

EDDI ALEJANDRO VANEGAS CHACÓN

**CARACTERIZAÇÃO, DECOMPOSIÇÃO E
BIODISPONIBILIDADE DE NITROGÊNIO E FÓSFORO DE
MATERIAIS ORGÂNICOS DE ORIGEM ANIMAL E VEGETAL**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de “Doctor Scientiae”

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2006

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

V252c
2005

Vanegas Chacón, Eddi Alejandro, 1966-
Caracterização, decomposição e biodisponibilidade
de nitrogênio e fósforo de materiais orgânicos de origem
animal e vegetal / Eddi Alejandro Vanegas Chacón. –
Viçosa : UFV, 2005.
xvi, 143f. : il. ; 29cm.

Inclui apêndice.

Orientador: Eduardo de Sá Mendonça.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Fertilidade do solo. 2. Resíduos orgânicos como
fertilizantes. 3. Plantas - Efeito do nitrogênio. 4. Adubos
e fertilizantes. 5. Brachiaria - Nutrição. I. Universidade
Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22.ed. 631.422

EDDI ALEJANDRO VANEGAS CHACÓN

**CARACTERIZAÇÃO, DECOMPOSIÇÃO E
BIODISPONIBILIDADE DE NITROGÊNIO E FÓSFORO DE
MATERIAIS ORGÂNICOS DE ORIGEM ANIMAL E VEGETAL**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de “Doctor Scientiae”

APROVADA: 17 de março de 2006

Pesquisador Paulo César de Lima
(Conselheiro)

Prof. Ivo Ribeiro da Silva
(Conselheiro)

Prof. Ivo Jucksch

Prof. Ricardo Henrique Silva Santos

Prof. Eduardo de Sá Mendonça
(Orientador)

A Deus

Aos meus pais:

*Professor Ramiro Vanegas Vasquez e
Professora Maria Del Carmen Chacón
Gonzalez.*

AGRADECIMENTOS

Ao:

Professor Eduardo de Sá Mendonça, Orientador

Pesquisador Paulo César de Lima, Conselheiro

Professores Ivo Ribeiro da Silva e Reinaldo Cantarutti, Conselheiros

Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Solos, pela oportunidade da pesquisa, formação acadêmica e profissional e a CNPq como agência de pesquisa, pela concessão da bolsa de estudo.

Povo do Brasil, pela oportunidade.

BIOGRAFIA

EDDI ALEJANDRO VANEGAS CHACÓN, filho de Ramiro Vanegas Vasquez e Maria Del Carmen Chacón Gonzalez, nasceu na cidade da Guatemala, na Guatemala, em 30 de junho de 1966.

Durante os anos de 1984 a 1990, realizou estudos universitários de Agronomia na Universidad de San Carlos de Guatemala, obtendo o título de Ingeniero Agrónomo em Sistemas de Producción Agrícola.

Incorporou-se ao serviço docente como Professor Titular da Facultad de Agronomia da Universidad de San Carlos de Guatemala em janeiro de 1992.

De setembro de 1992 a maio de 1994, realizou Programa de Pós-Graduação, em nível de Mestrado, na especialidade Soil & Water Management, na Wageningen University, Holanda.

De 1994 a 2002, dedicou-se com devota abnegação ao serviço docente na Facultad de Agronomia da Universidade de San Carlos, na Guatemala, lecionando em nível de graduação, pos-graduação e realizando intercâmbio acadêmico com Volcani Center, Israel; Irrigation Institute of Southampton, Inglaterra; Waterloo University, Canadá; e Centro de Estudos da Água e a Terra dos Trópicos, Venezuela.

Em abril de 2002, iniciou o Programa de Pós-Graduação, em nível de Doutorado, em Solos e Nutrição de Plantas na Universidade Federal de Viçosa, no Estado de Minas Gerais, Brasil, aprovando a defesa de tese em março de 2006.

CONTEÚDO

	Página
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xv
INTRODUÇÃO GERAL	1
Literatura citada	3
CAPÍTULO I	
DECOMPOSIÇÃO DE ESTERCOS E MINERALIZAÇÃO DE FORMAS ORGÂNICAS DE NITROGÊNIO E FÓSFORO	
Resumo	5
Abstract	6
1. Introdução	7
2. Material e Métodos	8
3. Resultados e Discussão	10
4. Conclusões	20
5. Literatura citada	21
CAPÍTULO II	
DECOMPOSIÇÃO E MINERALIZAÇÃO DE FORMAS ORGÂNICAS DE NITROGÊNIO E FÓSFORO DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS E URBANOS	
Resumo	24
Abstract	25
1. Introdução	26
2. Material e Métodos	27
3. Resultados e Discussão	30
4. Conclusões	41
5. Literatura citada	42
CAPÍTULO III	
DECOMPOSIÇÃO DE MATERIAIS VEGETAIS E MINERALIZAÇÃO DE FORMAS ORGÂNICAS DE NITROGÊNIO E FÓSFORO	
Resumo	45
Abstract	46
1. Introdução	47
2. Material e Métodos	48
2.1 Experimentos de campo	48
2.2 Experimentos de laboratório	50
3. Resultados e Discussão	52
3.1 Decomposição de materiais vegetais	56
3.2 Liberação de nitrogênio	61
3.3 Liberação de fósforo	64
3.4 Agrupamento por similaridade	66
3.5 Mineralização do carbono	68
3.6 Mineralização de nitrogênio	71
3.7 Mineralização de fósforo	73
4. Conclusões	76
5. Literatura citada	77

CAPÍTULO IV

DECOMPOSIÇÃO DE COMPOSTOS E MINERALIZAÇÃO DE FORMAS ORGÂNICAS DE NITROGÊNIO E FÓSFORO

Resumo	81
Abstract	82
1. Introdução	83
2. Material e Métodos	84
3. Resultados e Discussão	87
4. Conclusões	99
5. Literatura citada	100

CAPÍTULO V

CRESCIMENTO E ABSORÇÃO DE NITROGÊNIO E FÓSFORO POR BRAQUIÁRIA EM LATOSSOLO ADUBADO COM DIFERENTES MATERIAIS ORGÂNICOS

Resumo	103
Abstract	104
1. Introdução	105
2. Material e Métodos	106
3. Resultados e Discussão	109
3.1 Produção de matéria seca	109
3.1.1 Sem adubação mineral	109
3.1.2 Com adubação mineral	110
3.1.2.1 Com adubação mineral de N	110
3.1.2.2 Com adubação mineral de P	110
3.2 Nitrogênio acumulado na parte aérea	114
3.2.1 Sem adubação mineral	114
3.2.2 Com adubação mineral de P	114
3.3 Fósforo acumulado na parte aérea	116
3.3.1 Sem adubação mineral	116
3.3.2 Com adubação mineral de N	117
3.4 Recuperação de nitrogênio pela braquiária	120
3.4.1 Sem adubação mineral	120
3.4.2 Com adubação mineral de P	120
3.5 Recuperação de fósforo pela braquiária	122
3.5.1 Sem adubação mineral	122
3.5.2 Com adubação mineral de N	122
4. Conclusões	124
5. Literatura citada	125

CAPÍTULO 6

CONSIDERAÇÕES FINAIS	128
-----------------------------------	------------

APÊNDICE

1.1 Valores observados acumulados de C-CO ₂ (mg C-CO ₂ /100 g de solo) para diferentes esterco	130
1.2 Valores observados acumulados de C-CO ₂ (mg C-CO ₂ /100 g de solo) para diferentes resíduos agroindustriais e urbanos	130
1.3 Valores observados acumulados de C-CO ₂ (mg C-CO ₂ /100 g de solo) para diferentes resíduos vegetais	131

1.3 Valores observados acumulados de C-CO ₂ (mg C-CO ₂ /100 g de solo) para diferentes compostos	131
2.1 Teores acumulados de nitrato e de amônio (mg kg ⁻¹) para diferentes esterco	132
2.2 Teores acumulados de nitrato e de amônio (mg kg ⁻¹) para diferentes resíduos agroindustriais e urbanos	133
2.3 Teores acumulados de nitrato e de amônio (mg kg ⁻¹) para diferentes resíduos vegetais	134
2.4 Teores acumulados de nitrato e de amônio (mg kg ⁻¹) para diferentes compostos	135
3.1 Extração seqüencial de fósforo inorgânico (P inorgânico mg kg ⁻¹), para diferentes esterco	136
3.2 Extração seqüencial de fósforo total (P total mg kg ⁻¹), para diferentes esterco	137
3.3 Extração seqüencial de fósforo inorgânico (P inorgânico mg kg ⁻¹), para diferentes resíduos agroindustriais e urbanos	138
3.4 Extração seqüencial de fósforo total (P total mg kg ⁻¹), para diferentes resíduos agroindustriais e urbanos	139
3.5 Extração seqüencial de fósforo inorgânico (P inorgânico mg kg ⁻¹), para diferentes resíduos vegetais	140
3.6 Extração seqüencial de fósforo total (P total mg kg ⁻¹), para diferentes resíduos vegetais	141
3.7 Extração seqüencial de fósforo inorgânico (P inorgânico mg kg ⁻¹), para diferentes compostos	142
3.8 Extração seqüencial de fósforo total (P total mg kg ⁻¹), para diferentes compostos	143

LISTA DE QUADROS

	Página
Capítulo I	
Quadro 1. Características químicas (resultados expressos com base na matéria seca) e umidade dos esterco, cama de frango (com maravalha) e cama de estábulo bovino	11
Quadro 2. Características bioquímicas de diferentes esterco	13
Quadro 3. Evolução e oxidação do carbono do solo tratado com esterco e testemunha (solo) durante o período de incubação. C-CO ₂ : carbono absoluto acumulado evoluído; C: carbono assimilado; Cox: total oxidado absoluto; C-CO ₂ ox: total oxidado relativo	14
Quadro 4. Estimadores dos parâmetros, intervalos de confiança assintóticos (IC): limite inferior (LI) e limite superior (LS), quadrado do coeficiente de correlação (R ²), dia em que ocorreu a taxa máxima de evolução e taxa máxima de evolução de C-CO ₂ de conformidade com o modelo de Hill	15
Quadro 5. Estimadores dos parâmetros, intervalos de confiança assintóticos (IC): limite inferior (LI) e limite superior (LS), quadrado do coeficiente de correlação (R ²) e teores observados acumulados de N inorgânico ao final do período de incubação para o solo tratado com esterco e testemunha (solo)	17
Quadro 6. Teores de P orgânico (Po) e inorgânico (Pi), antes e após duas semanas de incubação e Pi acumulado ao final do período de incubação para o solo tratado com esterco e testemunha (solo)	18
Quadro 7. Estimadores dos parâmetros, intercessão das equações (linear e constante) e quadrado do coeficiente de correlação (R ²). Ajuste do modelo linear response plateau aos teores de Pi para o solo tratado com esterco e testemunha (solo)	19
Capítulo II	
Quadro 1. Lugares de coleta dos resíduos	27
Quadro 2. Características químicas (resultados expressos com base na matéria seca) e umidade dos resíduos <i>in natura</i> e na forma de composto	31
Quadro 3. Caracterização bioquímica de diferentes resíduos	32
Quadro 4. Teores de carbono e nitrogênio total e nas frações húmicas extraídas dos compostos de lixo domiciliar e lodo de esgoto	33
Quadro 5. Evolução e oxidação do carbono do solo tratado com resíduos e testemunha (solo) durante o período de incubação. C-CO ₂ : carbono absoluto acumulado evoluído; C: carbono assimilado; Cox: total oxidado absoluto; C-CO ₂ ox: total oxidado relativo	34
Quadro 6. Estimadores dos parâmetros, intervalos de confiança assintóticos (IC): limite inferior (LI) e limite superior (LS), quadrado do coeficiente de correlação (R ²), dia em que ocorreu a taxa máxima de evolução e taxa máxima de evolução de C-CO ₂ de conformidade com o modelo de Hill	35
Quadro 7. Estimadores dos parâmetros, intervalos de confiança assintóticos (IC): limite inferior (LI) e limite superior (LS), quadrado do coeficiente de correlação (R ²) e teores observados acumulados de N inorgânico ao final do período de incubação para o solo tratado com diferentes resíduos e testemunha (solo)	37
Quadro 8. Teores de P orgânico e inorgânico, antes e após duas semanas de incubação e P inorgânico acumulado ao final do período de incubação para o solo tratado com diferentes resíduos e testemunha (solo)	38

Quadro 9. Estimadores dos parâmetros, intercessão das equações (linear e constante) e quadrado do coeficiente de correlação (R^2). Ajuste do modelo linear response plateau aos teores de Pi para o solo tratado com resíduos e testemunha (solo)	40
---	----

Capítulo III

Quadro 1. Características químicas dos solos das localidades Praia D'Anta e Pedra Redonda, Araçuaia, Minas Gerais	49
Quadro 2. Características químicas (resultados expressos com base na matéria seca) e umidade dos materiais vegetais	53
Quadro 3. Análise bioquímica dos materiais vegetais e relações lignina, nitrogênio, polifenóis	55
Quadro 4. Estimadores dos parâmetros, intervalos de confiança assintóticos, quadrado do coeficiente de correlação e meia vida da decomposição de materiais vegetais em: A) Praia D'Anta e B) Pedra Redonda	58
Quadro 5. Correlações entre as percentagens de massa seca remanescente e características químicas e bioquímicas dos materiais vegetais	59
Quadro 6. Estimadores dos parâmetros, quadrado do coeficiente de correlação e meia vida das percentagens de N remanescente em: A) Praia D'Anta e B) Pedra Redonda	63
Quadro 7. Correlações entre as percentagens de nitrogênio remanescente e características químicas e bioquímicas dos materiais vegetais	63
Quadro 8. Estimadores dos parâmetros, quadrado do coeficiente de correlação e meia vida das percentagens de P remanescente dos materiais vegetais em: A) Praia D'Anta e B) Pedra Redonda	66
Quadro 9. Evolução e oxidação do carbono do solo tratado com materiais vegetais e testemunha (solo) durante o período de incubação. C-CO ₂ : carbono absoluto acumulado evoluído; C: carbono assimilado; Cox: total oxidado absoluto; C-CO ₂ ox: total oxidado relativo	69
Quadro 10. Estimadores dos parâmetros, intervalos de confiança assintóticos (IC): limite inferior (LI) e limite superior (LS), quadrado do coeficiente de correlação (R^2), dia em que ocorreu a taxa máxima de evolução, e taxa máxima de evolução absoluta de C-CO ₂ de conformidade com o modelo de Hill	70
Quadro 11. Estimadores dos parâmetros, intervalos de confiança assintóticos (IC): limite inferior (LI) e limite superior (LS), quadrado do coeficiente de correlação (R^2) e teores observados acumulados de N inorgânico ao final do período de incubação para solo tratado com matérias vegetais e testemunha (solo)	72
Quadro 12. Teores de fósforo orgânico e inorgânico, antes e após duas semanas de incubação e fósforo inorgânico acumulado ao final do período de incubação para solo tratado com matérias vegetais e testemunha (solo)	73
Quadro 13. Estimadores dos parâmetros, intercessão das equações (linear e constante) e quadrado do coeficiente de correlação (R^2). Ajuste do modelo linear response plateau aos teores de Pi para o solo tratado com resíduos vegetais e testemunha (solo)	75

Capítulo IV

Quadro 1. Características químicas (resultados expressos com base na matéria seca) e umidade após a compostagem de materiais orgânicos, vermicomposto comercial e casca de café sem compostar	88
Quadro 2. Fibra insolúvel em detergente neutro e ácido, hemicelulose, celulose, lignina e proteína bruta para os diferentes compostos e casca de café sem compostar (resultados expressos com base na matéria seca)	89
Quadro 3. Teor de carbono e nitrogênio total e nas frações húmicas dos diferentes compostos e casca de café sem compostar	90
Quadro 4. Caracterização bioquímica de diferentes compostos e relações lignina, nitrogênio e polifenóis	92
Quadro 5. Evolução e oxidação do carbono do solo tratado com compostos e testemunha (solo) durante o período de incubação	93
Quadro 6. Estimadores dos parâmetros, intervalos de confiança assintóticos (IC): limite inferior (LI) e limite superior (LS), quadrado do coeficiente de correlação (R^2), dia em que ocorreu a taxa máxima de evolução, e taxa máxima de evolução de C-CO ₂ de conformidade com o modelo de Hill	94
Quadro 7. Estimadores dos parâmetros, intervalos de confiança assintóticos (IC): limite inferior (LI) e limite superior (LS), quadrado do coeficiente de correlação (R^2) e teores observados acumulados de N inorgânico durante o período de incubação	96
Quadro 8. Teores de P orgânico e inorgânico, antes e após três semanas de incubação e P inorgânico acumulado ao final do período de incubação para solo tratado com diferentes materiais e testemunha (solo)	97
Quadro 9. Estimadores dos parâmetros, intercessão das equações (linear e constante) e quadrado do coeficiente de correlação (R^2). Ajuste do modelo linear response plateau aos teores de Pi para o solo tratado com resíduos vegetais e testemunha (solo)	98

Capítulo V

Quadro 1. Localização de coleta dos materiais orgânicos	106
Quadro 2. Características químicas (resultados com base na matéria seca) e umidade dos materiais orgânicos	107
Quadro 3. Doses de materiais e resíduos orgânicos (com base na matéria seca) e conteúdo de N e de P	108
Quadro 4. Equações de regressão da produção de matéria seca acumulada da parte aérea da braquiária durante o período experimental sob influencia da adição de diferentes materiais orgânicos. Produção de matéria seca e incremento ou redução da matéria seca em relação à condição sem adubação mineral	113
Quadro 5. Equações de regressão para o conteúdo de N na parte aérea da braquiária sob influencia da adição de diferentes materiais orgânicos. Conteúdo de N recuperado ao final do período experimental	116
Quadro 6. Equações de regressão para o conteúdo de P na parte aérea da braquiária sob influencia da adição de diferentes materiais orgânicos. Conteúdo de P recuperado ao final do período experimental	119
Quadro 7. Percentual de recuperação de N (conteúdo) durante o período experimental sob influencia da adição de diferentes materiais orgânicos	121
Quadro 8. Percentual de recuperação de P (conteúdo) durante o período experimental sob influencia da adição de diferentes materiais orgânicos	123

LISTA DE FIGURAS

Página

Capítulo I

- Figura 1. Dispersão de escores e agrupamento por similaridade para os diferentes esterco G: esterco de galinha; S: esterco de suíno; Cp: esterco caprino; Ce: cama de estábulo, B: esterco bovino; Ca: cama de aviário; C: esterco de coelho e Ov: esterco de ovino 12
- Figura 2. Produção acumulada de C-CO₂ (mg/100 g de solo), para o solo tratado com diferentes esterco e testemunha (solo) durante o período de incubação 13
- Figura 3. Teores acumulados de N inorgânico para o solo tratado com esterco e testemunha (solo) durante o período de incubação 16
- Figura 4. Teores acumulados de P inorgânico (Pi) para o solo tratado com esterco e testemunha (solo) durante o período de incubação 19

Capítulo II

- Figura 1. Dispersão de escores e agrupamento por similaridade para os diferentes resíduos Fo: farinha de osso; Fco: farinha de carne e osso; Le: lodo de esgoto; Tm: torta de mamona; Tf: torta de filtro; L: composto de lixo domiciliar; Vc: vinhaça de cachaça e Va: vinhaça de álcool 30
- Figura 2. Produção acumulada de C-CO₂ (mg/100 g de solo), para o solo tratado com diferentes resíduos e testemunha (solo) durante o período de incubação 34
- Figura 3. Teores acumulados de N inorgânico para o solo tratado com resíduos e testemunha (solo) durante o período de incubação 36
- Figura 4. Teores não acumulados de fósforo inorgânico (Pi) e orgânico (Po) do tratamento com composto de lodo de esgoto durante o período de incubação 39
- Figura 5. Teores acumulados de P inorgânico (Pi) para o solo tratado com resíduos e testemunha (solo) durante o período de incubação 40

Capítulo III

- Figura 1. Percentagens de matéria seca remanescente para diferentes materiais vegetais ao longo do período experimental 57
- Figura 2. Percentagens de massa seca remanescente do ingá e caruru e pluviosidade média anual (mm) registradas durante o período de experimentação. Localidade de Praia D' Anta 60
- Figura 3. Percentagens de nitrogênio remanescente nos materiais vegetais durante o período experimental 62
- Figura 4. Percentagens de P remanescente nos materiais vegetais durante o período de experimentação 65
- Figura 5. Dispersão de escores, primeiro agrupamento. B: braquiária; S: mucuna; Cp: calopogônio; Cr: crotalária; A: caruru; C: guandu; I: ingá e L: leucena 67
- Figura 6. Dispersão de escores, segundo agrupamento. S: mucuna; Cp: calopogônio; Cr: crotalária; A: caruru e C: guandu 67
- Figura 7. Produção acumulada de C-CO₂ (mg/100 g de solo) para o solo tratado com diferentes materiais vegetais e testemunha (solo) durante o período de incubação 68

Figura 8. Teores acumulados de N inorgânico para o solo tratado com materiais vegetais e testemunha (solo) durante o período de incubação	71
Figura 9. Teores acumulados de P inorgânico (Pi) para o solo tratado com materiais vegetais e testemunha (solo) durante o período de incubação	74

Capítulo IV

Figura 1. Dispersão de escores, agrupamento por similaridade para os diferentes compostos V: vermicomposto; Pc: palha de café com chorume; MChc: mucilagem com chorume e casca de café; Ce: cama de estábulo com pergaminho de café; BC: esterco bovino com casca de café e C: casca de café sem compostar	91
Figura 2. Produção acumulada de C-CO ₂ (mg/100 g de solo) para o solo tratado com diferentes materiais e testemunha (solo) durante o período de incubação	93
Figura 3. Teores acumulados de N inorgânico para o solo tratado com compostos e testemunha (solo) durante o período de incubação	95
Figura 4. Teores acumulados de fósforo inorgânico (Pi) para solo tratado com diferentes matérias e testemunha (solo) durante o período de incubação	98

Capítulo V

Figura 1. Produção de matéria seca acumulada da parte aérea da braquiária durante o período experimental sob influencia da adição de diferentes materiais orgânicos	112
Figura 2. Conteúdo de N na parte aérea da braquiária durante o período experimental sob influencia da adição de diferentes materiais orgânicos	115
Figura 3. Conteúdo de P na parte aérea da braquiária ao longo do período experimental sob influencia da adição de diferentes materiais orgânicos	118

RESUMO

VANEGAS CHACÓN, Eddi Alejandro. D.S. Universidade Federal de Viçosa, março de 2006. **Caracterização, decomposição e biodisponibilidade de nitrogênio e fósforo de materiais orgânicos de origem animal e vegetal.** Orientador: Eduardo de Sá Mendonça. Conselheiros: Paulo César de Lima, Ivo Ribeiro da Silva e Reinaldo Bertola Cantarrutti.

