos tratamentos com feijão-de-porco, esterco bovino e turfa, em relação à testemunha, tiveram comportamentos similares nas temperaturas de 20 e 30 °C (Figura 3).

Os materiais orgânicos, de maneira geral, promoveram elevação significativa no pH do solo já nos primeiros dias de incubação. A exceção para este comportamento foi a turfa, que apresentou uma diminuição do pH do solo, apesar de os valores deste atributo não terem diferido estatisticamente dos obtidos na testemunha, para todas as épocas de amostragem. Este comportamento diferenciado da turfa pode ser explicado pelo fato de esse material apresentar o pH baixo (Quadro 1).

Embora os tratamentos com feijão-de-porco e o esterco bovino tenham apresentado aumentos significativos nos valores de pH, estes materiais apresentaram variações entre os períodos de incubação de, no máximo, 0,25 unidade de pH (Figura 3). Estas variações são muito pequenas, quando comparadas às obtidas nos tratamentos com bio sólido e vinhaça (Figura 4). As alterações de pH, resultantes da incorporação de feijão-de-porco e esterco bovino, podem estar relacionadas com a



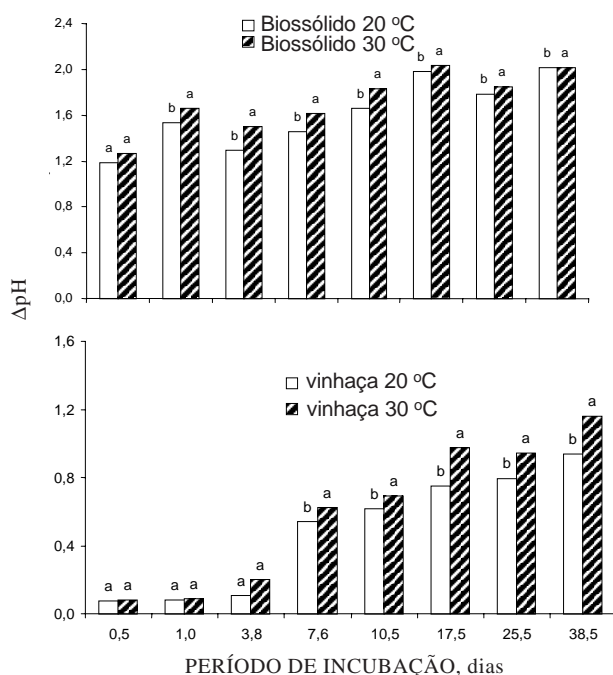
**Figura 3. Valores de pH dos tratamentos (testemunha e incubados com feijão-de-porco, esterco bovino e turfa, considerando o período de incubação, sob as temperaturas de 20 e 30 °C. Médias dentro de cada período, seguidas por letras iguais, não diferem entre si a 0,05 pelo teste Tukey.**

alcalinidade presente, tanto nos tecidos das leguminosas (Yan et al., 1996) como em cinzas de leguminosas e gramíneas (Pierre & Banwart, 1975).

O biossólido foi o material que promoveu maiores aumentos de pH, tendo a maior contribuição ocorrido de forma quase instantânea, alcançando, nos primeiros dias, valores próximos de 6,5 (Figura 4). Tal comportamento indica que a grande quantidade de componentes alcalinos deste material (Quadro 1) reagiu rapidamente com os componentes da acidez do solo, aumentando o pH do solo independentemente das transformações da matéria orgânica, o que está de acordo com os resultados obtidos por Korkak (1980).

Estando a reação do solo próxima à neutralidade, pequenas variações na concentração de hidrogênio do meio podem resultar em grandes variações no valor de pH. Este fato pode ser responsável, no tratamento com biossólido, pelas maiores flutuações dos resultados experimentais (Figura 4).

Observou-se que a vinhaça à temperatura de 30 °C proporcionou valores de pH significativamente maiores que a 20 °C, na maior parte das épocas de amostragem (Figura 4). Este comportamento pode ser uma evidência do efeito da atividade microbiana na alteração do pH do solo.



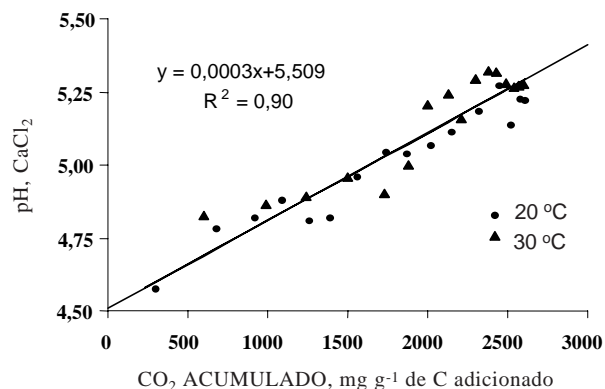
**Figura 4.** Valores de  $\Delta$ pH dos tratamentos com adição de biossólido e vinhaça, considerando o período de incubação, sob as temperaturas de 20 e 30 °C. Médias dentro de cada período, seguidas por letras iguais, não diferem entre si a 0,05 pelo teste Tukey.

Além do acréscimo inicial no valor de pH, apresentado pela maior parte dos tratamentos, a vinhaça foi o único material que causou uma elevação progressiva desse atributo, ao longo da incubação. Tal comportamento já havia sido observado por Mattiazzi & Gloria (1985), estudando o efeito da vinhaça no pH do solo. Em razão desta elevação progressiva do pH, apenas para o tratamento com adição de vinhaça foi possível relacionar as quantidades acumuladas de  $\text{CO}_2$  evoluído com os respectivos valores no pH do solo ao longo do período de incubação, tanto a 20 °C como a 30 °C (Figura 5).