Neste trabalho são apresentados resultados de experimentos realizados em laboratório, casa de vegetação e campo, visando a caracterização química e bioquímica de materiais orgânicos: esterco *in natura*, resíduos agroindustriais e urbanos, materiais vegetais e compostos elaborados com casca de café, com o objetivo de avaliar a sua decomposição, mineralização de formas orgânicas de N e P, bem como a sua recuperação por *Brachiaria decumbens*. Esta informação será base para elaborar programas de adubação orgânica. A caracterização química dos materiais consistiu da determinação de matéria orgânica, carbono orgânico, teores de macro e micronutrientes e elementos traços; e a caracterização bioquímica determinou carbono solúvel em água, carboidratos totais solúveis, polifenóis totais solúveis e a capacidade dos polifenóis em complexar proteína. Adicionalmente, para os materiais vegetais, foram determinados os teores de fibra insolúvel em detergente neutro e ácido, hemicelulose, celulose e lignina; e para os compostos foi realizado o fracionamento das substâncias húmicas, determinando nelas os teores de carbono e de nitrogênio. A decomposição foi avaliada por meio de experimentos de respirometria, e a mineralização de nitrogênio e fósforo, por ensaios de incubação em ambiente controlado: umidade a 80% da capacidade de campo e temperatura de $25 \pm 1^\circ\text{C}$. Para os materiais vegetais foram determinadas as percentagens de perda de biomassa em termos de matéria seca e liberação de nitrogênio e fósforo total utilizando o método das sacolas de decomposição. A biodisponibilidade de nitrogênio e fósforo foi quantificada mediante experimentos que avaliaram o crescimento e a absorção por *Brachiaria decumbens* em Latossolo adubado com diferentes materiais orgânicos. Os resultados indicaram que os esterco e materiais vegetais forneceram principalmente nitrogênio, e as farinhas de carne e osso, fósforo. Para um período de incubação de 30 dias, os materiais que apresentaram maior decomposição foram *Crotalaria juncea* (439,80 mg CO₂/100 g de solo) e *Brachiaria decumbens* (425,76 mg CO₂/100 g de solo), seguidos do esterco de galinha (380,25 mg CO₂/100 g de solo) e da farinha de carne e osso (363,48 mg CO₂/100 g de solo).

Os materiais com maior potencial de mineralização de nitrogênio para um período de 60 dias de incubação foram o vermicomposto ($1.625 \text{ mg N kg}^{-1}$), composto de mucilagem com chorume e casca de café ($1.163 \text{ mg N kg}^{-1}$), *Crotalaria juncea* (792 mg N kg^{-1}), composto de lodo de esgoto ($4.500 \text{ mg N kg}^{-1}$) e lixo domiciliar ($2.000 \text{ mg N kg}^{-1}$). Os materiais que aportaram maiores teores de fósforo inorgânico ao solo durante um período de 45 dias de incubação foram a farinha de carne e osso ($1.144 \text{ mg P kg}^{-1}$), seguida dos esterco de suíno (579 mg P kg^{-1}), e de galinha (484 mg P kg^{-1}) e do composto de lodo de esgoto (206 mg P kg^{-1}). No campo, a matéria seca remanescente dos materiais vegetais durante um período de decomposição de 150 dias na localidade Praia D'Anta em Araponga, MG., permitiu identificar materiais de rápida decomposição *Amaranthus spinosus* e *Stizolobium aterrimum*, intermediária *Calopogonium muconoides*, *Crotalaria juncea*, *Cajanus cajan* e *Leucaena leucocephala*, e lenta *Brachiaria decumbens* e *Inga edulis*. O processo de decomposição e mineralização dos materiais vegetais foi governado pelas suas características bioquímicas, em especial a relação lignina+polifenóis/nitrogênio ($r = -0,88^{**}$) e a capacidade dos polifenóis em complexar proteína ($r = -0,86^{**}$). No que se refere à liberação de nitrogênio, destacaram-se *Amaranthus spinosus* e *Crotalaria juncea*, e na liberação de fósforo, *Cajanus cajan* e *Stizolobium aterrimum*. Na localidade da Pedra Redonda em Araponga, MG., as percentagens de decomposição dos materiais foram, em média, 18% menores, devido ao efeito depressor de fatores edafoclimáticos (maior altitude, menor temperatura, evaporação e umidade do solo), o que, em média, reduziu a liberação de nitrogênio (8%) e fósforo (6%). A adubação orgânica de *Brachiaria decumbens* indicou que, quando houve correção de fósforo no solo, a produção de biomassa incrementou em todos os tratamentos, com exceção da farinha de carne e osso, que reduziu 50%. O fósforo foi limitante no aproveitamento do nitrogênio proveniente de esterco de galinha, *Crotalaria juncea*, *Leucaena leucocephala* e casca de café; e o nitrogênio, no aproveitamento do fósforo, proveniente de vermicomposto. Os materiais que apresentaram maior potencial agrônomico, confirmado pela maior produção de biomassa e acúmulo de nitrogênio e fósforo por *Brachiaria decumbens*, foram os esterco de galinha e de suíno, vermicomposto e farinha de carne e ossos.

ABSTRACT

VANEGAS CH., Eddi Alejandro. D.S. Universidade Federal de Viçosa, march de 2006. **Characterization, decomposition and mineralization of nitrogen and phosphorus of organic materials from animals and plants.** Adviser: Eduardo de Sá Mendonça. Committee de Members: Paulo César de Lima, Reinaldo Bertola Cantarrutti, and Ivo Ribeiro da Silva.

This work presents results of a set of experiments carried out under laboratory, green house and field conditions regarding to the chemical and biochemical characterization of organic materials: raw animal manures, industrial residues, green manures and composts elaborated with coffee husk. With the objective to evaluated their decomposition, mineralization of organic forms of N and P, and nutrient recovery by *Brachiaria decumbens*. This information will be the base to build up organic fertility programs. The chemical characterization of the organic materials included the determination of organic matter, total organic carbon, macro and micronutrients and trace elements; the biochemical characterization, included water-soluble carbon, total soluble carbohydrates, total soluble polyphenols and polyphenol's capability to complex protein. Furthermore, for the green manures was determined the insoluble fiber in neutral and acid detergent, hemicellulose, cellulose, and lignin content; for the composts the humic fractionation was performed, and the carbon and nitrogen content were determined in those fractions. The decomposition was evaluated through respiration experiments and the organic nitrogen and phosphorus mineralization by incubation experiments under controlled environmental conditions: humidity at 80% of the field capacity and temperature of $25 \pm 1^\circ\text{C}$. For the green manures the percentages of biomass, as a dry matter loss, and release of total nitrogen and phosphorous were evaluated using the litterbag method. The nutrient bioavailability was quantified through experiments that evaluated the growth and nutrient uptake of nitrogen and phosphorus by *Brachiaria decumbens* in an Oxisol fertilized with different organic materials. The results indicated that animal manures and green manures were good sources of nitrogen, and the meat and bone meal of phosphorus. For an incubation period of 30 days, the materials with greater decomposition were *Crotalaria juncea* (439,80 mg CO₂/100 g of soil) and *Brachiaria decumbens* (425,76 mg CO₂/100 g of soil); followed by chicken manure

(380,25 mg CO₂/100 g of soil) and meat and bone meal (363,48 mg CO₂/100 g of soil). For an incubation period of 60 days, the materials with greater potential of nitrogen mineralization were earthworm compost (1625 mg N kg⁻¹), compost of mucilagen with swine slurry and coffee husk (1163 mg kg⁻¹), *Crotalaria juncea* (792 mg N kg⁻¹), composts of sewage sludge (4500 mg N kg⁻¹) and town wastes (2000 mg N kg⁻¹). The materials that release greater quantities of inorganic phosphorus to the soil for an incubation period of 45 days were the meat and bone meal (1144 mg P kg⁻¹), followed by pig manure (579 mg P kg⁻¹), chicken manure (484 mg P kg⁻¹) and compost of sewage sludge (206 mg P kg⁻¹). Under field conditions for a period of 150 days, the loss of dry matter allowed to identify in Praia D'Anta, Araponga, MG., green manures of rapid decomposition *Amaranthus spinosus* and *Stizolobium aterrimum*, *Calopogonium muconoides*; intermediary *Crotalaria juncea*, *Cajanus cajan* and *Leucaena leucocephala*; and low *Brachiaria decumbens* and *Inga edulis*. The process of decomposition and mineralization of green manures was controlled by their biochemical characteristics, especially the lignin+polyphenols/nitrogen ratio ($r = -0,88^{**}$), and the polyphenol's capability to complex protein ($r = -0,86^{**}$). The materials with greater release of nitrogen were *Amaranthus spinosus* and *Crotalaria juncea*, and regarding to the release of phosphorus were *Cajanus cajan* and *Stizolobium aterrimum*. In Pedra Redonda, Araponga, MG., the percentages of decomposition of the different materials as an average were 18% lower due to the negative effect of soil and environmental conditions (higher altitude, lower temperature, evaporation and soil humidity). Such condition also reduced mean nitrogen (8%) and phosphorus (6%) mineralization. The organic fertilization of *Brachiaria decumbens* indicated that when the soil was amended with phosphorus, the biomass increased for all the treatments, except to the meat and bone meal that was reduced by 50%. The phosphorus was a limiting factor for the uptake of nitrogen from the chicken manure, *Crotalaria juncea*, *Leucaena leucocephala*, and coffee husk; and the nitrogen was limiting to the uptake of phosphorus from the earthworm compost. The organic material with greater agronomy potential as indicated by the biomass production and nitrogen and phosphorus uptake by *Brachiaria decumbens* were the chicken and pig manures, earthworm compost and meat and bone meal.

INTRODUÇÃO GERAL

O estudo da dinâmica da decomposição de materiais orgânicos e mineralização de nutrientes surge como resposta à crescente demanda por conhecimento dos processos que regem os sistemas agrícolas de produção orgânica (Lampkin & Padel, 1994). A conservação da matéria orgânica nos sistemas de produção agrícolas como um dos principais fatores na produtividade do solo tem recebido atenção como indicador do equilíbrio ecológico nos trópicos (Hauser et al., 2005). Conseqüentemente, a adição de matéria orgânica ao solo na forma de insumo agrícola é importante na recuperação das perdas anuais de carbono, melhorando a qualidade física, química e biológica do solo (Goyal et al., 1999). Essas premissas se tornam verdadeiras principalmente para solos muito intemperizados e vulneráveis à degradação (Vargas & Hungria, 1997). Entre as principais fontes de matéria orgânica com potencial fertilizante podem-se mencionar: resíduos gerados nos processos agroindustriais, como palhas, esterco, farinhas e tortas; resíduos domésticos e urbanos, como lixo e lodo de esgoto; e materiais vegetais (Guimarães et al., 2002), cujo uso agrícola tem sido amplamente reportado (Kiehl, 1985; Nicholson et al., 1996; Velthof et al., 1998).

Uma característica muito particular desses materiais relaciona-se ao fato de que seus nutrientes, exceto o potássio, encontram-se predominantemente na forma orgânica (Kiehl, 1999). Assim, para serem absorvidos pelas plantas há necessidade da sua transformação para as formas inorgânicas, por meio do processo de mineralização (Moreira & Siqueira, 2002). A incorporação dos materiais orgânicos ao solo incrementa o fluxo de carbono no sistema, sendo utilizado como energia pelos microrganismos (Mengel, 1996), promovendo uma série de transformações biológicas de nutrientes. De maneira geral, materiais com relações C/N/P/S baixas apresentam mineralização, enquanto aqueles com relações altas mostram imobilização (Mary et al., 1996; Stevenson & Cole, 1999). A capacidade do solo de fornecer nutrientes à planta dependerá da natureza primária da matéria orgânica do solo e do tipo de material utilizado (Janssen, 1996; Palm & Sanchez, 1991), do clima

(Quemada & Cabrera, 1997), do tipo de solo (Cordovil et al., 2005) e da sua microbiota (Paul & Clarck, 1996).

Devido à heterogeneidade e diversidade de origem dos materiais orgânicos, quando adicionados ao solo é importante enfatizar que, para sua utilização como insumos agrícolas deve-se considerar o seu potencial fertilizante, com ênfases no N e P, limitantes no desenvolvimento das culturas na maior parte dos solos tropicais (Sanchez & Logan, 1992), a fertilidade do solo e as necessidades de cada cultura (Ribeiro et al., 1999).

Este estudo objetivou caracterizar química e bioquimicamente esterco *in natura*, resíduos industriais, materiais vegetais e compostos; avaliar a sua decomposição, a biodisponibilidade de formas orgânicas de N e P após a sua incorporação ao solo, bem como determinar o crescimento e absorção de nutrientes por plantas de brachiaria.

Literatura citada

- CORDOVIL, C.M.; COUTINHO, J.; GROSS, M.; CABRAL, F. Potentially mineralizable nitrogen from organic materials applied to a sandy soil: fitting the one pool exponential model. *Soil Use Manag.*, 21:65-72, 2005.
- GOYAL, S.; CHANDER, K.; MUNDRA, M.C.; KAPOOR, K.K. Influence of inorganic fertilizers and organic amendments on soil organic matter and soil microbial properties under tropical conditions. *Biol. Fert. Soils*, 29:196–200, 1999.
- GUIMARÃES, P.T.; NOGUEIRA, F.D.; LIMA, P.C.; GUIMARÃES, M.J.; POZZA, A. A. Adubação e nutrição do cafeeiro em sistema orgânico de produção. *Inf. Agropec.*, 214/215:63-81, 2002.
- HAUSER, S.; GANG, E.; NORRGROVE, L.; BIRANG, M. Decomposition of plant material as an indicator of ecosystem disturbance in tropical land use systems. *Geoderma*, 129:99-108, 2005.
- JANSSEN, B.H. Nitrogen mineralization in relation of C:N ratio and decomposability of organic materials. *Plant Soil*, 181:39–45, 1996.
- KIEHL, E. J. Fertilizantes organominerais. São Paulo: Piracicaba, 1999. p. 19-22.
- KIEHL, E.J. Fertilizantes orgânicos. Piracicaba: CERES, 1985. p. 407-459.
- LAMPKIN, N.H. & PADEL, S. The economics of organic farming. An International Perspective. Wallingford: CAB International, 1994. 468 p.
- MARY, B.; RECOUS, S.; DARWLS, D.; ROBIN, D. Interactions between decomposition of plant residues and nitrogen cycling in soils. *Plant Soil* 181:71–82, 1996.
- MENGEL, K. Turnover of organic nitrogen in soils and its availability to crops. *Plant Soil*, 181:83–93, 1996.
- MOREIRA, F.M.S. & SIQUEIRA, J.O. Microbiologia e bioquímica do solo. Lavras:UFLA. 2002. p. 191-241.
- NICHOLSON, F.A.; CHAMBERS, B.J.; SMITH, K.A. Nutrient composition of poultry manures in England and Wales. *Biores. Technol.*, 58:279–284, 1996.
- PALM, C.A. & SANCHEZ, P.A. Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents. *Soil Biol. Biochem.*, 23:83-88, 1991.
- PAUL, E. A. & CLARK, F. E. Dynamics of residue decomposition and soil organic matter turnover. In: *SOIL microbiology and biochemistry*. 2nd ed. San Diego: Academic, 1996. p. 158-179.

- QUEMADA, M. & CABRERA, M.L. Temperature and moisture effects on C and N mineralization from surface applied clover residue. *Plant Soil*, 189:127-137, 1997.
- RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃEZ, P.T. & ALVAREZ, V.H. Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes para o estado de Minas Gerais: 5^a aproximação. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359 p.
- SANCHEZ, P. A. & LOGAN, T.J. Myths and science about the chemistry and fertility of soils in the tropics. In: LAL, R. & SANCHEZ, P.A. (Eds). *Myths and science of soils in the tropics*. SSA Spec. Pub., 29:35-46, 1992.
- STEVENSON, F.J. & COLE, M.A. Cycles of soil: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients. New York: John Willey & Sons. 1999 p. 66-68.
- VARGAS, M.A. & HUMGRIA, M. (Ed.). *Biologia dos solos dos cerrados*. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1997. 524 p.
- VELTHOF, G.L.; VAN BEUSICHEM, M.L.; RAIJMAKERS, W.M.F.; JANSSEN, B.H. Relationship between availability indices and plant uptake of nitrogen and phosphorus from organic products. *Plant Soil*, 200:215-226, 1998.

CAPÍTULO I

DECOMPOSIÇÃO DE ESTERCOS E MINERALIZAÇÃO DE FORMAS ORGÂNICAS DE NITROGÊNIO E FÓSFORO

Resumo: Esterco *in natura* provenientes da criação de bovinos de leite, suínos, caprinos, ovinos e coelhos de corte, galinhas poedeiras, camas de frango (com maravalha) e de estábulo de bovinos foram avaliados quanto a sua decomposição e mineralização de formas orgânicas de N e P, quando incorporados a amostras de solo do horizonte B de um Latossolo Vermelho-Amarelo argiloso, sem correção de acidez, em condições de ambiente controlado. Os materiais foram caracterizados química e bioquimicamente, quantificando seu potencial fertilizante mediante a implementação de ensaios de decomposição e mineralização de formas orgânicas de N e P, por meio de ensaios de incubação. Para um período de incubação de 30 dias, a incorporação dos esterco *in natura* às amostras de solo promoveu a evolução de quantidades acumuladas de C-CO₂ que se correlacionaram positivamente com o C solúvel em água ($r = 0,87^{**}$) e carboidratos ($r = 0,99^{**}$), indicando a relação existente entre a evolução de C-CO₂ e as formas facilmente biodegradáveis do C. Para um período de 60 dias de incubação, os teores acumulados de nitrogênio inorgânico (NH₄⁺ + NO₃⁻) correlacionaram-se negativamente com a capacidade dos polifenóis em complexar proteína ($r = -0,93^{**}$); ao final do período de incubação o tratamento com esterco de coelho mineralizou o maior teor (1.400 mg N kg⁻¹), e com esterco de suíno, o menor (688 mg N kg⁻¹). Após um período de incubação de 45 dias, a forma predominante de P foi a orgânica, com média de 380,50 mg P kg⁻¹, cuja maior taxa de mineralização ocorreu principalmente durante as primeiras duas semanas de incubação, diminuindo posteriormente. Ao final do período de incubação, o tratamento com esterco suíno apresentou o maior teor (579 mg P kg⁻¹) e com esterco bovino, o menor (137 mg P kg⁻¹). Os teores acumulados de P mineralizado correlacionaram-se positivamente com os teores iniciais do P orgânico ($r = 0,95^{**}$) e negativamente com a relação C/P ($r = -0,75^{**}$) dos esterco.

Termos de indexação: esterco, respiração do solo, mineralização, nitrogênio, fósforo.

CHAPTER I

DECOMPOSITION OF ANIMAL MANURES AND MINERALIZATION OF NITROGEN AND PHOSPHORUS FROM ORGANIC FORMS

Abstract: Raw manures from cows, pigs, goats, sheeps, rabbits, hens and litters used in the breeding of chickens and dairy farms were evaluated regarding their decomposition and mineralization of organic forms of N and P, when incorporated to a soil samples from an B horizon of an Oxisol, without acidity correction, under controlled environmental conditions. The materials were chemically and biochemically characterized, quantifying their fertility potential through a decomposition experiment and mineralization of organic forms of nitrogen and phosphorus by incubation experiments. For an incubation period of 30 days, the incorporation of raw manures in the soil samples promoted cumulative quantities of C-CO₂ that positively correlated with the water soluble organic carbon ($r = 0,87^{**}$) and carbohydrates content ($r = 0,99^{**}$) indicating the relationship between evolution of C-CO₂ and the easily biodegradable carbon. For an incubation period of 60 days, the cumulative content of inorganic nitrogen (NH₄⁺ + NO₃⁻) was negativity correlated with polyphenol's capability to complex protein ($r = -0,93$); at the end of the incubation period the higher content of mineralized nitrogen was for the treatment with rabbit manure (1400 mg N kg⁻¹) and the lower for the one with pig manure (688,56 mg N kg⁻¹). For an incubation period of 45 days, phosphorus was predominantly in the organic form, with average content of 380,50 mg P kg⁻¹, which mineralization rate was greater during the first two weeks, decreasing afterwards. To the end of the incubation period the treatment with pig manure mineralized the higher P content (578,80 mg P kg⁻¹) and the one with cow manure, the lower (137,39 mg P kg⁻¹). The cumulate content of inorganic phosphorus was positively correlated with the initial organic P content ($r = 0,95^{**}$) and negatively with the C/P ratio ($r = -0,75^{**}$) of the manures.

Index terms: animal manures, soil respiration, mineralization, nitrogen, phosphorus.

1. Introdução

As atividades de produção pecuária de caráter intensivo geram grandes quantidades de esterco, o que tem motivado a utilização de várias técnicas para sua eliminação e beneficiamento. Alguns exemplos incluem incorporação ao solo como fertilizante, produção de biogás e de nitrato, hidrólises, hidrogenação, compostagem e substrato na síntese de proteínas (Mikkelsen, 2000). Na perspectiva agrícola, o uso dos esterco como fertilizantes orgânicos representa adubação, proteção ambiental e conservação de recursos naturais.

O valor nutricional dos esterco está relacionado ao conteúdo químico dos alimentos utilizados na criação animal (Kiehl, 1985). Durante a digestão, parte dos nutrientes, vitaminas e minerais ingerida é retida pelos animais. A maior parte dos nutrientes é excretada via urina e fezes; aproximadamente 75% do N, 80% do P e 85% do K ingeridos por animais adultos são excretados (Tedesco et al., 1999). A incorporação de dejetos animais ao solo tem incrementado o teor de matéria orgânica, a estabilidade de agregados, a capacidade de armazenamento de água, a infiltração, a condutividade hidráulica e reduzido a densidade aparente do solo e a taxa de evaporação (Eck & Stewart, 1995). Também, a adição de material orgânico favorece a solubilização microbiana do fosfato, sendo esse efeito relacionado com a natureza do material aplicado (Moreira & Siqueira, 2002). Esses autores afirmam que a solubilização do P no solo pode resultar da produção de CO₂ e de ácidos orgânicos oriundos da mineralização do C-orgânico e da produção de enzimas e compostos quelantes e complexantes pela microbiota.

A natureza dos esterco e sua mineralização são muito heterogêneas. A solubilidade e as formas orgânicas ou inorgânicas dos nutrientes provenientes dos esterco dependerão do tipo e idade dos animais, da forma de exploração e do pH do meio onde estes se encontram (Tedesco et al., 1999). A decomposição de esterco *in natura* apresenta elevada produção de C-CO₂, comparada à incorporação na forma de composto (Moral et al., 2005). Imobilização de N imediatamente depois da aplicação de esterco *in natura* tem sido reportada por vários autores (Kirchmann & Lundvall, 1993; Morvan et al., 1997), mas posteriormente ocorre liberação rápida de nutrientes, principalmente nitrato, o que pode levar à contaminação do lençol freático pela lixiviação (Eck & Stewart, 1995; Olesen et al., 1997).

O uso eficiente dos esterco como fertilizantes requer o conhecimento das suas características e dinâmica de mineralização, na condição local. Partindo da hipótese de que o tipo de esterco interfere no processo de decomposição e dinâmica de mineralização, os objetivos deste trabalho foram: caracterizar química e bioquimicamente esterco, cama de frango e cama de estábulo bovino; e avaliar a sua decomposição e mineralização de formas orgânicas de N e P, após a incorporação ao solo em ambiente controlado.

2. Material e Métodos

Foram usados esterco *in natura*, provenientes da criação de bovinos de leite, suínos, caprinos, ovinos e coelhos de corte, galinhas poedeiras, camas de frango (com maravalha) e de estábulo de bovinos de leite coletados nas unidades de produção do departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa. Utilizou-se amostragem simples ao acaso, coletando-se cinco medidas de 320 cm³ por material amostrado, as quais foram usadas posteriormente para obtenção de amostras compostas.

Para caracterização química, três subamostras de cada tipo de esterco foram secas em estufa com circulação forçada de ar a 65°C durante 72 horas, e então moídas e passadas em peneira com malha de 2 mm. Esses materiais foram caracterizados quanto ao teor de matéria orgânica total, pelo método da perda por ignição (Kiehl, 1985); teor de C orgânico total, por oxidação úmida com aquecimento externo (Yeomans & Bremner, 1988); N total pelo método Kjeldahl; elementos totais após digestão nítrico-perclórica, determinando nos extratos os teores de S, Al, Fe, Mn, Cu, Cr, Cd, Pb e Zn, por espectrometria de emissão de plasma; Ca e Mg, por espectrofotometria de absorção atômica; K, por espectrometria de emissão de chama; e P, por colorimetria (Murphy & Riley, 1962).

Com base nos resultados de teores de C e macronutrientes, objetivou-se formar grupos diferentes de materiais, empregando análise multivariada, com a técnica de componentes principais (Ribeiro Junior, 2001). Após o agrupamento, selecionaram-se materiais representativos de cada grupo para caracterização bioquímica e realização de ensaios de decomposição e mineralização de formas orgânicas de N e P. A caracterização bioquímica consistiu da determinação do C solúvel em água, por colorimetria, utilizando Mn(III)-pirofosfato em meio ácido como agente oxidante (Bartlett & Ross, 1988); carboidratos totais solúveis, pelo método da antrona (Brink

et al., 1960); polifenóis totais solúveis, extraídos com metanol (50%) e determinados por colorimetria, utilizando-se o reagente de Folin-Denis; e capacidade dos polifenóis em complexar proteína, pelo método Blue-Dye Labelled Bovine Serum Albumin (BSA), (Anderson & Ingram, 1996).

Nos ensaios de decomposição e mineralização utilizaram-se amostras de um solo seco e peneirado com malha de 2 mm, proveniente do horizonte B de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico argiloso, sem correção de acidez e com as seguintes características: pH em água de 4,57; 0,6 mg P dm⁻³; 6 mg K dm⁻³; H+Al de 5,9 cmol_c dm⁻³; soma de bases trocáveis (SB) de 0,04 cmol_c dm⁻³; capacidade de troca catiônica (CTC) de 5,94 cmol_c dm⁻³; capacidade máxima de adsorção de P (CMAP) de 1,32 mg g⁻¹ e teor de matéria orgânica de 3,08 dag kg⁻¹. A massa equivalente a 2 g de C de cada esterco foi misturada a 100 g de solo seco (Paul & Clark, 1996) e acondicionada em potes plásticos cilíndricos, com 15 cm de altura e 10 cm de diâmetro (unidade experimental). Também foi incluída uma testemunha (apenas solo). O experimento foi conduzido por 30 dias, com umidade equivalente a 80% da capacidade de campo, e temperatura de 25 ± 1°C em câmara de incubação, segundo delineamento experimental inteiramente casualizado, com quatro repetições.

Nas unidades experimentais, colocaram-se copos plásticos de 50 cm³ onde o C-CO₂ respirado foi capturado em solução de NaOH 0,5 mol L⁻¹, formando carbonato com a adição de BaCl₂ 0,05 mol L⁻¹ e dosado por meio de titulação com HCl 0,25 mol L⁻¹. Foram feitas quantificações a cada dois dias (sete determinações) inicialmente e a cada três dias (cinco determinações) posteriormente. A massa de C-CO₂ evoluída foi expressa em termos absolutos (Anderson, 1966) e a cinética de decomposição, ajustada pelo modelo de saturação de Hill (Morgan et al., 1975):

$$Y = \frac{\alpha * X^\delta}{\gamma + X^\delta} + \varepsilon$$

em que:

Y= CO₂ evoluído (mg CO₂/100 g de solo);

α = parâmetro relativo à assíntota, que caracteriza a saturação;

γ = parâmetro de crescimento da função, chamado também de constante do processo;

δ = ordem aparente do processo;

X = tempo; e

ε = erro aleatório.

Nas análises estatísticas adotou-se o esquema de parcelas subdivididas em função do tempo, no qual os materiais selecionados corresponderam às parcelas e as avaliações sucessivas às subparcelas. Análise de variância, teste de médias (Tukey, $\alpha=0,05$) e regressão foram realizados utilizando o programa SAEG.

Utilizando o mesmo critério de incubação do ensaio de decomposição, avaliou-se a mineralização de formas orgânicas de N e P durante oito e seis semanas, respectivamente. Em amostras coletadas semanalmente, foram determinados o nitrogênio amoniacal ($N-NH_4^+$) e o nítrico ($N-NO_3^-$), extraídos com KCl 1 mol L⁻¹ e determinados por colorimetria segundo Kempers & Zweers (1986) e Yang et al. (1998), respectivamente. O N inorgânico (Ni) foi calculado como a soma do $N-NH_4^+$ + $N-NO_3^-$. O modelo exponencial simples foi ajustado aos teores observados acumulados de N inorgânico:

$$Ni = A e^{k t}$$

em que:

Ni = teor acumulado de N inorgânico;

A= teor de N inorgânico proveniente do compartimento facilmente mineralizável;

k= taxa constante de mineralização; e

t= tempo.

Também foram determinados o P inorgânico (Pi) e o P total (Pt), mediante fracionamento químico das formas lábeis (extração com água, resina de troca aniônica e bicarbonato 0,5 mol L⁻¹), com base no método de Hedley et al. (1982), modificado. O P orgânico (Po) foi obtido pela diferença entre Pt e Pi. O modelo linear response plateau foi ajustado aos teores observados acumulados de Pi. O experimento também foi instalado em delineamento experimental inteiramente casualizado com quatro repetições, em esquema de parcelas subdivididas no tempo; as análises estatísticas foram realizadas da mesma forma anteriormente descrita.

3. Resultados e Discussão

As características dos materiais indicaram que os esterco são fontes de matéria orgânica com pouca variação no teor de C orgânico (Quadro 1). O esterco de galinha e a cama de frango apresentaram os maiores teores de N, P, K e Ca; a cama de estábulo, de S e K; e o esterco de suíno, de Mg e teores intermediários de P e S.

Quadro 1. Características químicas (resultados expressos com base na matéria seca) e umidade de esterco, cama de frango (com maravalha) e cama de estábulo bovino

VARIÁVEL	Unidade	MATERIAL								Média	CV (%)
		Esterco de galinha	Esterco de suíno	Esterco de bovino	Esterco de coelho	Esterco de caprino	Esterco De ovino	Cama de frango	Cama de estábulo		
MO	dag kg ⁻¹	69,28	74,41	91,13	85,17	89,04	87,55	74,84	74,29	80,71	10,37
C	dag kg ⁻¹	31,31	41,93	41,30	35,56	39,96	41,43	40,18	38,80	38,81	9,38
N	dag kg ⁻¹	4,03	2,74	2,08	1,93	2,25	1,80	3,05	1,66	2,44	32,58
P	dag kg ⁻¹	1,95	1,45	0,75	1,29	0,68	0,61	1,64	0,45	1,10	50,08
S	dag kg ⁻¹	0,35	0,39	0,28	0,21	0,25	0,33	0,44	0,63	0,36	36,70
C/N		9	18	23	21	21	27	15	27	20	30,19
C/P		41	75	142	71	152	175	63	223	118	54,53
C/S		239	287	93	452	426	335	244	164	317	31,91
Ca	dag kg ⁻¹	6,72	5,61	0,64	1,36	0,61	0,96	7,34	0,97	3,02	98,13
Mg	dag kg ⁻¹	0,46	0,99	0,61	0,73	0,22	0,71	0,48	0,70	0,61	37,45
K	dag kg ⁻¹	2,90	1,82	1,28	0,77	1,67	1,25	2,03	2,51	1,78	39,26
Fe	mg kg ⁻¹	711,89	2200,18	470,91	761,96	2396,50	1234,65	717,95	3575,62	1508,70	73,07
Mn	mg kg ⁻¹	297,84	344,45	148,31	454,20	145,47	277,86	298,94	253,98	277,63	36,34
Cu	mg kg ⁻¹	41,69	64,59	45,89	53,18	21,58	32,46	48,17	45,59	44,14	29,32
Zn	mg kg ⁻¹	298,34	354,74	134,87	307,34	75,96	143,80	304,32	130,87	218,78	49,09
Cr	mg kg ⁻¹	16,96	39,75	20,04	31,29	5,79	5,10	11,71	7,36	17,25	73,28
Cd	mg kg ⁻¹	1,22	1,72	0	0	0,26	0	0,41	0,53	0,82	74,82
Pb	mg kg ⁻¹	0	2,84	0	2,18	2,59	0	0	3,93	2,88	25,92
Umidade	%	68,32	64,72	78,45	40,25	48,55	64,54	23,89	67,03	56,96	31,49

MO: matéria orgânica.

CV: coeficiente de variação entre os diferentes materiais.

Os materiais apresentaram, em média, relações $C/N \leq 20$, $C/P \leq 200$ e $C/S \leq 300$, o que indica potencialidade de mineralização no curto prazo (Stevenson & Cole, 1999). As relações C/N e C/S tiveram variações da mesma magnitude, enquanto a relação C/P apresentou maior variação, sugerindo que o teor de P nos esterco pode ser utilizado como critério diferencial na identificação do potencial fertilizante. O esterco de suíno, além de Mg, P e S, também apresentou maiores teores de Cu e Zn. Os esterco de suíno, de coelho, de galinha e a cama de frango apresentaram maiores teores de Fe, Cu, e Cr, o que está relacionado ao fato de que estes micronutrientes estão presentes nas dietas de criações com funções antimicrobianas e promotoras do crescimento (Ewing et al., 1998; Lima & Miyada, 2003; Mooney & Cromwell, 1995; Boleman et al., 1995). O teor de matéria orgânica, de N total e a relação C/N dos materiais estão dentro das especificações da legislação para fertilizantes orgânicos simples do Ministério da Agricultura (Brasil, 2004), e os teores de Cr, Cd, e Pb são menores que o estabelecido como referência por Eck & Stewart (1995). Contudo, trata-se de materiais com alto teor de umidade ($> 25\%$), exceto a cama de frango.

Os grupos formados mediante a técnica de componentes principais foram: grupo 1- esterco de galinha; grupo 2- esterco de suíno; grupo 3- cama de estábulo, esterco de bovino, de caprino e cama de frango com maravalha e grupo 4- esterco de coelho e de ovino (Figura 1).

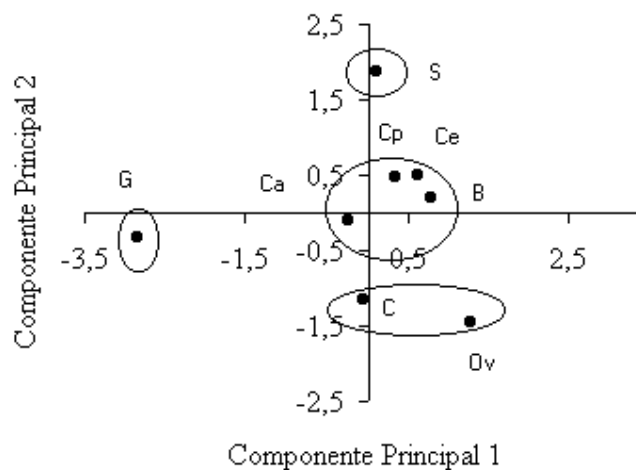


Figura 1. Dispersão de escores e agrupamento por similaridade para os diferentes esterco. G: esterco de galinha; S: esterco de suíno; Cp: esterco caprino; Ce: cama de estábulo, B: esterco bovino; Ca: cama de aviário; C: esterco de coelho e Ov: esterco de ovino.

As variáveis com maior contribuição no agrupamento foram os teores de P (38%), de C (18%) e de N (12%). Para se fazer estudos de decomposição e mineralização das formas orgânicas de N e P, um material representativo de cada grupo foi selecionado: esterco de galinha, de suíno, de bovino e de coelho. As suas características bioquímicas são apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2. Características bioquímicas de diferentes esterco

Material	Cag	POL	CARB	BSA
	-----	%	-----	$\mu\text{g mg}^{-1}$
Esterco de bovino	1,74	1,46	0,15	20,34
Esterco de suíno	1,82	1,68	0,21	31,89
Esterco de galinha	2,12	2,52	0,34	15,33
Esterco de coelho	1,95	0,81	0,19	8,17

Cag: carbono solúvel em água; POL: polifenóis totais solúveis; CARB: carboidratos totais solúveis; BSA: capacidade dos polifenóis em complexar proteína.

Observou-se variação entre as quantidades evoluídas de C-CO₂; o tratamento com esterco de galinha apresentou formas de C facilmente biodegradáveis diferenciando-se dos demais tratamentos (Figura 2).

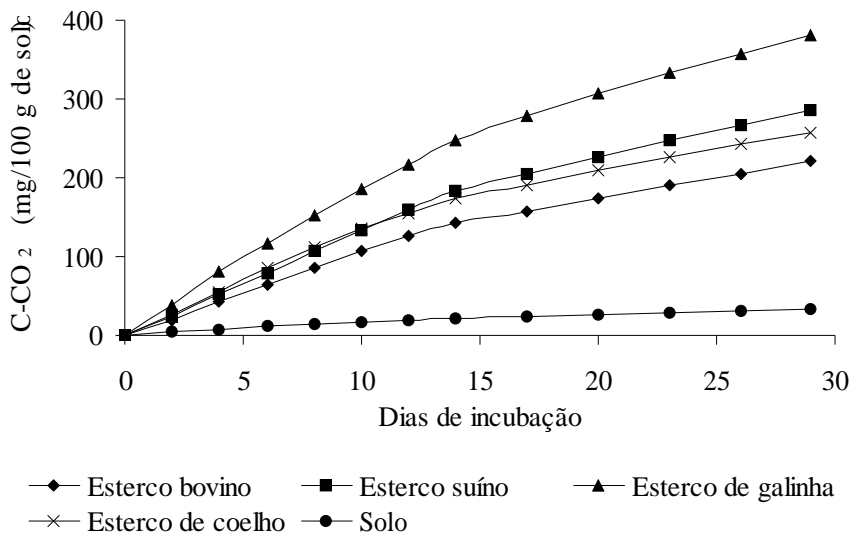


Figura 2. Produção acumulada de C-CO₂ (mg/100 g de solo) para o solo tratado com diferentes esterco e testemunha (solo) durante o período de incubação.

Considerando uma eficiência de assimilação de C pelos microrganismos de 40% (Moreira & Siqueira, 2002), estimou-se que entre 15,67 e 28,98% do C adicionado por meio dos diferentes tratamentos foi oxidado durante o processo de decomposição (Quadro 3).

Quadro 3. Evolução e oxidação do C do solo tratado com esterco e testemunha (solo) durante o período de incubação. C-CO₂: carbono absoluto acumulado evoluído; C: carbono assimilado; Cox: total oxidado absoluto; C-CO₂ ox: total oxidado relativo

Tratamento	C-CO ₂	C	Cox	C-CO ₂ ox
	-----	mg	-----	%
Esterco bovino	220,47 c	146,98	367,45	15,67
Esterco de suíno	286,50 b	191,00	477,50	21,17
Esterco de galinha	380,25 a	253,50	633,75	28,98
Esterco de coelho	257,82 bc	171,88	429,70	18,78
Solo	32,40 d	21,60	54,00	

Cox: total oxidado absoluto = C -CO₂ + C;

$$\%C-CO_2ox = \frac{(C - CO_2 \text{ total oxidado do solo + material}) - (C - CO_2 \text{ total oxidado do solo - material})}{C \text{ adicionado pelo material}} * 100$$

Nas colunas, médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

Os tratamentos com esterco de bovino e de coelho apresentaram as menores percentagens de C oxidado em relação à quantidade adicionada. Resultados similares foram reportados por Moral et al. (2005), que indicaram que o C destes esterco tem pequena fração de fácil biodegradação, quando comparados com os esterco de galinha e suíno.

A produção absoluta acumulada de C-CO₂ evoluído (Apêndice 1,1) ajustou-se adequadamente ao modelo de saturação de Hill (Quadro 4). Os maiores valores para a saturação na evolução de C-CO₂ (parâmetro α) foram estimados para o esterco de galinha, indicando que este material possuía maior proporção de C facilmente oxidável. Para os diferentes tratamentos e testemunha houve variação (CV=20%) entre as estimativas da constante de evolução de C-CO₂ (parâmetro γ), sugerindo que esta foi sensível às diferenças qualitativas entre os tratamentos. Portanto, a cinética de evolução de C-CO₂ apresentou diferentes padrões de crescimento, porém, com pouca variação (CV=5%) na ordem aparente do processo de saturação (parâmetro δ). A taxa máxima de evolução do C-CO₂ ocorreu entre o quinto e o décimo terceiro dia de incubação; o tratamento com esterco de suíno precisou de mais tempo para atingir

taxa máxima, indicando maior recalcitrância em relação aos demais tratamentos. A estimativa da taxa máxima de decomposição correlacionou-se positivamente com os valores observados da evolução acumulada de C-CO₂ ($r = 0,85^{**}$), sugerindo sua utilização como indicador da decomposição dos materiais estudados.

Quadro 4. Estimadores dos parâmetros, intervalos de confiança assintóticos (IC): limite inferior (LI) e limite superior (LS), quadrado do coeficiente de correlação (R^2), dia em que ocorreu a taxa máxima de evolução e taxa máxima de evolução de C-CO₂ de conformidade com o modelo de Hill

Tratamento	Estimadores dos Parâmetros ⁽¹⁾	IC		R^2	Dias	Taxa máxima de C-CO ₂ mg d ⁻¹
		LI	LS			
Esterco bovino	$\alpha = 361,20$	307,70	414,80	0,99	9	51,63
	$\gamma = 39,30$	34,70	43,89			
	$\delta = 1,21$	1,09	1,33			
Esterco de suíno	$\alpha = 458,40$	406,30	510,40	0,99	13	89,06
	$\gamma = 47,04$	41,88	52,20			
	$\delta = 1,28$	1,18	1,38			
Esterco de galinha	$\alpha = 651,10$	585,50	716,70	0,99	5	64,28
	$\gamma = 35,80$	33,42	38,19			
	$\delta = 1,15$	1,08	1,23			
Esterco de coelho	$\alpha = 383,30$	337,90	428,70	0,99	7	54,79
	$\gamma = 30,79$	26,91	34,67			
	$\delta = 1,21$	1,09	1,33			
Solo ⁽²⁾	$\alpha = 52,80$	46,21	59,39	0,99	3	4,00
	$\gamma = 27,66$	25,19	30,13			
	$\delta = 1,12$	1,02	1,21			

⁽¹⁾ Para todos os tratamentos, os estimadores dos parâmetros α , γ , e δ foram significativos a 5% de probabilidade pelo teste de t.

⁽²⁾ Utilizou-se como fonte de carbono, o carbono orgânico total do solo.

Ao final do período de incubação, os valores acumulados da evolução de C-CO₂ mostraram correlação com o teor de C solúvel em água ($r = 0,87^{**}$) e o teor de carboidratos totais solúveis ($r = 0,99^{**}$), indicando a relação existente entre a evolução de C-CO₂ e as formas facilmente biodegradáveis do C.