Portanto, a elevação do pH para os tratamentos com aplicação de vinhaça está relacionada com a atividade microbiana, expressa através da liberação de  $\text{CO}_2$ . Esta relação pode ser explicada pelo fato de a intensificação da respiração microbiana, causada pela adição da vinhaça, criar um ambiente redutor no solo capaz de consumir prótons do meio ao reduzir compostos oxidados como  $\text{NO}_3^-$  (Leal et al., 1983).

## CONCLUSÕES

1. O aumento de temperatura de incubação dos materiais orgânicos estudados de 20 °C para 30 °C promoveu incrementos de 34,3 a 46,5 %, na velocidade de degradação, e de 11,9 a 38,0 %, na quantidade de carbono orgânico mineralizado.
2. A maior parte do carbono orgânico da vinhaça é mineralizada rapidamente.
3. Incrementos no pH do solo, observados durante a incubação da vinhaça, puderam ser relacionados com as quantidades de  $\text{CO}_2$  evoluído.
4. O biossólido altera o pH do solo, sobretudo pela presença do íon carbonato proveniente do tratamento do lodo com cal.



**Figura 5.** Relação entre as quantidades acumuladas de  $\text{CO}_2$  evoluído pela vinhaça no decorrer do período de incubação e os respectivos valores de pH em  $\text{CaCl}_2$ .

5. Em trabalhos de respirometria que utilizam materiais orgânicos que contêm carbonato, a avaliação do CO<sub>2</sub> produzido pela respiração microbiana pode ser superestimada pela contribuição daquele íon.

### LITERATURA CITADA

- ALEXANDER, M.I.H. Introduction to soil microbiology. 4.ed. New York, John Wiley, 1967. 472p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Análise de corretivos, fertilizantes e inoculantes: métodos oficiais. Brasília, 1988. 104p.
- CAMARGO, R. O desenvolvimento da flora microbiana nos solo tratados com vinhaça. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Instituto Zimotécnico, 1954. p.1-44, (IZ. Boletim, 9)
- CAMARGO, O.A.; VALADARES, J.M.A.S.; BERTON, R.S.; TEÓFILO SOBRINHO, J. & MENK, J.R.F. Alterações de características químicas de um Latossolo Vermelho-Escuro pela aplicação de vinhaça. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 1987. 23p. (IAC. Boletim Científico, 9)
- CAMBUIM, F.A. & CORDEIRO, D.A. Ação de vinhaça sobre pH, acidez total e acumulação de nutrientes, em solo arenoso. STAB, 4:23-30, 1986.
- CERRI, .C.C.; ANDREUX, F.; EDUARDO, B.M.; CHONE, T. & PICCOLO, M.C. Incubador para estudos sobre decomposição de material orgânico no solo. R. Bras. Ci. Solo, 18:1-5, 1994.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, EMBRAPA Produção de Informação. Rio de Janeiro, EMBRAPA Solos, 1999. 412p.
- JENKINSON D.S. & RAYNER, J.H. The turnover of soil organic matter in some of the Rothamsted Classical Experiments. Soil Sci., 123:298-305, 1977.
- JOERGENSEN, R.G.; BROOKES, P.C. & JENKINSON, D.S. Survival of the soil microbial biomass at elevated temperatures. Soil Biol. Biochem., 22:1129-1136, 1990.
- KORCAK, R.F. Effects of applied sewage sludge compost and fluidized material on apple seedling growth. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 11:571-585, 1980.
- LATHAN, J.L. Cinética elementar de reação. São Paulo, Edgard Blucher, EDUSP, 1974. 113p.
- LEAL, J.R.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; VELLOSO, A.C.X. & ROSSIELLO, R.O.P. Potencial redox e pH: variações em um solo tratado com vinhaça. R. Bras. Ci. Solo, 7:257-261, 1983.
- MATTIAZZO, M.E. & GLORIA, N.A. Efeito da vinhaça na acidez do solo. STAB, 4:35-40, 1985.
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S. & BATAGLIA, O.C. Análise química do solo para fins de fertilidade. Campinas, Fundação Cargil, 1987. 170p.
- PIERRE, W.H. & BANWART, W.L. Excess base and excess base/nitrogen ratios of various crop species and plant parts. Agron. J., 65:91-96, 1975.
- RODELLA, A.A. & SABOYA, L.V. Calibration for conductimetric determination of carbon dioxide. Soil Biol. Biochem., 31:2059-2060, 1999.
- RODELLA, A.A.; ZAMBELLO Jr., E. & ORLANDO FILHO, E. Effects of vinasse added to soil on pH and exchangeable aluminum content. In: CONGRESS OF INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 17., Havana, 1983. Proceedings. Havana, José Martí, 1983. p.237-245.
- SPARLING, G.P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. Aust. J. Soil Res., 30:195-207, 1992.
- YAN, F.; SCHUBERT, S. & MENGEL, K. Soil pH changes during legume growth and application of plant material. Biol. Fertil. Soil, 23:236-242, 1996.
- ZILBILSKE, L.M. Dynamics of nitrogen and carbon in soil during papermill sludge decomposition. Soil Sci., 143:26-33, 1987.