Em relação à testemunha, a incorporação dos esterco ao solo produziu, inicialmente, imobilização de N, ainda quando sua relação C/N foi em média < 20 mas, posteriormente, ocorreu mineralização (Figura 3). Resultados similares foram reportados por Trehan & Wild (1993) e Olesen et al., (1997). Esses autores demonstraram que no processo de decomposição dos esterco a fração de fácil

decomposição apresenta maior relação C/N, comparada à reportada para o esterco com base na massa seca. Probert et al. (2005) reportaram para 45 tipos de esterco relação C/N média de 21 com base na matéria seca dos materiais e relação C/N média de 68 na fase solúvel em água.

Para os tratamentos com esterco de suíno, de bovino e de coelho, o maior aporte no N inorgânico proveio do nitrato, enquanto para o esterco de galinha, do amônio (Apêndice 2,1). Resultados similares foram apresentados por Moral et al. (2005) e Kiehl, (1985). Os teores acumulados de N inorgânico indicaram que, os tratamentos com esterco de suíno e de galinha mineralizaram a partir da terceira semana de incubação e o de bovino, a partir da quinta. O esterco de coelho não apresentou imobilização, pois sempre mostrou alto teor de N inorgânico devido ao aporte de elevados teores de nitrato.

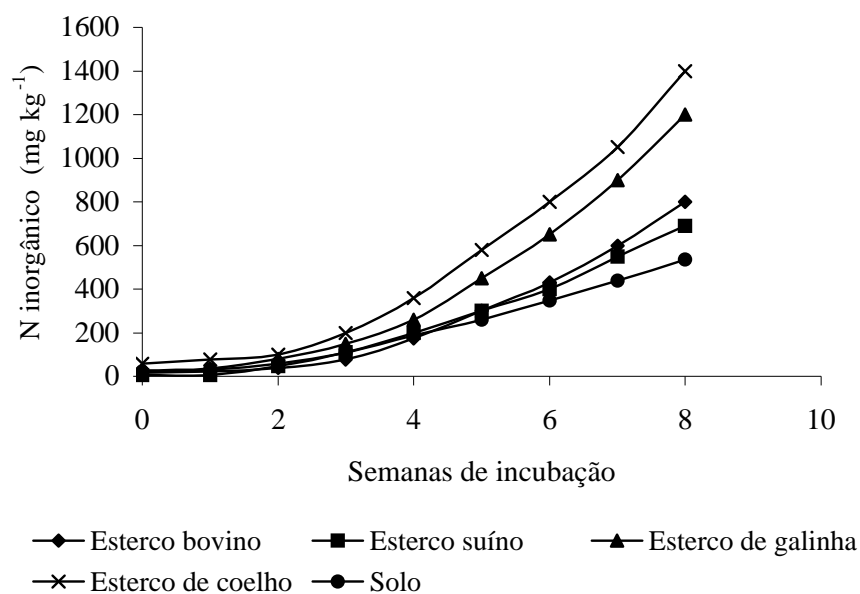


Figura 3. Teores acumulados de N inorgânico para o solo tratado com esterco e testemunha (solo) durante o período de incubação.

O ajuste do modelo exponencial simples aos teores observados acumulados de N inorgânico indicou que, os tratamentos com esterco de coelho e de galinha apresentaram os maiores teores de N inorgânico proveniente do compartimento facilmente mineralizável (estimador do parâmetro A, Quadro 5).

Quadro 5. Estimadores dos parâmetros, intervalos de confiança assintóticos (IC): limite inferior (LI) e limite superior (LS), quadrado do coeficiente de correlação (R^2) e teores observados acumulados de N inorgânico ao final do período de incubação, para o solo tratado com esterco e testemunha (solo)

Tratamento	Estimadores dos parâmetros ⁽¹⁾	IC		R^2	N inorgânico acumulado (mg kg ⁻¹)
		LI	LS		
Esterco bovino	A = 39,20	17,01	61,39	0,97	800 c
	k = 0,38	0,30	0,46		
Esterco suíno	A = 59,77	20,54	98,99	0,94	688 d
	k = 0,31	0,22	0,40		
Esterco de galinha	A = 66,82	32,89	100,70	0,97	1.200 b
	k = 0,36	0,29	0,43		
Esterco de coelho	A = 77,84	39,87	115,8	0,98	1.400 a
	k = 0,37	0,29	0,43		
Solo	A = 51,06	28,96	73,17	0,97	535 e
	k = 0,30	0,23	0,36		

⁽¹⁾ Para todos os tratamentos, os estimadores dos parâmetros foram significativos a 5% de probabilidade pelo teste de t.

Na coluna, médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

Ao final do período de incubação, não se determinou correlação entre os teores acumulados de N inorgânico e a relação C/N, e sim com a capacidade dos polifenóis em complexar proteína ($r = -0,93^{**}$) dos esterco. De acordo com Hättenschwiler & Vitousek (2000), os polifenóis formam complexos resistentes com proteínas e enzimas fúngicas extracelulares, reduzindo o nitrogênio disponível para os microrganismos decompositores, inibindo o seu crescimento e as taxas de decomposição. Desta maneira, a capacidade dos polifenóis em complexar proteína tem sido considerada como indicador da mineralização de materiais orgânicos (Anderson & Ingram, 1989).

O tratamento com esterco de galinha apresentou maior teor de polifenóis totais solúveis, mas com baixa capacidade em complexar proteína, liberando N inorgânico com taxa de 0,36 mg kg⁻¹semana⁻¹, com teor acumulado de 1.200 mg kg⁻¹. Em contraste, o tratamento com esterco suíno, com teor intermediário de polifenóis totais solúveis e com maior capacidade em complexar proteína, liberou N inorgânico com taxa de 0,31 mg kg⁻¹semana⁻¹, acumulando ao final do período de incubação 688 mg N kg⁻¹.

O teor de P foi avaliado em pré-incubação (tempo 0) e após duas semanas de incubação. No primeiro caso, as formas predominantes do P foram as do P orgânico com média de 380,50 mg P kg⁻¹; o tratamento com esterco de galinha apresentou o maior teor, e aquele com esterco de bovino, o menor. Para esse mesmo período, o tratamento com esterco suíno apresentou o maior teor de P inorgânico, diferenciando-se dos outros esterços. Após duas semanas de incubação, os maiores teores de P orgânico e inorgânico foram apresentados pelo tratamento com esterco suíno (Quadro 6). Isso se explica pela menor mudança percentual do P orgânico do esterco suíno em comparação com o esterco de galinha, sugerindo que características como o teor de polifenóis e sua capacidade em complexar proteína promoveram maior mineralização de formas lábeis de P no tratamento com esterco de galinha, em relação àquele com esterco suíno.

Quadro 6. Teores de P orgânico (Po) e inorgânico (Pi), antes e após duas semanas de incubação e Pi acumulado ao final do período de incubação para o solo tratado com esterços e testemunha (solo)

Tratamento	Pré-incubação (0 semana)		Pós-incubação (2 semanas)			Pi acumulado mg kg ⁻¹	
	Po	Pi	Po	Δ Po	Pi		
	mg kg ⁻¹		mg kg ⁻¹	%	mg kg ⁻¹		%
Esterco bovino	160,06 d	14,25 d	61,73 d	-61	28,00 d	96	137 d
Esterco de suíno	680,21 b	67,89 a	376,12 a	-44	120,41 a	77	579 a
Esterco de galinha	742,08 a	51,21 b	328,35 b	-55	94,83 b	85	483 b
Esterco de coelho	288,80 c	27,05 c	126,24 c	-56	50,50 c	86	281 c
Solo	31,36 e	2,01 e	18,46 e	-41	2,57 e	28	12 e
Média	380,50	32,48	182,18	-51	59,26	74	298

ΔPo: mudança percentual em relação ao tempo 0 no fósforo orgânico; ΔPi: mudança percentual em relação ao tempo 0 no fósforo inorgânico. Nas colunas, médias seguidas por pelo menos uma mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

Contudo, ao final do período de incubação o tratamento com esterco de suíno apresentou maior mineralização de formas lábeis de P, seguido, na ordem, pelos tratamentos com esterco de galinha, de coelho e de bovino (Figura 4). Os teores observados acumulados de P inorgânico foram correlacionados ao teor inicial do P orgânico ($r = 0,95^{**}$) e à relação C/P ($r = -0,75^{**}$) dos esterços.

O modelo linear response plateau foi ajustado aos teores observados acumulados de P inorgânico (Apêndice 3,1), os tratamentos com as maiores taxas de mineralização foram os com esterco suíno ($108,72 \text{ mg P kg}^{-1} \text{ semana}^{-1}$) e com esterco de galinha ($89,70 \text{ mg P kg}^{-1} \text{ semana}^{-1}$), Quadro 7.

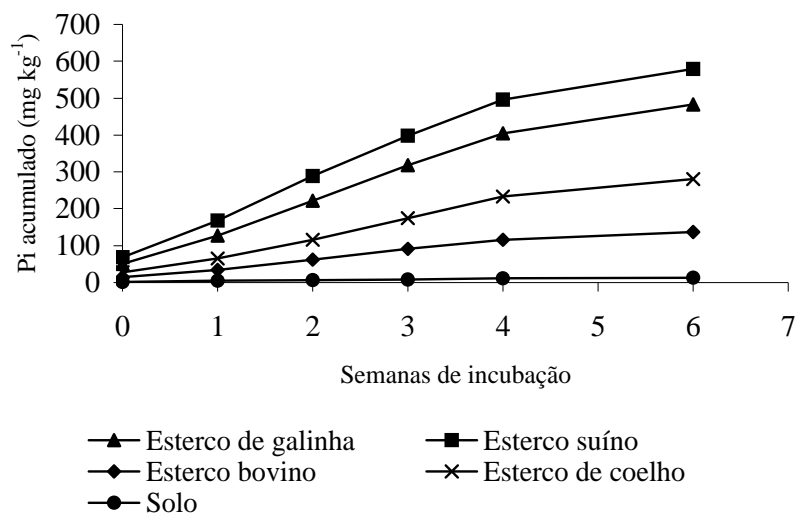


Figura 4. Teores acumulados de P inorgânico (Pi) para o solo tratado com esterco e testemunha (solo) durante o período de incubação.

Quadro 7. Estimadores dos parâmetros, intercessão das equações (linear e constante) e quadrado do coeficiente de correlação (R^2). Ajuste do modelo linear response plateau aos teores de Pi para o solo tratado com esterco e testemunha (solo)

Tratamento	B_0	B_1	B_2	Intercessão	R^2
Esterco bovino	11,69	26,20	137,38	(4,79 , 137,38)	0,99
Esterco suíno	66,38	108,72	578,79	(4,71 , 578,79)	0,99
Esterco de galinha	45,07	89,70	483,55	(4,88 , 483,55)	0,99
Esterco de coelho	19,40	52,02	281,10	(5,03 , 281,10)	0,99
Solo	2,17	2,22	12,64	(4,70 , 12,64)	0,99

B_0 : Intercepto; B_1 : taxa de mineralização; B_2 : valor máximo (plateau). Para todos os tratamentos, os estimadores dos parâmetros foram significativos a 5% de probabilidade pelo teste de t.

4. Conclusões

- Os teores de C nos esterco e camas estudadas apresentam pouca variação e os teores de N, S, Mg e K, variação intermediária, sendo que estes materiais diferenciam-se principalmente pelos teores de P e Ca.
- Os tratamentos com esterco de galinha e de suíno apresentam formas facilmente biodegradáveis de C em relação aos tratamentos com esterco de coelho e de bovino.
- Os esterco *in natura*, quando incorporados ao solo, inicialmente imobilizam N, mineralizando posteriormente. A relação C/N não se correlaciona com os teores de N mineralizados, mas sim, a capacidade dos polifenóis em complexar proteína.
- A fração predominante do P nos esterco e a orgânica, a qual apresenta maior mineralização durante as primeiras duas semanas de incubação; os teores acumulados de P inorgânico correlacionam-se positivamente com os teores iniciais de P orgânico e negativamente com a relação C/P dos esterco.

5. Literatura citada

- ANDERSON, J.D. & INGRAM, J.S. Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods. 2.ed. Wallingford: CAB International, 1996. 171p.:il.
- ANDERSON, J.P. Soil respiration. In: Page, A. L.; Miller, R.H. & Keeney, D.R. eds. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. 2 Ed. Madison: Soil Sci. Soc. of Am. ASA, 1982. p 831-845.
- BARLETT, R.J. & ROSS, D.N. Colorimetric determination on of oxidizable carbon in acid soil solutions. Soil Sci. Soc. Am. J., 52:1191-1192, 1988.
- BRASIL. Inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, destinados à agricultura. Brasília: Ministério da Agricultura. Secretaria de Fiscalização Agropecuária, Decreto No. 4.954, 2004. 45p.
- BOLEMAN, S.L.; BOLLEMAN, S.J.; BINDER, T.D.; SOUTHERN, L.L.; WARD, T.L.; PONTIF, E.; PIKE, M.M.. Effect of chromium picolinate on growth, body composition, and tissue accretion in pigs. J. Anim. Sci., 73:2033-2039, 1995.
- BRINK, R.H.; DUBACH, P. & LYNCH, D.L. Measurement of carbohydrates in soil hydrolyzates with anthrone. Soil Sci., 89:157-166, 1960.
- ECK, H.V. & STEWART, B.A. Manures. In: RECHCIGL, J.E. Soil amendments and environmental quality. Boca Raton, FL: CRC Press, 1995. p. 169-198.
- EWING, H.P.; PESTI, G.M.; BAKALLI, R.I. Studies on the feeding of cupric sulfate pentahidrate, cupric citrate and copper oxycloride to broiler chickens. Poultry Sci., 77:445-448, 1998.
- HÄTTENSCHWILER, S. & VITOUSEK, P.M. The role of polyphenols in terrestrial ecosystem nutrient cycling. Trends Ecol. Evol., 15:238-243, 2000.
- HEDLEY, M.J.; STEWART, J.W.B. & CHAUHAN, B.S. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. Soil Sci. Soc. Am. J., 46:970-976, 1982.
- KABATA, P, A. & PENDIAS, H. Trace elements in soil and plants. Boca Raton, FL: CRC Press, 2000. 331p.:il.
- KEMPERS, A.J. & ZWEERS, A. Ammonium determination in soil extracts by the salicylate method. Commun. Soil Sci. Plant. Anal., 17:715-723, 1986.
- KIEHL, E.J. Fertilizantes orgânicos. Piracicaba: CERES, 1985. p. 407-459.

- KIRCHMANN, H. & LUNDVALL, A. Relationship between N immobilization and volatile fatty acids in soil after application of pig and cattle slurry. *Biol. Fert. Soils*, 15:161-164, 1993.
- KUZYAKOV, Y.; FRIEDEL, J.K. & STAHR, K. Review of mechanisms and quantification of priming effects. *Soil Biol. Biochem.*, 32:1485–1498, 2000.
- LIMA, I.A. & MIYADA, V.S. Cobre orgânico e inorgânico como promotores do crescimento de leitões recém desmamados. *R. Bras. Zootec.*, 32:1657-1662, 2003.
- MIKKELSEN, R.L. Beneficial use of swine by-products: Opportunities for the future. In: POWER, J.F. & DICK, W.A. (Eds.), *Land Application of Agricultural, Industrial and Municipal by-Products*. Madison: Soil Sci. Soc. of Am., Inc. 2000, p. 451–480.
- MOONEY, K.W. & CROMWELL, G.L. Effects of dietary chromium picolinate supplementation on growth, carcass characteristics, and accretion rates of carcass tissues in growing-finishing swine. *J. Anim. Sci.*, 73:3351-3358, 1995.
- MORAL, R.; MORENO C. J.; PEREZ M. M.; PEREZ E. A.; RUFETE, B.; PAREDES, C. Characterization of the organic matter pool in manures. *Biores. Technol.*, 96: 153-158, 2005.
- MOREIRA F.M.S. & SIQUEIRA, J.O. *Microbiologia e bioquímica do solo*. Lavras: UFLA. 2002. 626p.
- MORGAN, P.H.; MERCER L.P.; FLODIN N.W. General model for nutritional responses of higher organisms. *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 72: 4327-4331, 1975.
- MORVAN, T.; LETERME, P.; ARSENE, G.G.; MARY, B. Nitrogen transformations after the spreading of pig slurry on bare soil and ryegrass using ¹⁵N-labelled ammonium. *Eur. J. Agron.*, 7:181–188, 1997.
- MURPHY, J. & RILEY, J.P. A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta*, 27:31-36, 1962.
- OLESEN, T.; GRIFFITHS, B.S.; HENRIKSEN, K.; MOLDRUP, P.; WHEATLEY, R. Modeling diffusion and reaction in soils: V. Nitrogen transformations in organic manure-amended soil. *Soil Sci.*, 162:157–168, 1997.
- PAUL, E. A. & CLARK, F. E. Dynamics of residue decomposition and soil organic matter turnover. In: *Soil microbiology and biochemistry*. 2nd ed. San Diego: Academic, 1996. p. 158-179.
- PROBERT, M.E.; DELVE, R.J.; KIMANI, S.K ; DIMES, J.P. Modelling nitrogen mineralization from manures: representing quality aspects by varying C:N ratio of sub-pools. *Soil Biol. Biochem.*, 37:279-287, 2005.
- RIBEIRO JUNIOR, J.I. *Análises estatísticas no SAEG*. Viçosa: UFV., 2001. 301 p.

- STEVENSON, F.J. & COLE, M.A. Cycles of soil: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients. New York: John Willey & Sons. 1999, p. 66-68.
- TEDESCO, M.J.; SELBACH, P.A.; GIANELLO, C. & CAMARGO, F.A. Resíduos orgânicos no solo e os impactos no ambiente. In: SANTOS, G. de A. & CAMARGO, F.A. Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Gênese. 1999. p 159-192.
- TREHAN, S.P. & WILD, A. Effects of an organic manure on the transformations of ammonium nitrogen in planted and unplanted soil. *Plant Soil*, 151:287–294, 1993.
- YANG, J.E.; SKOGLEY, E.O.; SCHAFF, B.E.; KIM, J.J. A simple spectrophotometric determination of nitrate in water, resin, and soil extracts. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 62:1108-1115, 1998.
- YEOMANS, J.C. & BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 19:1467-1476, 1988.

CAPÍTULO II

DECOMPOSIÇÃO E MINERALIZAÇÃO DE FORMAS ORGÂNICAS DE NITROGÊNIO E FÓSFORO DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS E URBANOS

Resumo: Diferentes tipos de resíduos *in natura* (farinhas, tortas e vinhaças) ou na forma de composto (lixo domiciliar e lodo de esgoto) foram avaliados no que diz respeito à sua decomposição e mineralização de formas orgânicas de N e P, quando incorporados a amostras de solo do horizonte B de um Latossolo Vermelho-Amarelo, sem correção de acidez, em condições de ambiente controlado. A decomposição foi determinada por meio de experimento de respirometria e a mineralização, por ensaios de incubação. Para um período de incubação de 30 dias, os resíduos *in natura* apresentaram maior evolução acumulada de C-CO₂ em comparação aos resíduos na forma compostada, fato relacionado à natureza dos resíduos estudados. Para um período de incubação de 60 dias, em relação à testemunha, os compostos de lodo de esgoto (4.500 mg N kg⁻¹) e lixo domiciliar (2.000 mg N kg⁻¹) mineralizaram, em contraste com a farinha de carne e ossos (385 mg N kg⁻¹) e a torta de filtro (281 mg N kg⁻¹), que imobilizaram. A relação C/N e o teor inicial de N nos resíduos não explicaram o processo de mineralização. Isso sugeriu que a natureza do resíduo e características como formas facilmente biodegradáveis do C, teores e capacidade dos polifenóis totais solúveis em complexar proteína e estoques de N nas formas fúlvica e húmicas da matéria orgânica interferiram na mineralização ou imobilização de N. Para um período de incubação de 45 dias, a mineralização do P correlacionou-se positivamente com o teor inicial de P orgânico ($r = 0,99^{**}$) e negativamente com a relação C/P ($r = - 0,88^{**}$) dos resíduos. A farinha de carne e ossos apresentou maior mineralização de P (1.144 mg P kg⁻¹) em relação aos demais resíduos.

Termos de indexação: resíduos industriais, compostos de lixo domiciliar e lodo de esgoto, respiração do solo, mineralização, nitrogênio, fósforo.

CHAPTER II

DECOMPOSITION AND MINERALIZATION OF ORGANIC FORMS OF NITROGEN AND PHOSPHORUS FROM INDUSTRIAL AND URBAN RESIDUES

Abstract: Different raw residues (meals, cakes and distillery yeasts) or in the form of compost (sewage sludge and town wastes) were evaluated regarding their decomposition and mineralization of organic forms of N and P, when incorporated to a soil samples from an B horizon of an Oxisol, without acidity correction, under controlled environmental conditions. The decomposition was determined through respiration experiment and the mineralization by incubation experiment. For an incubation period of 30 days the raw residues produced major accumulative quantities of C-CO₂ in comparison with the composted residues, as a fact related with the nature of the studied residues. For an incubation period of 60 days, the compost of sewage sludge (4500 mg N kg⁻¹) and town wastes (2000 mg N kg⁻¹) mineralized, and the meat and bone meal (385 mg N kg⁻¹) and filter cake (281 mg N kg⁻¹) immobilized. The C/N ratio and initial nitrogen content did not explain the pathways of nitrogen mineralization. This suggested that the nature of the residues and characteristics like the fraction of easily biodegradable carbon, total soluble polyphenols content and their capability to complex protein, as well as, the nitrogen pool as fulvic and humic acids in the organic matter were related with the mineralization or immobilization of N. For an incubation period of 45 days, the mineralization of P was positively correlated with the initial organic P content ($r = 0,99^{**}$), and C/P ratio ($r = -0,88^{**}$) of the residues. The meat and bone meal showed the greater content of mineralized P (1144 mg P kg⁻¹).

Index terms: industrial residues, compost of sewage sludge and town wastes, soil respiration, mineralization, nitrogen, phosphorus.

1. Introdução

A produção de resíduos está estreitamente relacionada com o crescimento populacional e industrial em todo o mundo. Existe preocupação quanto ao destino final desses resíduos, para se minimizar a poluição ambiental. Entre as várias formas de destinação, podem mencionar-se a incineração, peletização e produção de energia. No entanto, a reciclagem via utilização agrônômica, (adubação de plantas, recuperação de áreas degradadas, reflorestamento e compostagem), tem apresentado maior potencial devido à melhoria das características químicas, físicas e biológicas dos solos, diminuindo custos no processo produtivo (Melo & Marques, 2000). Pesquisas têm revelado que a adição de compostos de lodo de esgoto (biossólidos) tem aumentado a agregação do solo (Jorge et al., 1991), e a aplicação de compostos de lixo domiciliar, reduzido a resistência à penetração (Aggelides & Londra, 2000), melhorando a qualidade física do solo. Para utilização agrícola faz-se necessário conhecer não apenas as características dos resíduos, mas também as do solo, da planta e do clima da localidade onde serão aplicados. Sabe-se, por exemplo, da presença de patógenos e parasitas no lodo de esgoto, bem como de metais pesados em resíduos provenientes de áreas com alta concentração de indústrias poluentes (Xin et al., 1992). Dessa forma, sua utilização como insumo agrícola deve estar condicionada ao monitoramento de sua qualidade química e microbiológica (Kabata & Pendias, 2000). Os resíduos industriais têm sido utilizados com êxito em plantações florestais em regiões temperadas (Gonçalves et al., 2000). Nos países tropicais, seu uso ainda é restrito e pouco estudado em condições de campo por maiores períodos de tempo. Porém, existem algumas experiências no seu emprego tanto na área agrícola (Oliveira et al., 1995) como na florestal (Vaz & Gonçalves, 2002; Rocha et al., 2004).

Reconhecendo sua potencialidade como alternativa na manutenção de níveis adequados de matéria orgânica no solo, o uso eficiente dos resíduos derivados de atividades antrópicas deve-se iniciar mediante o conhecimento das suas características químicas e bioquímicas no estado *in natura*, assim como do grau de estabilidade e maturação quando utilizados na forma de composto. Partindo da hipótese de que o tipo de resíduo industrial interfere na dinâmica de decomposição e mineralização, este trabalho teve como objetivos: caracterizar química e bioquimicamente resíduos, *in natura* e na forma de composto, e avaliar a sua decomposição e mineralização de formas orgânicas de N e P, após a incorporação ao solo, em ambiente controlado.

2. Material e Métodos

Foram coletadas amostras dos resíduos utilizando amostragem simples ao acaso. Coletaram-se cinco medidas de 320 cm³ por material amostrado, as quais foram usadas posteriormente para obtenção de amostras compostas de resíduos. Os resíduos *in natura* e na forma de compostos foram coletados em várias localidades dos estados de Minas Gerais e São Paulo (Quadro 1).

Quadro 1. Lugares de coleta dos resíduos

Material	Local de coleta	Município
Farinha de ossos	Bom Despacho	Bom Despacho-MG
Farinha de carne e ossos	Indústria PIF-PAF	Ubá - MG
Composto de lodo de esgoto	Estação de saneamento	Viçosa - MG
Composto de lixo	Estação de tratamento de lixo	Coimbra - MG
Torta de mamona	Indústria e comércio de óleos	Itapeva – SP
Torta de filtro	Usina de Jatiboca	Ponte Nova – MG
Vinhaça de cachaça	Fazenda Independência	Guaraciaba – MG
Vinhaça de álcool	Usina de Jatiboca	Ponte Nova – MG

Para caracterização química, três subamostras de cada tipo de resíduo foram secas em estufa com circulação forçada de ar a 65°C durante 72 horas, moídas e passadas em peneira com malha de 2 mm, com exceção dos materiais líquidos. Esses materiais foram caracterizados quanto ao teor de matéria orgânica total, pelo método da perda por ignição (Kiehl, 1985); teor de C orgânico total, por oxidação úmida com aquecimento externo (Yeomans & Bremner 1988); N total, pelo método Kjeldahl; elementos totais após digestão nítrico-perclórica, determinando nos extratos os teores de S, Al, Fe, Mn, Cu, Cr, Cd, Pb e Zn por espectrometria de emissão de plasma; Ca e Mg, por espectrofotometria de absorção atômica; K, por espectrometria de emissão de chama; e P, por colorimetria (Murphy & Riley, 1962).

Com base nos resultados de C e macronutrientes, objetivou-se formar grupos diferentes de resíduos, utilizando análise multivariada, com a técnica de componentes principais (Ribeiro Junior, 2001). Após o agrupamento, selecionaram-se resíduos representativos de cada grupo para caracterização bioquímica e realização de ensaios de decomposição e mineralização de formas orgânicas de N e P. A caracterização bioquímica consistiu da determinação do C solúvel em água, por colorimetria, utilizando Mn(III)-pirofosfato em meio ácido como agente oxidante (Bartlett & Ross, 1988); carboidratos totais solúveis, pelo método da antrona (Brink et al., 1960); polifenóis totais solúveis,

extraídos com metanol (50%) e determinados por colorimetria, utilizando-se o reagente de Folin-Denis; e a capacidade dos polifenóis em complexar proteína, pelo método Blue-Dye Labelled Bovine Serum Albumin (BSA), (Anderson & Ingram, 1989). Adicionalmente, para os resíduos na forma de composto foi feito o fracionamento das substâncias húmicas por solubilidade diferencial, utilizando-se os conceitos de frações húmicas estabelecidos pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas, descritos por Hayes et al. (1989); nessas frações foram determinados os teores de C (Yeomans & Bremner, 1988); N total, pelo método Kjeldahl; e o índice de humificação pela equação:

$$IH = \left(\frac{FAf + FAh}{C \text{ total}} \right) 100$$

em que:

IH = índice de humificação;

FAf = fração ácidos fúlvicos;

FAh = fração ácidos húmicos; e

C total = carbono orgânico total.

Nos ensaios de decomposição e mineralização utilizaram-se amostras de um solo seco e peneirado com malha de 2 mm, proveniente do horizonte B de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico textura argilosa, sem correção de acidez e com as seguintes características: pH em água de 4,57; 0,6 mg P dm⁻³; 6 mg K dm⁻³; H+Al de 5,9 cmol_c dm⁻³; soma de bases trocáveis (SB) de 0,04 cmol_c dm⁻³; capacidade de troca catiônica (CTC) de 5,94 cmol_c dm⁻³; capacidade máxima de adsorção de P (CMAP) de 1,32 mg g⁻¹; e teor de matéria orgânica de 3,08 dag kg⁻¹. A massa equivalente a 2 g de C de cada resíduo foi misturada a 100 g de solo seco (Paul & Clark, 1996) e acondicionada em potes plásticos cilíndricos, com 15 cm de altura e 10 cm de diâmetro (unidade experimental). Também foi incluída uma testemunha (apenas solo). O experimento foi conduzido durante 30 dias com umidade equivalente a 80% da capacidade de campo, em câmara de incubação a 25 ± 1°C, segundo delineamento experimental inteiramente casualizado, com quatro repetições.

Nas unidades experimentais foram colocados copos plásticos de 50 cm³, onde o C-CO₂ respirado foi capturado em solução de NaOH 0,5 mol L⁻¹, formando carbonato com a adição de BaCl₂ 0,05 mol L⁻¹ e dosado por meio de titulação com HCl 0,25 mol L⁻¹. Foram feitas quantificações a cada dois dias (sete determinações) inicialmente e a cada três dias (cinco determinações) posteriormente. A massa de C-CO₂ evoluída foi expressa em termos absolutos (Anderson, 1982) e a cinética de decomposição, ajustada pelo modelo de saturação de Hill (Morgan et al., 1975):

$$Y = \frac{\alpha * X^\delta}{\gamma + X^\delta} + \varepsilon$$

em que:

Y = C-CO₂ evoluído (mg/100 g de solo);

α = parâmetro relativo à assíntota, que caracteriza a saturação;

γ = parâmetro de crescimento da função, chamado também de constante do processo;

δ = ordem aparente do processo;

X = tempo; e

ε = erro aleatório.

Nas análises estatísticas adotou-se o esquema de parcelas subdivididas em função do tempo, no qual os materiais selecionados corresponderam às parcelas e as avaliações sucessivas, às subparcelas. Análise de variância, teste de médias (Tukey, 0,05) e regressão foram realizados utilizando o programa SAEG.

Utilizando o mesmo critério de incubação do ensaio de decomposição, avaliou-se a mineralização de formas orgânicas de N e P durante oito e seis semanas, respectivamente. Em amostras coletadas semanalmente, foram determinados o nitrogênio amoniacal (N-NH₄⁺) e nítrico (N-NO₃⁻), extraídos com KCl 1 mol L⁻¹ e determinados por colorimetria segundo Kempers & Zweers (1986) e Yang et al. (1998), respectivamente. O N inorgânico (Ni) foi calculado como a soma do N-NH₄⁺ + N-NO₃⁻. O modelo exponencial simples foi ajustado aos teores observados acumulados de N inorgânico:

$$Ni = A e^{k t}$$

em que:

Ni = teor de N inorgânico acumulado;

A = teor de N inorgânico proveniente do compartimento facilmente mineralizável;

k = taxa constante de mineralização; e

t = tempo.

Foram determinados o P inorgânico (Pi) e o P total (Pt) mediante fracionamento químico das formas lábeis (extração com água, resina de troca aniônica e bicarbonato 0,5 mol L⁻¹), pelo método de Hedley et al. (1982), modificado. O P orgânico (Po) foi obtido pela diferença entre Pt e Pi. O modelo linear response plateau foi ajustado aos dados observados acumulados de Pi. O experimento também foi instalado em delineamento experimental inteiramente casualizado com quatro repetições, em esquema de parcelas subdivididas no tempo; as análises estatísticas foram realizadas da mesma forma anteriormente descrita.

3. Resultados e Discussão

Os resíduos mostraram grande variabilidade em suas características químicas (Quadro 2). Os teores médios de C orgânico foram da ordem de 20 dag kg⁻¹. A farinha de carne e ossos e a torta de mamona apresentaram os maiores teores de N e Mg; a farinha de ossos e a farinha de carne e ossos, os maiores teores de P e Ca, com relação Ca/P da ordem de 2; o lodo de esgoto, de S; e a torta de mamona, de K. Em média, os resíduos apresentaram relação C/N < 20; relação C/P < 200 e relação C/S ≤ 200, indicando potencialidade de mineralização de N, P e S no curto prazo (Stevenson & Cole, 1999). Os compostos de lodo de esgoto e lixo domiciliar apresentaram teores intermediários de Fe, Cu e Zn, embora apresentaram os maiores teores de Cr, Cd, Pb. Apesar disso, os compostos apresentaram teores de metais pesados menores que os estabelecidos como referência pela CETESB (1999). Segundo a legislação do Ministério da Agricultura para adubos orgânicos simples e compostos (Brasil, 2004), o teor de matéria orgânica, de N total e a relação C/N dos resíduos estão dentro das especificações; mas são resíduos (> 25%) e compostos (>40%) com alto teor de umidade, exceto a farinha de ossos, o lixo domiciliar e a torta de mamona.

Os grupos formados mediante técnica de componentes principais foram: grupo 1- farinha de ossos e farinha de carne e ossos; grupo 2- torta de mamona, torta de filtro e composto de lodo de esgoto; e grupo 3- composto de lixo domiciliar, vinhaça de cachaça e vinhaça de álcool (Figura 1).

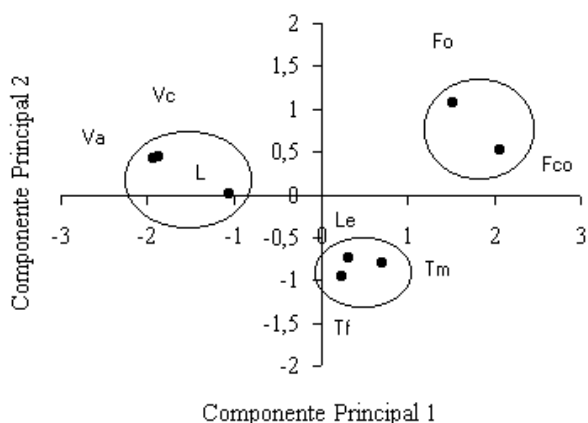


Figura 1. Dispersão de escores e agrupamento por similaridade para os diferentes resíduos. Fo: farinha de ossos; Fco: farinha de carne e ossos; Le: lodo de esgoto; Tm: torta de mamona; Tf: torta de filtro; L: composto de lixo domiciliar; Vc: vinhaça de cachaça e Va: vinhaça de álcool.

Quadro 2. Características químicas (resultados expressos com base na matéria seca) e umidade dos resíduos *in natura* e na forma de composto

VARIÁVEL	Unidade	MATERIAL								Média	CV (%)
		Farinha de ossos	Farinha de carne e ossos	Torta de mamona	Torta de filtro	Vinhaça de cachaça	Vinhaça de álcool	Lodo de esgoto	Lixo domiciliar		
MO	dag kg ⁻¹	35,09	51,87	61,75	71,58	1,82	1,53	47,75	20,2	36,45	72,77
C	dag kg ⁻¹	23,83	30,59	26,64	35,89	1,06	0,89	27,6	13,11	19,95	67,05
N	dag kg ⁻¹	4,2	5,55	5,16	1,73	0,09	0,28	3,47	0,87	2,67	82,54
P	dag kg ⁻¹	11,33	10,22	1,05	1,91	0,03	0,04	1,34	1,09	3,38	136,82
S	dag kg ⁻¹	0,14	0,26	0,30	0,34	0,01	0,06	1,19	0,24	0,31	116,86
C/N		7	6	6	24	14	4	9	18	11	64
C/P		5	8	66	49	91	57	53	31	45	65
C/S		454	314	237	281	283	40	62	146	227	61
Ca	dag kg ⁻¹	22,36	17,89	1,96	0,88	0,02	0,05	0,75	1,81	5,71	157,5
Mg	dag kg ⁻¹	0,44	0,35	1,32	0,10	0,01	0,03	0,23	0,3	0,34	121,42
K	dag kg ⁻¹	0,07	0,19	0,85	0,16	0,07	0,17	0,12	0,61	0,28	102,99
Fe	mg kg ⁻¹	2149,15	98,42	2490,03	11858,18	27,03	9,62	32182,05	25838,46	9331,61	137,83
Mn	mg kg ⁻¹	25,76	0,94	219,83	400,64	2,23	1,98	176,58	438,83	158,34	115,13
Cu	mg kg ⁻¹	2,22	1,30	13,56	27,28	0,14	0,02	156,6	91,48	36,57	157,14
Zn	mg kg ⁻¹	90,19	83,51	54,08	81,14	0,40	0,28	761,67	248,99	165,03	153,44
Cr	mg kg ⁻¹	7,45	2,90	5,14	19,18	0,07	0,06	56,82	40,69	16,53	128,34
Cd	mg kg ⁻¹	0	0	0	0,99	0	0	3,98	2,61	2,52	59,23
Pb	mg kg ⁻¹	0,06	0	0,6	4,06	0	0	36,57	54,14	19,08	130,03
Umidade	%	7,29	50,64	8,23	70,45			52,09	22,06	35,12	74,72

MO: matéria orgânica.

CV: Coeficiente de variação entre os diferentes materiais.

As variáveis com maior contribuição no agrupamento foram os teores de P (24%), de Ca (20%) e de C (14%). Para estudos de decomposição e mineralização das formas orgânicas de N e P, um resíduo representativo dos grupos 1 e 3 foi selecionado, conjuntamente com dois resíduos do grupo 2: farinha de carne e ossos, composto de lodo de esgoto, composto de lixo domiciliar e torta de filtro. A sua caracterização bioquímica é apresentada no Quadro 3.

Quadro 3. Caracterização bioquímica de diferentes resíduos

Material	Cag	POL	CARB	BSA
	-----	%	-----	µg mg ⁻¹
Farinha de carne e ossos	1,02	0,25	0,39	24,09
Composto de lixo	0,34	0,37	0,08	6,68
Torta de filtro	1,25	0,82	0,42	38,44
Composto de lodo de esgoto	0,52	0,43	0,09	6,63

Cag: carbono solúvel em água; POL: polifenóis totais solúveis; CARB: carboidratos totais solúveis; BSA: capacidade dos polifenóis em complexar proteína.

A torta de filtro diferenciou-se dos demais resíduos por apresentar maior teor de C solúvel em água, de carboidratos e de polifenóis totais solúveis com maior capacidade em complexar proteína. A farinha de carne e ossos também apresentou uma fração rica em formas de C facilmente biodegradáveis, embora sua matriz orgânica seja constituída de materiais graxos (Kiehl, 1985), com menor teor de polifenóis solúveis, mas com capacidade intermediária de complexar proteína. Ambos os resíduos mostraram potencial de imobilização de N no curto prazo (Freitas et al., 1988; Tedesco et al., 1999). Os compostos de lixo domiciliar e lodo de esgoto apresentaram os menores teores de C solúvel em água e de carboidratos, produto de sua estabilidade, com teores intermediários de polifenóis, porém com menor capacidade em complexar proteína; ambos os compostos mostraram potencial de mineralização de N no curto prazo (Kiehl, 2005).

O composto de lixo domiciliar, quando comparado com o composto de lodo de esgoto, apresentou menor teor de C orgânico total, maior teor de C na fração ácidos fúlvicos, teor similar na fração ácidos húmicos e aproximadamente a metade daquele da fração humina no lodo de esgoto, exibindo maior índice de humificação (Quadro 4). O lodo de esgoto apresentou maiores teores de N total e N nas frações ácidos húmicos, fúlvicos e humina quando comparado com o lixo domiciliar. Apesar

disso, ambos os compostos apresentaram similar relação das frações ácidos húmicos/ácidos fúlvicos, sugerindo igual magnitude nas formas orgânicas de N facilmente biodegradáveis. Contudo, o lixo domiciliar apresentou relação C/N na fração ácidos fúlvicos de 14 e o lodo de esgoto de 3, sugerindo maior potencial de mineralização da fração facilmente biodegradável para este último. Para a fração ácidos húmicos, o lixo domiciliar também mostrou maior relação C/N em comparação com o lodo de esgoto.

Quadro 4. Teores de carbono e nitrogênio total e nas frações húmicas extraídas dos compostos de lixo domiciliar e lodo de esgoto

Carbono	C	FAf	FAh	FH	IH	FAh/FAf
	dag kg ⁻¹		g kg ⁻¹		%	
Lixo domiciliar	13,11	15,80	6,20	106,60	16,78	0,39
Lodo de esgoto	27,60	10,30	5,60	255,80	5,76	0,54
Nitrogênio	N	FAf	FAh	FH		FAh/FAf
	dag kg ⁻¹		g kg ⁻¹			
Lixo domiciliar	0,87	1,30	1,10	5,70		0,85
Lodo de esgoto	3,47	4,30	3,70	25,50		0,86

C: carbono total; N: nitrogênio total; FAf: fração ácidos fúlvicos; FAh: fração ácidos húmicos; FH: fração húmica; FAh/FAf: relação das frações ácidos húmicos/ácidos fúlvicos. IH: índice de humificação.

Houve variação entre as quantidades evoluídas de C-CO₂, sendo que os tratamentos com a farinha de carne e ossos e a torta de filtro apresentaram maior proporção de C facilmente biodegradáveis (Figura 2). A matriz orgânica da farinha de carne e ossos (34% de sua constituição) está composta de 7% de matéria graxa e 27% de osseína com 5% de nitrogênio (Kiehl, 1985), com teores de aminoácidos proporcionais aos teores de proteína bruta (Rostagno et al., 2000), apresentando uma fração de fácil biodegradação no curto prazo; não obstante, caracteriza-se por ser um material de difícil decomposição ao longo do tempo (Malavolta, 1981), razão pela qual são sugeridas técnicas de desengorduração (Tedesco et al., 1999) e pirólise (Deydier et al., 2005) para facilitar sua decomposição e incrementar os lucros na sua comercialização como adubo de fácil decomposição.

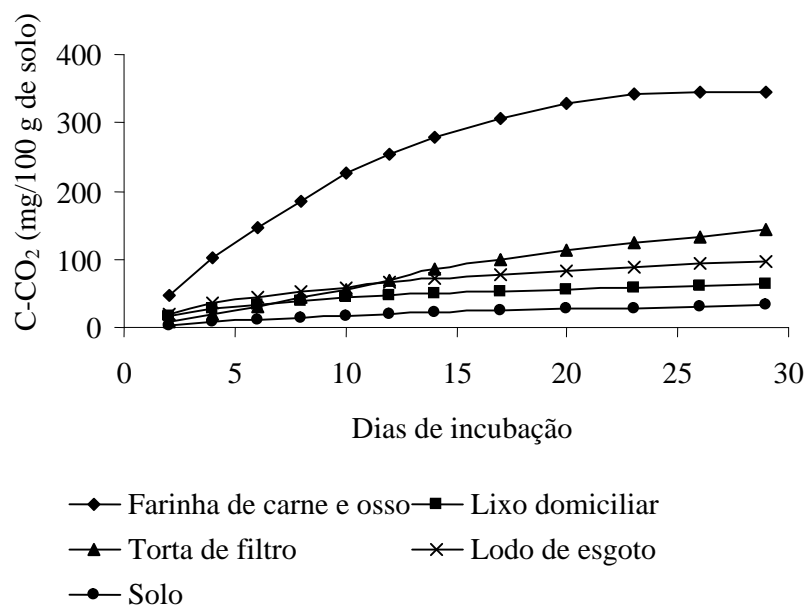


Figura 2. Produção acumulada de C-CO₂ (mg/100 g de solo) do solo tratado com diferentes resíduos e testemunha (solo) durante o período de incubação.

Considerando uma eficiência de assimilação de C pelos microrganismos de 40% (Siqueira, 1988), estimou-se que entre 2,57 e 27,59 % do C adicionado por meio dos diferentes tratamentos foi oxidado durante o processo de decomposição, (Quadro 5). Os tratamentos com compostos apresentaram as menores proporções de C oxidado, provavelmente devido à presença de formas estáveis do C (Kiehl, 2005).

Quadro 5. Evolução e oxidação do carbono do solo tratado com resíduos e testemunha (solo) durante o período de incubação. C-CO₂: carbono absoluto evoluído; C: carbono assimilado; Cox: total oxidado absoluto; C-CO₂ox: total oxidado relativo.

Tratamento	C-CO ₂	C	Cox	C-CO ₂ ox
	-----	mg	-----	%
Farinha de carne e ossos	363,48 a	242,32	605,8	27,59
Lixo domiciliar	63,24 d	42,16	105,4	2,57
Torta de filtro	143,04 b	95,36	238,4	9,22
Lodo de esgoto	97,44 c	64,96	162,4	5,42
Solo	32,40 e	21,6	54	

$$\text{Cox} = \text{C-CO}_2 + \text{C}$$

$$\% \text{ C-CO}_2\text{ox} = \frac{(\text{C-CO}_2 \text{ total oxidado do solo} + \text{material}) - (\text{C-CO}_2 \text{ total oxidado do solo} - \text{material})}{\text{C adicionado pelo material}} * 100$$

Na coluna, médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

A produção acumulada de C-CO₂ evoluído (Apêndice 1,2) ajustou-se adequadamente ao modelo de saturação de Hill (Quadro 6). Os maiores valores para a saturação na evolução de C-CO₂ (parâmetro α) foram estimados para o tratamento com a farinha de carne e ossos, seguido pelo tratamento com torta de filtro, indicando que estes resíduos apresentaram maior proporção de C facilmente oxidável. Houve grande variação (CV=106%) entre as estimativas da constante de evolução de C-CO₂ (parâmetro γ), sugerindo que esta foi sensível às variações qualitativas entre os resíduos. Portanto, a cinética de evolução de C-CO₂ mostrou diferentes padrões de crescimento e variação (CV=27,37%) na ordem aparente do processo de saturação (parâmetro δ).

Quadro 6. Estimadores dos parâmetros, intervalos de confiança assintóticos (IC): limite inferior (LI) e limite superior (LS), quadrado do coeficiente de correlação (R²), dia em que ocorreu a taxa máxima de evolução e taxa máxima de evolução de C-CO₂ de conformidade com o modelo de Hill

Tratamento	Estimadores dos parâmetros ⁽¹⁾	IC		R ²	Dias	Taxa máxima de C-CO ₂ mg d ⁻¹
		LI	LS			
Farinha de carne e ossos	$\alpha = 445,10$	422,50	467,70	0,99	7	108,60
	$\gamma = 22,61$	19,60	25,61			
	$\sigma = 1,35$	1,26	1,45			
Composto de lixo domiciliar	$\alpha = 90,00$	83,44	96,84	0,99	5	28,32
	$\gamma = 7,29$	6,92	7,66			
	$\sigma = 0,83$	0,77	0,89			
Torta de filtro	$\alpha = 226,10$	193,60	258,60	0,99	13	77,32
	$\gamma = 92,46$	73,68	111,30			
	$\sigma = 1,50$	1,35	1,66			
Composto de lodo de esgoto	$\alpha = 175,50$	140,60	210,40	0,99	5	37,56
	$\gamma = 12,52$	11,02	14,03			
	$\sigma = 0,81$	0,71	0,91			
Solo ⁽²⁾	$\alpha = 52,80$	46,21	59,39	0,99	3	4,00
	$\gamma = 27,66$	25,19	30,13			
	$\sigma = 1,12$	1,02	1,21			

⁽¹⁾ Para todos os tratamentos, os estimadores dos parâmetros α , γ e δ foram significativos a 5% de probabilidade pelo teste de t.

⁽²⁾ Utilizou-se como fonte de carbono, o carbono orgânico total do solo.

A estimativa da taxa máxima de evolução de C-CO₂ correlacionou-se positivamente com os valores observados acumulados da evolução de C-CO₂ (r = 0,93**), sugerindo sua utilização como indicador da labilidade dos resíduos

estudados. A taxa máxima de evolução foi atingida entre os cinco e sete dias de incubação para os tratamentos com farinha de carne e ossos, composto de lixo domiciliar e lodo de esgoto, corroborando a existência de uma fração de fácil degradação na farinha de carne e ossos. Já o tratamento com torta de filtro precisou de treze dias para atingir taxa máxima. Ao final do período de incubação os valores acumulados de C-CO₂ apresentaram correlação com os teores de C solúvel em água ($r = 0,57^{**}$), carboidratos ($r = 0,69^{**}$) e relação C/N ($r = - 0,56^{**}$) dos materiais estudados. Para os resíduos estudados não se observou associação entre decomposição e teor de polifenóis solúveis, porque os resíduos *in natura* apresentaram menores teores de polifenóis mas com maior capacidade em complexar proteína.

A incorporação dos resíduos ao solo levou a uma dinâmica de mineralização de N diferente para cada material (Figura 3), estando esse fato relacionado à natureza dos resíduos, já que os materiais compostados apresentaram formas estáveis do C, baixa relação C/N e teor de polifenóis totais solúveis com menor capacidade de complexar proteína em relação aos resíduos *in natura*.

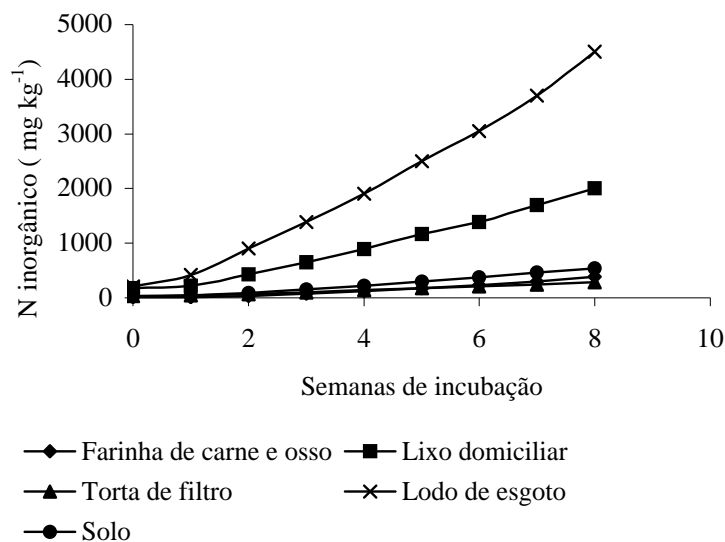


Figura 3. Teores acumulados de N inorgânico para o solo tratado com resíduos e testemunha (solo) durante o período de incubação.

Os tratamentos com compostos apresentaram maiores teores de N inorgânico provenientes do compartimento facilmente mineralizável (estimador do parâmetro A no Quadro 7). As taxas de mineralização de N dos tratamentos com compostos e torta de filtro foram da ordem de 0,20 mg kg⁻¹ semana⁻¹. O tratamento com a torta de filtro apresentou os menores teores acumulados de N inorgânico ao final do período de incubação. Isso se explica pela natureza dos compostos (Kiehl, 2005) e às características bioquímicas da cana de açúcar (Oliveira et al., 1999). Em relação à testemunha, o solo tratado com a farinha de carne e ossos, mesmo acarretando imobilização de N, apresentou taxa incipiente de mineralização (0,32 mg kg⁻¹ semana⁻¹). Os teores acumulados de N inorgânico dos diferentes tratamentos (Apêndice 2,2) correlacionaram-se negativamente com a capacidade dos polifenóis em complexar proteína (r = -0,80**) dos resíduos; mas não se observou correlação entre os teores acumulados de N inorgânico e a relação C/N dos resíduos.

Quadro 7. Estimadores dos parâmetros, intervalos de confiança assintóticos (IC): limite inferior (LI) e limite superior (LS), quadrado do coeficiente de correlação (R²) e teores observados acumulados de N inorgânico ao final do período de incubação para o solo tratado com diferentes resíduos e testemunha (solo)

Tratamento	Estimadores dos parâmetros ⁽¹⁾	IC		R ²	N inorgânico mg kg ⁻¹
		LI	LS		
Farinha de carne e ossos	A= 31,21	17,33	45,10	0,97	385 d
	k= 0,32	0,25	0,38		
Composto de lixo domiciliar	A= 310,90	214,3	407,5	0,97	2.000 b
	k= 0,23	0,19	0,28		
Torta de filtro	A= 52,57	36,49	69,65	0,95	281 e
	k= 0,21	0,16	0,26		
Composto de lodo de esgoto	A= 739,10	555,40	922,80	0,98	4.500 a
	k= 0,22	0,19	0,26		
Solo	A= 51,06	28,96	73,17	0,97	535 c
	k= 0,30	0,23	0,36		

⁽¹⁾ Para todos os materiais, os estimadores dos parâmetros foram significativos a 5% de probabilidade pelo teste de t. Na coluna, médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

Como a capacidade dos polifenóis em formar complexos resistentes com proteínas e enzimas fúngicas extracelulares é da mesma magnitude ($BSA \approx 7 \mu\text{g mg}^{-1}$), o maior teor de N mineralizado pode ser explicado pela menor relação C/N na fração fúlvica e pelo maior teor de N total do lodo de esgoto.

O teor de P foi avaliado em pré-incubação (tempo 0) e após duas semanas de incubação. No tempo 0, as formas predominantes do P foram as do P orgânico, com média de $175,20 \text{ mg kg}^{-1}$; o tratamento com a farinha de carne e ossos apresentou o maior teor de P orgânico, e a torta de filtro, o menor. Para esse mesmo período esses mesmos tratamentos mostraram o maior e menor teor de P em formas inorgânicas. Após duas semanas de incubação observou-se maior mudança percentual na mineralização do P orgânico para os tratamentos com lodo de esgoto e farinha de carne e ossos (Quadro 8), refletindo nos teores acumulados de P inorgânico ao final do período de incubação.

Quadro 8. Teores de P orgânico (Po) e inorgânico (Pi), antes e após duas semanas de incubação e Pi acumulado ao final do período de incubação para o solo tratado com diferentes resíduos e testemunha (solo)

Tratamento	Pré-incubação (0 semana)		Pós-incubação (2 semanas)			Pi acumulado mg kg^{-1}	
	Pó	Pi	Po	Δ Pó	Pi		
	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	%	mg kg^{-1}		
Farinha de carne e ossos	558,84 a	124,33 a	248,82 a	-55,48	243,90 a	96,17	1.144,50 a
Lixo domiciliar	117,02 b	19,92 c	63,22 b	-45,98	35,65 c	79,00	160,26 c
Torta de filtro	82,08 c	13,62 c	57,85 b	-34,88	25,37 d	86,25	113,28 d
Lodo de esgoto	86,71 c	23,78 b	35,49 c	-59,07	43,33 b	82,19	205,95 b
Solo	31,36 d	2,01 d	18,46 d	-41,14	2,57 e	28,00	12,65 e
Média	175,20	36,73	84,77	-46,29	70,16	74,32	327,33

Δ Po: mudança percentual em relação ao tempo 0 no fósforo orgânico; Δ Pi: mudança percentual em relação ao tempo 0 no fósforo inorgânico. Nas colunas, médias seguidas por pelo menos uma mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

Ao longo do período de incubação, a forma predominante de P foi a orgânica, com teor médio de $175,20 \text{ mg P kg}^{-1}$. A exceção foi o tratamento com lodo de esgoto, no qual houve predominância das formas inorgânicas sobre as orgânicas durante o período compreendido entre a segunda e a quinta semana de incubação (Figura 4).

Isso indica maior presença de formas de fácil mineralização de P neste material, provavelmente polifosfatos incorporados aos lodos de esgoto via detergentes (Oliveira et al., 1995).

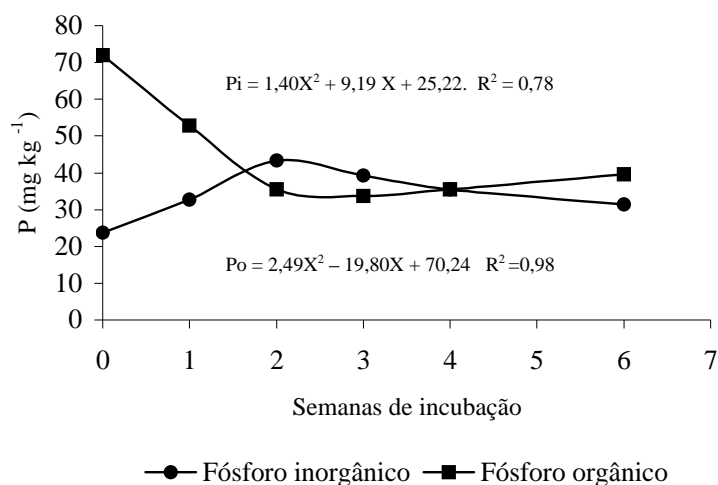


Figura 4. Teores não acumulados de fósforo inorgânico (Pi) e orgânico (Po) do tratamento com composto de lodo de esgoto ao longo do período de incubação.

Como se pode observar, a fração do P orgânico do lodo de esgoto inicialmente diminuiu (primeiras duas semanas), incrementando gradualmente após a terceira semana de incubação. Isso pode ser explicado pela ausência do dreno-planta. Na presença de P inorgânico no meio, as fosfatases ácidas param de atuar (Marschner, 1995) e os microrganismos imobilizam P, incrementando a fração orgânica.

Ao final do período de incubação o tratamento com farinha de carne e ossos apresentou o maior teor de P inorgânico diferenciando-se dos demais tratamentos (Figura 5). Isso se deve ao fato que a farinha de carne e ossos é um material rico em P, com alto potencial de mineralização de formas lábeis de P orgânico. O modelo linear response plateau foi ajustado aos teores observados acumulados de P inorgânico, estimando-se maior taxa de mineralização para o tratamento com farinha de carne e ossos (211,01 mg P kg⁻¹), Quadro 9.

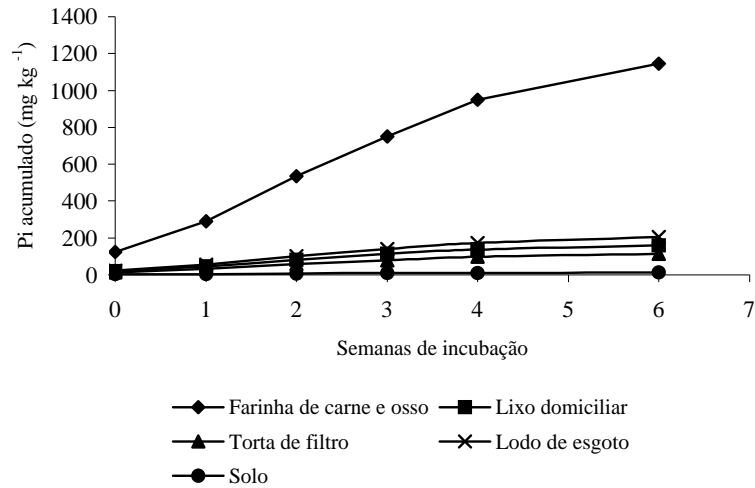


Figura 5. Teores acumulados de P inorgânico (Pi) para o solo tratado com resíduos e testemunha (solo) durante o período de incubação.

Quadro 9. Estimadores dos parâmetros, interseção das equações (linear e constante) e quadrado do coeficiente de correlação (R^2). Ajuste do modelo linear response plateau aos teores de P inorgânico para o solo tratado com resíduos e testemunha (solo)

Tratamento	B_0	B_1	B_2	Intercessão	R^2
Farinha de carne e ossos	107,79	211,01	1.144,49	(4,91 , 1.114,49)	0,99
Lixo domiciliar	19,33	30,25	160,25	(4,65 , 160,25)	0,99
Torta de filtro	12,91	21,56	113,27	(4,65 , 13,27)	0,99
Lodo de esgoto	21,89	38,41	205,95	(4,79 , 205,95)	0,99
Solo	2,17	2,22	12,64	(4,70 , 12,64)	0,99

B_0 : Intercepto; B_1 : taxa de mineralização; B_2 : valor máximo (plateau). Para todos os materiais os estimadores dos parâmetros foram significativos a 5% de probabilidade pelo teste de t.

Sendo que os teores observados acumulados de P inorgânico (Apêndice 3,3) correlacionaram-se positivamente com os teores iniciais de P orgânico ($r = 0,99^{**}$) e negativamente com a relação C/P ($r = -0,88^{**}$) dos resíduos.

4. Conclusões

- As farinhas de ossos e de carne e ossos apresentam os maiores teores totais de N, P e Ca, com relação Ca/P da ordem de 2:1. Os compostos de lodo de esgoto e lixo domiciliar mostraram as menores relações C/N/P/S e os maiores teores de micronutrientes.
- A mineralização de N não é explicada pela relação C/N nem pelo teor inicial de N nos resíduos, mas pela capacidade dos polifenóis totais solúveis em complexar proteína.
- Além do teor de polifenóis e sua capacidade em complexar proteína, o teor inicial de N total e o teor de N nas frações ácidos fúlvicos e húmicos influenciam o processo de mineralização dos resíduos na forma compostada.
- Para todos os resíduos a forma predominante de P é a orgânica. A liberação de P inorgânico pelo processo de mineralização é maior nos resíduos com maior teor inicial de P orgânico e menor relação C/P.

5. Literatura citada

- AGGELIDES, S.M. & LONDRA, P.A. Effects of compost produced from town wastes and sewage sludge on the physical properties of a loamy and clay soil. *Biores. Technol.*, 71:253-259, 2000.
- ANDERSON, J.M. & INGRAM, J.S. *Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods*. Wallingford: CAB Internacional, 1989. 171 p.:il.
- ANDERSON, J.P. Soil respiration. In: Page, A. L.; Miller, R.H. & Keeney, D.R. eds. *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*. 2 Ed. Madison: Soil Science Society of America. ASA, 1982. p 831-845.
- BARLETT, R.J. & ROSS, D.N. Colorimetric determination on of oxidizable carbon in acid soil solutions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52:1191-1192, 1988.
- BRASIL. Inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, destinados à agricultura. Brasília: Ministério da Agricultura. Secretaria de Fiscalização Agropecuária, Decreto No. 4.954, 2004. 45p.
- BRINK, R.H.; DUBACH, P. & LYNCH, D.L. Measurement of carbohydrates in soil hydrolyzates with anthrone. *Soil. Sci.*, 89:157-166, 1960.
- CETESB. Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas: critérios para projeto e operação. São Paulo: CETESB, 1999. 98 p.:il.
- DEYDIER, E.; GUILLET, R.; SARDA, S.; SHARROCK, P. Physical and chemical characterisation of crude meat and bone meal combustion residue: “waste or raw material?”. *J. Hazardous Materials*. 121:141–148, 2005.
- FREITAS, S.S.; CARDOSO, C.O.; CAMARGO, O.A.; LOPES, E.S. Mineralização e imobilização de nitrogênio em solo tratado com torta de filtro e carbonato de cálcio. *R. Bras. Ci. Solo*, 12:243-248, 1988.
- GONÇALVES, J.L.M.; VAZ, L.M.S.; AMARAL, T.M. ; POGGIANI, F. Aplicabilidade de bio-sólido em plantações florestais: II Efeito na fertilidade do solo, nutrição e crescimento das árvores. In: BETTIOL, W. & CAMARGO, BETTIOL, W. & CAMARGO, O.A. *Impacto ambiental do uso do lodo de esgoto*. São Paulo: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2000. p.179-196.
- HAYES, M.H.B.; MACCARTHY, P.; MALCOLM, R.L. et al. The search for structure: setting the scene. In HAYES, M.H.B. et al. (Ed). *Humic substances II*. New York: John Wiley and Sons, 1989. p. 3-31.

- HEDLEY, M.J.; STEWART, J.W.B. & CHAUHAN, B.S. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46:970-976, 1982.
- JORGE, J.A.; CAMARGO, O.A. & VALADARES, J.M.A.S. Condições físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro quatro anos após aplicação de lodo de esgoto e calcário. *R. Bras. Ci. Solo*, 15:237-240, 1991.
- KABATA P.A. & PENDIAS, H. Trace elements in soils and plants. Boca Raton, FL: CRC Press, 2000. 331p.:il.
- KEMPERS, A.J. & ZWEERS, A. Ammonium determination in soil extracts by the salicylate method. *Commun. Soil Sci. Plant. Anal.*, 17:715-723, 1986.
- KIEHL, E.J. Fertilizantes orgânicos. Piracicaba: CERES, 1985. p. 407-459.
- KIEHL, E.J. Adubação orgânica: 500 perguntas & respostas. Piracicaba: E.J. Kiehl, 2005. 234p.: il.
- MALAVOLTA, E. Manual de química agrícola: Adubos e adubação. 3^{er} ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 594 p.:il.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. San Diego CA.: Academic Press. 1995. 889 p.:il.
- MELO, W.J. & MARQUES, M.O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: BETTIOL, W. & CAMARGO, O.A., (Eds). Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. p.109-141.
- MORGAN, P.H.; MERCER L.P.; FLODIN N.W. General model for nutritional responses of higher organisms. *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 72: 4327-4331, 1975.
- MURPHY, J. & RILEY, J.P. A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta*, 27:31-36, 1962.
- OLIVEIRA, F.C.; MARQUES, M.O.; BELLINGIERI, P.A.; PERECIN, D. Lodos de esgoto como fonte de macronutrientes para a cultura do sorgo granífero. *Sci. Agric.*, 52:360-367, 1995.
- OLIVEIRA, M.W.; TRIVELIN, P.C.; PENATT, C.P.; PICCOLO, M.C. Decomposição e liberação de nutrientes da palha de cana de açúcar em campo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 32:2359-2362, 1999.
- PAUL, E. A. & CLARK, F. E. Dynamics of residue decomposition and soil organic matter turnover. In: *Soil microbiology and biochemistry*. 2nd ed. San Diego: Academic, 1996. p. 158-179.
- RIBEIRO JUNIOR, J.I. Análises estatísticas no SAEG. Viçosa: UFV., 2001. 301 p.:il.

- ROCHA, G. N.; GONÇALVES, J. L.; & MOURA I. M. Mudanças da fertilidade do solo e crescimento de um povoamento de eucalipto fertilizado com bio-sólido. R. Bras. Ci. Solo, 28:623-639, 2004.
- ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F.T.; DONZELE, J.L. Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa. 2000. 141p.:il.
- SIQUEIRA, J.O. Biotecnologia do solo: Fundamentos e perspectivas. ABEAS, Lavras: ESAL, FAEPE. 1988, 236 p.:il.
- STEVENSON, F.J. & COLE, M.A. Cycles of soil: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients. New York: John Willey & Sons. 1999 p. 66-68.
- TEDESCO, M.J.; SELBACH, P.A.; GIANELLO, C. & CAMARGO, F.A. Resíduos orgânicos no solo e os impactos no ambiente. In: SANTOS, G. de A. & CAMARGO, F.A. Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Gênese. 1999. p 159-192.
- VAZ, L.M.S. & GONÇALVES, J.L.M. Uso de bio-sólidos em povoamento de *Eucalyptus grandis*: Efeito em atributos químicos do solo, no crescimento e na absorção de nutrientes. R. Bras. Ci. Solo, 26:747-758, 2002.
- XIN, T.H.; TRAINA, S.J. & LOGAN, T.J. Chemical properties of municipal solid waste compost. J. Environ. Qual., 21: 318-329, 1992.
- YANG, J.E.; SKOGLEY, E.O.; SCHAFF, B.E.; KIM, J.J. A simple spectrometric determination of nitrate in water, resin, and soil extracts. Soil Sci. Soc. Am. J., 62:1108-1115, 1998.
- YEOMANS, J.C. & BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 19:1467-1476, 1988.

CAPÍTULO III

DECOMPOSIÇÃO DE MATERIAIS VEGETAIS E MINERALIZAÇÃO DE FORMAS ORGÂNICAS DE NITROGÊNIO E FÓSFORO

Resumo: A fim de determinar o potencial fertilizante de materiais vegetais, avaliou-se a perda de matéria seca e a liberação de nutrientes provenientes da decomposição de *Calopogonium mucunoides* (calopogônio), *Crotalaria juncea* (crotalária), *Brachiaria decumbens* (braquiária), *Stizolobium aterrimum* (mucuna), *Inga edulis* (ingá), *Leucaena leucocephala* (leucena), *Cajanus cajan* (guandu) e *Amaranthus spinosus* (caruru). Experimentos de campo foram instalados utilizando o método das sacolas de decomposição nas localidades Praia D'Anta e Pedra Redonda, no município de Araponga, MG. O trabalho foi complementado com ensaios de decomposição e mineralização de formas orgânicas de N e de P em ambiente controlado. Os sítios experimentais estão localizados em uma área com regime médio anual de 1.320 mm de precipitação, temperatura máxima de 25,4 °C e mínima de 13,7 °C, contrastando em exposição solar, topografia e altitude. A decomposição e liberação de nutrientes dependeram das propriedades bioquímicas dos materiais vegetais. As percentagens de massa seca remanescente correlacionaram-se com a relação lignina+polifenóis/nitrogênio (Praia D'Anta $r = 0,88^{**}$ e Pedra Redonda $r = 0,79^{**}$) e a capacidade dos polifenóis em complexar proteína (Praia D'Anta $r = 0,86^{**}$ e Pedra Redonda $r = 0,71^{**}$). Os materiais vegetais se decomposaram em média 18% menos no sítio Pedra Redonda, devido ao efeito de fatores edáficos e ambientais. Para um período de incubação de 30 dias, em ambiente controlado, os resultados do experimento de respirometria apresentaram valores acumulados de C-CO₂ que se correlacionaram com os teores de C solúvel em água ($r = 0,60^{**}$), polifenóis totais solúveis ($r = -0,83^{**}$) e reatividade dos polifenóis em complexar proteína ($r = -0,80^{**}$). Para um período de incubação de 60 dias, os resultados do experimento de mineralização indicaram maior mineralização de N para os tratamentos com caruru (1.700 mg N kg⁻¹) e crotalária (792 mg N kg⁻¹), em relação àqueles com braquiária (545 mg N kg⁻¹) e leucena (240 mg N kg⁻¹). Para um período de 45 dias, os maiores teores de P inorgânico foram determinados para os tratamentos com caruru (84,83 mg P kg⁻¹) e braquiária (65,19 mg P kg⁻¹) em relação àqueles com leucena (59,85 mg P kg⁻¹) e crotalária (34,45 mg P kg⁻¹).
Termos de indexação: decomposição de materiais vegetais, lignina, polifenóis, mineralização, nitrogênio, fósforo.

CHAPTER III

DECOMPOSITION OF GREEN MANURES AND MINERALIZATION OF NITROGEN AND PHOSPHORUS FROM ORGANIC FORMS

Abstract: To determine the fertility potential of green manures, the loss of dry matter and release of nutrients due to the decomposition of *Calopogonium mucunoides* (calopogônio), *Crotalaria juncea* (crotalária), *Brachiaria decumbens* (braquiária), *Stizolobium aterrimum* (mucuna), *Inga edulis* (ingá), *Leucaena leucocephala* (leucena), *Cajanus cajan* (guandu) e *Amaranthus spinosus* (caruru) were evaluated. Field experiments were carried out using the litterbag method in Praia D'Anta and Pedra Redonda, Araponga, MG. Experiments of decomposition and mineralization from organic forms of nitrogen and phosphorus under controlled conditions complemented the fieldwork. The experimental plots are localized in an area with annual mean precipitation of 1320 mm, maximum and minimum temperature of 25,4 and 13,7°C, contrasting in solar exposition, topography and altitude. The decomposition and release of nutrients were associated to the biochemical characteristics of the green manures. The percentages of reminescent dry matter were correlated with the lignin+polyphenols/nitrogen ratio (Praia D'Anta, $r = 0,88^{**}$ and Pedra Redonda, $r = 0,79^{**}$); and polyphenol's capability to complex protein (Praia D'Anta, $r = 0,86^{**}$ and Pedra Redonda, $r = 71^{**}$). As an average, the green manures decomposition was depressed at 18% in Pedra Redonda, it was due to soil and environmental conditions. For an incubation period of 30 days under controlled conditions, the results of the experiment of respiration showed cumulative values of C-CO₂ that were correlated with the soluble water carbon ($r = 0,60^{**}$), total soluble polyphenols ($r = -0,83^{**}$) and polyphenol's capability to complex protein ($r = -0,80^{**}$). For an incubation period of 60 days, the experiment of nitrogen mineralization showed greater mineralization of N for the treatments with caruru (1700 mg N kg⁻¹) and crotalária (792 mg N kg⁻¹), in relation to those with braquiária (545 mg N kg⁻¹) and leucena (240 mg N kg⁻¹). For a period of 45 days, the treatments with greater production of inorganic phosphorus were those with caruru (84,83 mg P kg⁻¹) and braquiária (65,19 mg P kg⁻¹), in relation to those with leucena (59,85 mg P kg⁻¹) and crotalária (34,45 mg P kg⁻¹).

Index terms: decomposition of green manures, lignin, polyphenols, mineralization, nitrogen, phosphorus.

1. Introdução

Materiais vegetais contribuem tanto no curto, manejo da nutrição do solo e suplemento de nutrientes para as plantas, quanto no longo prazo, mantendo níveis adequados de matéria orgânica no solo e promovendo a sustentabilidade dos sistemas agrícolas (Paul & Clark, 1996). Muitas práticas utilizadas nos sistemas de produção convencional produzem perda da matéria orgânica do solo (Vargas & Hungria, 1997), o que pode ser revertido ou diminuído mediante a aplicação de técnicas que preservam a matéria orgânica (Kern & Johnson, 1993). A adubação orgânica é uma das praticas mais promissoras e viáveis nesse sentido, pois os resultados de pesquisas e experiências locais durante vários anos têm comprovado sua eficiência na cobertura e na proteção do solo, na diminuição da infestação de nematóides e na melhoria da qualidade física, química e biológica do solo (Calegari et al., 1993). A decomposição dos materiais vegetais depende de suas propriedades bioquímicas (Seneviratne, 2000; Martens, 2000), dos fatores edáficos (Vargas & Hungria, 1997) e das condições ambientais nas quais são decompostos pelos microrganismos (Quemada & Cabrera, 1997; Vityakon & Dangthaisong, 2005).

Na agricultura, leguminosas são usadas como adubos verdes, proporcionando uma fonte econômica de nutrientes, principalmente N, cuja eficiência pode ser incrementada mediante a escolha e mistura com outras plantas para liberar nutrientes em sincronia com a demanda das culturas (Seneviratne, 2000). De maneira geral, a escolha desses materiais não está baseada em critérios de relação direta. Por exemplo, materiais vegetais com maiores teores de N, mineralizarão mais rápido e em maior quantidade (Palm & Sanchez, 1991). Características bioquímicas como o teor de polifenóis totais e sua capacidade em complexar proteína são fatores importantes nas transformações do resíduo orgânico (Martens, 2002), de tal maneira que materiais com maiores teores de lignina e polifenóis promovem conservação da matéria orgânica do solo (Tian & Brussard, 1997).

Esses fatores são importantes nas áreas tropicais, principalmente quando se implementam sistemas orgânicos para culturas perenes, como é o caso do café, uma vez que a utilização de plantas ricas em lignina ou polifenóis capazes de formar polímeros com várias formas de N manterá ao longo do tempo níveis adequados de matéria orgânica no solo, incrementando a sustentabilidade do agroecossistema tropical (Sanchez & Logan, 1992).

Portanto, o uso eficiente de materiais vegetais como fertilizantes orgânicos deve-se iniciar com sua caracterização e conhecimento da dinâmica de biodegradação e mineralização de nutrientes. Partindo da hipótese de que o tipo de material vegetal e os fatores ambientais interferem na decomposição e liberação de nutrientes, objetivou-se: caracterizar química e bioquimicamente materiais vegetais; avaliar sua decomposição e liberação de N e P em duas localidades de produção de café em sistema de exploração familiar da Zona da Mata de Minas Gerais, bem como, avaliar a sua decomposição (evolução de C-CO₂) e mineralização de formas orgânicas de N e P em condições de laboratório.

2. Material e Métodos

2.1 Experimentos de campo

Em duas localidades de produção de café em sistema de exploração familiar, no município de Araponga, MG., avaliou-se a decomposição e liberação de N e P provenientes da biodegradação de *Calopogonium mucunoides* (calopogônio), *Crotalaria juncea* (crotalária), *Brachiaria decumbens* (braquiária), *Stizolobium aterrimum* (mucuna), *Inga edulis* (ingá), *Leucaena leucocephala* (leucena), *Cajanus cajan* (guandu) e *Amaranthus spinosus* (caruru) durante um período de 150 dias (março a agosto de 2005). Os sítios experimentais estão localizados em uma área caracterizada por regime médio anual de 1.320 mm de precipitação, temperatura média máxima de 25,4 °C e mínima de 13,7 °C; contrastando altitude, exposição solar e condição edáfica. As características desses sítios são: Praia D'Anta, a 790 m de altitude, em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, horizonte superficial A moderado, relevo suave ondulado, exposição solar face sul e coordenadas 20° 38'47'' sul e 42° 32'30'' oeste; e Sítio Pedra Redonda, a 950 m de altitude, em Latossolo Vermelho-Amarelo, horizonte superficial A proeminente, relevo forte-ondulado, exposição solar face oeste e coordenadas de 20° 38'33'' sul e 42° 30'57'' oeste. As características químicas dos solos desses sítios, de acordo com Lima et al. (2005), estão indicadas no Quadro 1.

Quadro 1. Características químicas dos solos das localidades Praia D'Anta e Pedra Redonda, Araponga, Minas Gerais

Localidade	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	SB	t	T	V	m	MO	P-rem
	H ₂ O	mg dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³						%		dag kg ⁻¹	mg L ⁻¹
Praia D' Anta	5,16	1,7	80	1,89	0,65	0,6	2,74	3,34	14,3	19,1	18,0	5,74	14,2
Pedra Redonda	4,82	1,8	74	1,77	0,7	0,6	2,66	3,26	13,3	20,1	18,4	4,89	10,5

Fonte: Lima et al., (2005).

SB: soma de bases trocáveis; t: capacidade de troca catiônica efetiva; T: capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V: índice de saturação de bases; m: índice de saturação de alumínio; MO: 1,724 (carbono orgânico)-Walkley-Black; P-rem: fósforo remanescente.

Os materiais vegetais utilizados foram provenientes da parte aérea de leguminosas plantadas na entrelinha de plantações de café nos sítios experimentais, ou de materiais espontâneos e arbustivos nas vizinhanças. Para caracterização química e bioquímica, três subamostras de cada material foram secas em estufa com circulação forçada de ar a 65°C durante 72 horas, moídas e passadas em peneira de 2 mm. Esses materiais foram caracterizados quanto ao teor de C orgânico total, por oxidação úmida com aquecimento externo (Yeomans & Bremner 1988); N total, pelo método Kjeldahl; elementos totais após digestão nítrico-perclórica, determinando nos extratos os teores dos elementos S, Al, Fe, Mn, Cu, Cr, Cd, Ni, Pb e Zn, por espectrometria de emissão de plasma; Ca e Mg, por espectrofotometria de absorção atômica; K, por espectrometria de emissão de chama; e P, por colorimetria (Murphy & Riley, 1962). A caracterização bioquímica consistiu da determinação do C solúvel em água, por colorimetria, utilizando Mn(III)-pirofosfato em meio ácido como agente oxidante (Bartlett & Ross, 1988); análise dos componentes da parede celular pelo método seqüencial (Van Soest et al., 1991), utilizando uma solução de H₂SO₄ 12 mol L⁻¹ na determinação da lignina; carboidratos totais solúveis, pelo método da antrona (Brink et al., 1960); polifenóis totais solúveis, extraídos com metanol (50%) e determinados por colorimetria, utilizando-se o reagente de Folin-Denis; e a capacidade dos polifenóis em complexar proteína pelo método Blue-Dye Labelled Bovine Serum Albumin (BSA), (Anderson & Ingram, 1989).

A decomposição dos materiais foi avaliada de acordo com Verhoef (1995): a massa de cada material fresco equivalente a 100 g foi colocada dentro de sacolas de polietileno com dimensões de 30 x 30 cm e malha de 2 x 4 mm, as quais foram colocadas abaixo da copa dos cafezais e coletadas aos 15, 30, 60, 90, 120 e 150 dias

após a instalação do experimento. Após cada coleta, o material vegetal contido em cada sacola de polietileno foi limpo e seco em estufa com circulação forçada de ar a 65°C durante 72 horas. Para determinar a variação percentual da perda de massa, a cada coleta, o material seco foi pesado. Quatro subamostras foram moídas e passadas em peneira de 2 mm, caracterizadas quanto ao teor de N total, pelo método Kjeldahl e, após digestão nítrico-perclórica, P, por colorimetria (Murphy & Riley, 1962).

O experimento foi implementado com quatro repetições por tratamento, tendo sido utilizado o delineamento em blocos casualizados. Nas análises estatísticas adotou-se o esquema de parcelas subdivididas em função do tempo, no qual os materiais vegetais corresponderam às parcelas e as avaliações sucessivas às subparcelas. As análises estatísticas foram processadas utilizando-se o programa SAEG, realizando análise de variância, teste de médias (Tukey, $\alpha=0,05$) e regressão não linear em conformidade com o modelo de decomposição e liberação de nutrientes de Wieder & Lang (1982):

$$\text{MSR ou NR} = A e^{-kt} + (100 - A)$$

em que:

MSR = percentagem de matéria seca remanescente;

NR = percentagem do nutriente remanescente;

A = percentagem correspondente ao compartimento mais facilmente decomponível;

(100-A) = percentagem do compartimento mais recalcitrante;

k = taxa constante de decomposição do material vegetal ou de liberação de nutrientes;

t = tempo.

2.2 Experimentos de laboratório

Com base no critério de qualidade de Tian et al. (1995), que consideram prioritário na decomposição e mineralização de matérias vegetais a relação C/N, o teor de polifenóis e lignina, objetivou-se formar grupos diferentes de materiais, utilizando análise multivariada e técnica de componentes principais (Ribeiro Junior, 2001). Após o agrupamento, selecionou-se um material representativo de cada grupo para realizar ensaios de decomposição e mineralização de formas orgânicas de N e de P em ambiente controlado. Nesses ensaios utilizaram-se amostras de um solo seco e peneirado com malha de 2 mm, proveniente do horizonte B de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico argiloso, sem correção de acidez, e com as seguintes características: pH em

água de 4,57; 0,6 mg P dm⁻³; 6 mg K dm⁻³; H+Al de 5,9 cmol_c dm⁻³; soma de bases trocáveis (SB) de 0,04 cmol_c dm⁻³; capacidade de troca catiônica (CTC) de 5,94 cmol_c dm⁻³; capacidade máxima de adsorção de P (CMAP) de 1,32 mg g⁻¹; e teor de matéria orgânica de 3,08 dag kg⁻¹. A massa equivalente a 2 g de C de cada material vegetal foi misturada a 100 g de solo seco (Paul & Clark, 1996) e acondicionada em potes plásticos cilíndricos, com 15 cm de altura e 10 cm de diâmetro (unidade experimental). Também foi incluída uma testemunha (apenas solo) para fins de comparação. O experimento foi conduzido durante 30 dias com umidade equivalente a 80% da capacidade de campo e temperatura de 25 ± 1°C em câmara de incubação, segundo delineamento experimental inteiramente casualizado com quatro repetições.

Nas unidades experimentais foram colocados copos plásticos de 50 cm³, onde o C-CO₂ respirado foi capturado em solução de NaOH 0,5 mol L⁻¹, formando carbonato com a adição de BaCl₂ 0,05 mol L⁻¹, e dosado por meio de titulação com HCl 0,25 mol L⁻¹. Foram feitas quantificações a cada dois dias (sete determinações) inicialmente e a cada três dias (cinco determinações) posteriormente. A massa de C-CO₂ evoluída foi expressa em termos absolutos (Anderson, 1982) e a cinética de decomposição ajustada pelo modelo de saturação de Hill (Morgan et al., 1975):

$$Y = \frac{\alpha * X^{\delta}}{\gamma + X^{\delta}} + \varepsilon$$

em que:

Y= CO₂ evoluído (mg CO₂/100 g de solo);

α = parâmetro relativo à assíntota, que caracteriza a saturação;

γ = parâmetro de crescimento da função, chamado também de constante do processo;

δ = ordem aparente do processo;

X = tempo; e

ε = erro aleatório.

Nas análises estatísticas adotou-se o esquema de parcelas subdivididas em função do tempo, no qual os materiais selecionados corresponderam às parcelas e as avaliações sucessivas às subparcelas. Análise de variância, teste de médias (Tukey, α=0,05) e regressão foram realizados utilizando o programa SAEG.

Utilizando o mesmo critério de incubação do ensaio de decomposição, avaliou-se a mineralização de formas orgânicas de N e de P durante oito e seis semanas, respectivamente. Em amostras coletadas semanalmente, foram determinados o

nitrogênio amoniacal (N-NH₄⁺) e o nítrico (N-NO₃⁻), extraídos com KCl 1 mol L⁻¹ e determinados por colorimetria segundo Kempers & Zweers (1986) e Yang et al. (1998), respectivamente. O N inorgânico (Ni) foi calculado como a soma do N-NH₄⁺ + N-NO₃⁻. O modelo exponencial simples foi ajustado aos teores observados de N inorgânico:

$$Ni = A e^{k \cdot t}$$

em que:

Ni = teor acumulado de N inorgânico;

A = teor de N inorgânico proveniente do compartimento facilmente mineralizável;

k = taxa constante de mineralização; e

t = tempo.

Também foram determinados o P inorgânico (Pi) e o P total (Pt) mediante fracionamento químico das formas lábeis (extração seqüencial com água, resina de troca aniônica e bicarbonato 0,5 mol L⁻¹), com base no método de Hedley et al. (1982), modificado. O P orgânico (Po) foi obtido pela diferença entre Pt e Pi. O modelo linear response plateau foi ajustado aos dados observados de Pi acumulado. O experimento também foi instalado em delineamento experimental inteiramente casualizado, com quatro repetições, em esquema de parcelas subdivididas no tempo; as análises estatísticas foram feitas da mesma forma anteriormente descrita.

3. Resultados e Discussão

Os materiais vegetais apresentaram teor médio de 45 dag kg⁻¹ de C, os coeficientes de variação evidenciaram que os macronutrientes com maior variação foram K, Ca e Mg; o S e P apresentaram variação intermediária, e o N, pouca variação. O caruru apresentou maior teor de macronutrientes em relação aos demais materiais. A leucena apresentou maior teor de N e S, bem como teores intermediários de Ca, Mg e K. A braquiária apresentou os menores teores de macronutrientes, com exceção do Mg. Os outros materiais mostraram teores intermediários de N, Ca, Mg, e K (Quadro 2). Com exceção da leucena e do caruru, os materiais apresentaram menor teor de P e S, conseqüentemente, elevadas relações médias de C/P = 523 e C/S = 654. Para todos os materiais os teores de Cr, Cd e Pb foram menores que os estabelecidos como referência por Kabata & Pendias (2000).

Quadro 2. Características químicas (resultados expressos com base na matéria seca) e umidade dos materiais vegetais

Variável	Unidade	Material								Média	CV (%)
		Calopogônio	Crotalária	Braquiária	Mucuna	Ingá	Leucena	Guandu	Caruru		
C	dag kg ⁻¹	46,29	46,85	42,23	43,10	46,28	44,28	48,04	37,64	44,34	7,55
N	dag kg ⁻¹	3,42	3,42	1,78	2,87	3,24	4,51	3,71	3,94	3,36	23,96
P	dag kg ⁻¹	0,22	0,19	0,18	0,19	0,20	0,21	0,29	0,40	0,24	31,93
S	dag kg ⁻¹	0,19	0,13	0,15	0,18	0,14	0,31	0,19	0,30	0,2	34,9
C/N		16	16	28	18	17	11	15	11	16,53	32,24
C/P		544	637	606	586	598	545	428	243	523,38	24,79
C/S		650	961	751	604	882	381	674	335	654,86	33,39
Ca	dag kg ⁻¹	1,11	0,81	0,60	1,09	0,52	1,54	0,68	2,34	1,09	55,85
Mg	dag kg ⁻¹	0,41	0,25	0,66	0,19	0,19	0,31	0,18	0,50	0,34	51,8
K	dag kg ⁻¹	1,04	1,36	1,03	1,04	1,14	1,57	1,50	4,38	1,63	69,27
Fe	mg kg ⁻¹	659,09	217,86	299,41	161,85	383,79	369,69	284,56	1180,57	444,6	74,84
Mn	mg kg ⁻¹	46,25	65,89	67,87	94,02	145,00	61,33	85,37	28,21	74,24	47,49
Cu	mg kg ⁻¹	12,54	6,34	5,28	11,06	9,70	14,64	14,99	7,55	10,26	35,94
Zn	mg kg ⁻¹	25,21	14,74	24,47	27,38	26,40	33,26	28,27	28,55	26,04	20,33
Cr	mg kg ⁻¹	3,49	1,07	2,95	1,04	1,79	3,40	3,82	3,75	3,04	61,66
Cd	mg kg ⁻¹	0,53	0,13	0,02	0,04	0	0,06	0	0,12	0,11	156,34
Pb	mg kg ⁻¹	1,26	0,86	1,95	0,95	0,03	0,55	1,36	2,88	1,23	71,25
Umidade	%	77,44	74,8	72,06	72,59	69,23	75,63	65,9	85,37	74,13	7,87

CV: coeficiente de variação entre os diferentes materiais.

A fração do C de fácil biodegradação, representada pelo C solúvel em água e carboidratos, foi maior para o ingá e guandu. Esses mesmos materiais também mostraram maiores teores de C orgânico total. A análise de fibra insolúvel em detergente neutro e ácido permitiu identificar grupos de materiais ricos em hemicelulose (braquiária, mucuna, crotalária e caruru), celulose (calopogônio, braquiária, mucuna, e guandu) e lignina (leucena, ingá e guandu). Os maiores teores de fibra insolúvel em detergente ácido, que indicam maior proporção dos componentes fibrosos mais resistentes à decomposição (lignocelulose), foram apresentados pelo ingá, leucena e guandu. Também foram identificados três grupos de materiais com respeito a seu teor de polifenóis: com teores < 2% (caruru e braquiária), de 2 a 4% (crotalária e calopogônio) e > 4% (guandu, leucena e ingá). Caruru, mucuna e crotalária apresentaram polifenóis com menor capacidade em complexar proteína; o calopogônio, capacidade intermediária; e a braquiária, guandu, leucena e ingá capacidade maior (Quadro 3).

Segundo Haynes (1986), a concentração de N, polifenóis e lignina é de maneira geral o fator que controla a decomposição e mineralização dos materiais vegetais. Fox et al. (1990), em termos de decomposição, propuseram a relação polifenóis/nitrogênio como indicador da qualidade dos materiais vegetais. Palm & Sanchez (1991) também têm explorado estes conceitos, propondo a relação lignina+ polifenóis/nitrogênio como indicador da decomposição e mineralização de N nos trópicos.

Palm et al. (2001), com base nos teores de N, lignina e polifenóis, propuseram categorias de uso para materiais vegetais: Categoria 1, materiais com teor de N > 2,5 dag kg⁻¹, de lignina < 15% e de polifenóis < 4%; Categoria 2, materiais com teor de N > 2,5 dag kg⁻¹, de lignina > 15% e de polifenóis > 4%; Categoria 3, materiais com teor de N < 2,5 dag kg⁻¹ e de lignina < 15%; Categoria 4, materiais com teor de N < 2,5 dag kg⁻¹ e lignina > 15%. De acordo com essa classificação: o caruru, a mucuna, o calopogônio e a crotalária seriam materiais de fácil decomposição e de incorporação direta ao solo (Categoria 1); o cajanus, a leucena e o ingá seriam materiais para misturar com fertilizantes minerais ou materiais da Categoria 1 (Categoria 2); e a braquiária seria utilizada como matéria prima na elaboração de compostos (Categoria 3). Nenhum material apresentou potencial para controle da erosão do solo (Categoria 4).

Quadro 3. Análise bioquímica dos materiais vegetais e relações lignina, nitrogênio e polifenóis (resultados expressos com base na matéria seca)

Variável	Unidade	Material								Média	CV (%)
		Calopogônio	Crotalária	Braquiária	Mucuna	Ingá	Leucena	Guandu	Caruru		
FDN	%	65,16	65,88	74,29	69,37	69,87	69,02	70,01	62,28	66,74	8,48
FDA	%	54,89	48,84	48,06	51,16	54,81	54,59	58,7	44,26	51,72	8,56
HEM	%	10,28	17,03	26,23	18,21	15,06	14,43	11,31	18,01	15,02	40,35
CEL	%	40,03	35,99	38,47	36,73	29,63	27,01	39,00	31,86	32,28	15,02
LIG	%	13,59	12,35	7,80	12,32	23,96	26,87	18,45	11,06	15,8	42,22
Cag	%	5,47	6,10	5,52	6,75	8,40	4,93	5,77	3,78	5,84	23,12
CARB	%	1,80	2,46	1,12	2,77	4,93	3,96	4,17	2,12	3,29	44,7
POL	%	2,49	2,32	1,83	1,98	5,13	6,98	4,35	1,87	3,37	56,68
BSA	$\mu\text{g mg}^{-1}$	67,63	29,86	48,76	37,51	194,01	114,93	84,92	27,76	75,67	74,54
LIG/N		3,97	3,61	4,38	4,29	7,40	5,96	4,97	2,81	4,67	30,77
POL/N		0,73	0,68	1,03	0,69	1,58	1,55	1,17	0,47	0,99	42,25
LIG/POL		5,46	5,32	4,26	6,22	4,67	3,85	4,24	5,91	4,99	17,26
(LIG+POL)/N		4,70	4,29	5,41	4,98	8,98	7,51	6,15	3,28	5,66	32,45

FDN: fibra insolúvel em detergente neutro; FDA: fibra insolúvel em detergente ácido; HEM: hemicelulose; CEL: celulose; LIG: lignina; Cag: carbono solúvel em água; CARB: carboidratos totais solúveis; POL: polifenóis totais solúveis; BSA: capacidade dos polifenóis em complexar proteína.

3.1 Decomposição dos materiais vegetais

Em ambas as localidades a biomassa remanescente, expressa por meio da matéria seca, decresceu para todos os materiais principalmente durante os primeiros 15 dias de decomposição. Isso decorre da perda de compostos solúveis lábeis e de fácil decomposição (Lupwayi et al., 2004).

Na localidade Praia D'Anta, os materiais com maiores percentagens de massa remanescente após 15 dias de decomposição foram o ingá e a braquiária, e os com menores, a mucuna e o caruru (Figura 1). O ajuste do modelo de decomposição de Wieder & Lang às percentagens observadas de matéria seca remanescente durante os 150 dias de decomposição permitiu identificar três padrões de decomposição: aqueles materiais de rápida decomposição (caruru e mucuna), intermediária (crotalária, calopogônio, guandu e leucena) e lenta (braquiária e ingá). Esse agrupamento também foi compatível com a meia vida dos materiais vegetais no processo de decomposição. Estimou-se para o caruru, crotalária e mucuna maior percentagem de formas facilmente biodegradáveis de C (estimador do parâmetro A, Quadro 4), enquanto ingá e braquiária mostraram maior recalcitrância. A leucena e o calopogônio apresentaram meia vida semelhante, na ordem de 35 dias, porém a primeira se destacou por apresentar maior recalcitrância.

Na localidade de Pedra Redonda não se observou mudança no padrão de decomposição durante os primeiros 15 dias, pois o guandu e ingá apresentaram os maiores teores de matéria seca remanescente, enquanto o caruru e a mucuna os menores (Figura 1). Contudo, as maiores mudanças de decomposição foram observadas após os primeiros 15 dias. O ajuste do modelo de Wider & Lang às percentagens observadas de matéria seca remanescente permitiu identificar padrões de decomposição um pouco diferentes: rápida decomposição (mucuna e caruru), intermediária (calopogônio e crotalária) e lenta (guandu, braquiária, leucena e ingá). Em comparação com a localidade de Praia D'Anta, o calopogônio, crotalária, guandu e leucena apresentaram redução na percentagem de decomposição no comportamento facilmente biodegradável (estimador do parâmetro A, Quadro 4), o que implicou no incremento de seu tempo de meia vida.

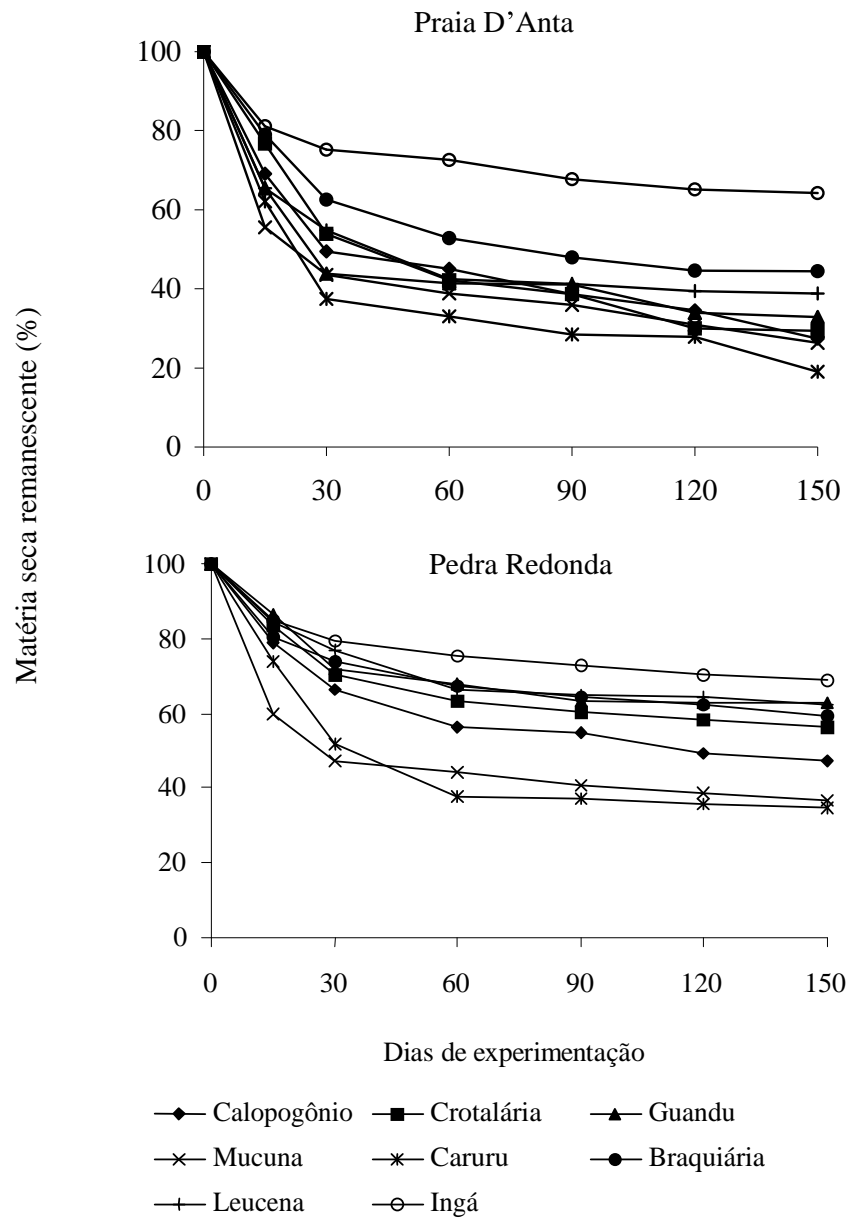


Figura 1. Percentagens de matéria seca remanescente para diferentes materiais vegetais, ao longo do período experimental.

Quadro 4. Estimadores dos parâmetros, intervalos de confiança assintóticos (IC): limite inferior (LI), limite superior (LS), quadrado do coeficiente de correlação e meia vida da decomposição de materiais vegetais em Praia D'Anta e Pedra Redonda

Praia D'Anta					
Tratamento	Estimadores dos parâmetros ⁽¹⁾	IC		R ²	t (1/2) dias
		LI	LS		
Calopogônio	A= 66.49	59.40	73.57	0,97	33
	k= -0,040	- 0,057	- 0,023		
Crotalária	A= 69,90	64,11	75,69	0,98	42
	k= -0,030	- 0,039	- 0,022		
Guandu	A= 63,83	58,69	68,97	0,98	27
	k= -0,057	- 0,077	- 0,036		
Mucuna	A= 67,43	61,86	73,00	0,97	21
	K= - 0,065	- 0,091	- 0,039		
Caruru	A= 74,67	68,57	80,78	0,98	22
	K= - 0,050	- 0,068	- 0,032		
Braquiária	A= 55,59	53,42	57,77	0,99	70
	K= - 0,033	- 0,038	- 0,029		
Leucena	A= 60,19	58,01	62,37	0,99	35
	k= - 0,051	- 0,059	- 0,043		
Ingá	A= 33,65	30,00	37,30	0,96	> 150
	K= - 0,045	-0,064	-0,025		

Pedra Redonda					
Calopogônio	A= 50.79	47.37	54.21	0,99	122
	K= - 0,034	- 0,042	- 0,026		
Crotalária	A= 42.50	40.39	44.61	0,99	> 150
	K= - 0,035	-0,042	- 0,029		
Guandu	A= 37,49	34,40	40,59	0,98	> 150
	K= - 0,037	- 0,048	- 0,025		
Mucuna	A= 60.18	57.21	63.15	0,99	25
	k= - 0,07	-0,088	- 0,053		
Caruru	A= 65.73	62.06	69.40	0,99	35
	K= - 0,040	-0,049	-0,031		
Braquiária	A= 38,12	34,88	41,37	0,98	> 150
	K= - 0,039	- 0,052	- 0,026		
Leucena	A= 37,20	35,60	38,78	0,99	> 150
	K= - 0,034	-0,040	-0,029		
Ingá	A= 29,27	26,78	31,76	0,98	> 150
	K= - 0,040	-0,053	-0,027		

⁽¹⁾ Para todos os materiais, os estimadores dos parâmetros foram significativos a 5% de probabilidade pelo teste de t

Ao final dos 150 dias de experimentação, os materiais vegetais apresentaram menor decomposição (em média, 18% menos) em Pedra Redonda que em Praia D'Anta. Os materiais de rápida decomposição apresentaram, em média, 12% a menos de matéria seca remanescente; os de intermediária, 25%; e os de decomposição lenta, 9%, quando comparados à localidade da Praia D'Anta. Em ambas as localidades a matéria seca remanescente correlacionou-se com as características químicas e bioquímicas dos materiais vegetais (Quadro 5). A relação C/N não correlacionou com a dinâmica de

decomposição dos materiais vegetais, que foi mais bem correlacionada com a capacidade dos polifenóis totais solúveis em complexar proteína, relações polifenóis/lignina e (lignina+polifenóis/ nitrogênio). Em Praia D'Anta, a massa seca remanescente correlacionou-se negativamente com a relação C/P, corroborando os resultados de Sinsabaugh & Moorhead (1994), os quais estabeleceram que a decomposição de materiais vegetais nos trópicos é regulada pela disponibilidade de P, em razão de os microrganismos do solo gastarem maior energia metabólica para estabelecer equilíbrio na relação C/P e deixarem de produzir lignocelulases necessárias na degradação dos materiais vegetais e obtenção de C. Essa correlação foi menor, porém significativa, na localidade de Pedra Redonda.

Quadro 5. Correlações entre as percentagens de massa seca remanescente e características químicas e bioquímicas dos materiais vegetais

Massa seca remanescente (%)	Praia D' Anta	Pedra Redonda
C/N	- 0,50 **	- 0,20
C/P	- 0,87 **	- 0,57 **
C/S	- 0,79 **	- 0,49
POL	0,52 **	0,67 **
BSA	0,86 **	0,71 **
LIG/N	0,89 **	0,76 **
POL/N	0,83 **	0,85 **
LIG/POL	- 0,59 **	- 0,87 **
LIG+POL/N	0,88 **	0,79 **

** correlações significativas a 1% de probabilidade pelo teste de t.

Segundo Cochran et al. (1988), as taxas de decomposição da fração facilmente decomponível e da fração recalcitrante dos materiais vegetais são controladas pela presença de populações diferentes de microrganismos: um grupo incapaz de utilizar a parte recalcitrante, mas capaz de crescer rapidamente, aproveitando a parte facilmente decomponível (carboidratos e aminoácidos), e outro grupo de crescimento lento, capaz de aproveitar a parte recalcitrante (lignocelulose). Esses autores propuseram que a decomposição da fração facilmente decomponível é função das características bioquímicas dos materiais, enquanto a decomposição da fração recalcitrante é influenciada pelas características bioquímicas e pelo efeito das condições do solo e ambiente. Coûteux, et al. (2002), apresentaram resultados similares em estudos de decomposição de materiais vegetais em condições tropicais, quando concluíram que a

fração lábil se decompôs independentemente da condição edáfico ambiental, enquanto que a taxa de decomposição da fração recalcitrante decresceu com o aumento da altitude e redução da temperatura.

Com base nestas premissas pode inferir-se que em ambas as localidades a fração pertencente ao compartimento facilmente decomponível (estimador do parâmetro A, Quadro 4) correlacionaria-se com as características químicas e bioquímicas dos materiais vegetais. Não obstante, a diferença da magnitude da decomposição dos materiais entre as localidades seria produto da decomposição do compartimento recalcitrante (100-A), influenciado pelas características bioquímicas e condições do solo e ambiente.

Nos trópicos, a pluviosidade exerce grande influência sobre a taxa de decomposição e a dinâmica de mineralização dos materiais vegetais (Thomas & Asakawa 1993; Vanlauwe et al., 1995). Em ambas as localidades, o processo de decomposição foi incipiente durante os primeiros 60 dias (meses de março e abril), devido às maiores pluviosidades ocorridas nesses meses. Posteriormente, observou-se menor taxa de decomposição, provavelmente em decorrência da menor pluviosidade e menor temperatura ocorrida nos meses de maio a julho. O processo de decomposição, aparentemente, é acelerado de novo no mês de agosto, pelo incremento de pluviosidade (Figura 2).

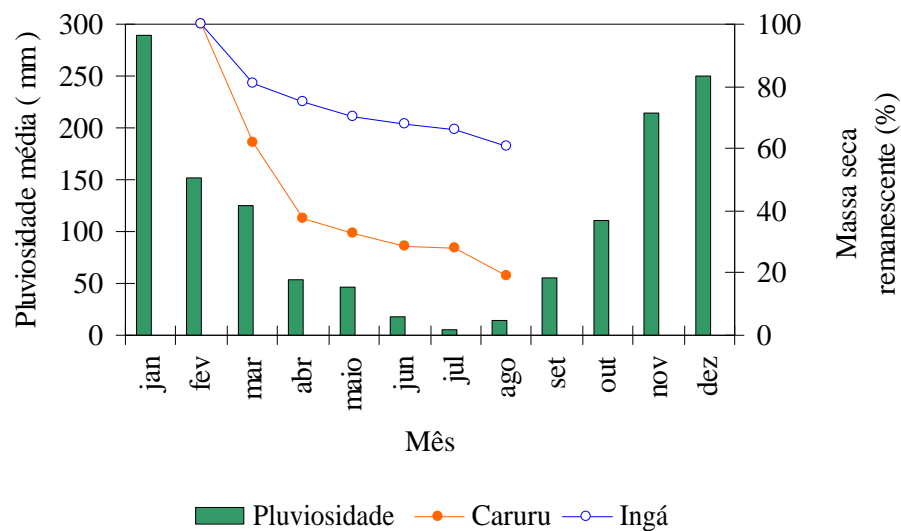


Figura 2. Percentagens de massa seca remanescente do ingá e caruru e pluviosidade média anual (mm) registradas durante o período de experimentação, na localidade de Praia D' Anta.

O sítio experimental em Praia D'Anta com exposição solar face sul apresentaria condições ideais de retenção de umidade, além das maiores temperaturas condicionadas pela menor altitude (790 m), comparada com a localidade da Pedra Redonda, que está a 950 m e apresenta face oeste de exposição ao sol. Nesse sentido, Coûteaux et al. (2002), mostraram que a decomposição da fração recalcitrante é função direta do incremento da temperatura e evaporação, indicando a sensibilidade térmica dos grupos de microrganismos que decompõem a fração recalcitrante dos vegetais. Já em condições de maiores altitudes, menor temperatura e pH, esses mesmos autores determinaram efeito depressor dos hidróxidos de alumínio sobre a mineralização dos materiais vegetais.

3.2 Liberação de nitrogênio

A liberação de N, quantificada pela perda de N total da massa seca remanescente, em ambas as localidades, apresentou padrões semelhantes aos da decomposição dos materiais vegetais. Na localidade de Praia D'Anta os materiais com maior liberação de N foram caruru, crotalária, calopogônio e guandu; intermediária, mucuna; e lenta, braquiária, leucena e ingá (Figura 3). Em Pedra Redonda o material com maior liberação de N foi o caruru; intermediária, guandu, calopogônio, crotalária e mucuna; e lenta, braquiária, leucena e ingá (Figura 3). O ajuste do modelo de Wieder & Lang às percentagens observadas de N remanescente em ambas as localidades (Quadro 6), mostrou que a percentagem de N remanescente do compartimento mais facilmente biodegradável foi maior para o caruru, crotalária, mucuna, calopogônio e guandu. A meia vida de liberação foi maior na localidade de Pedra Redonda, em decorrência da menor decomposição dos materiais vegetais. As percentagens de N remanescente também se correlacionaram com as características químicas e bioquímicas dos materiais vegetais (Quadro 7). A relação C/N não explicou a perda percentual de N, que foi mais bem explicada pelas relações entre lignina, polifenóis e N, concordando com as pesquisas de Haynes (1986), Palm & Sanchez (1991) e Mafongoya et al., (1997). As percentagens de N remanescente também se correlacionaram satisfatoriamente com a capacidade dos polifenóis em complexar proteína, BSA, que também é um indicador de decomposição e liberação (mineralização) de N de materiais vegetais em condições tropicais (Anderson & Ingram, 1989; Frigheto & Valarini, 2000).

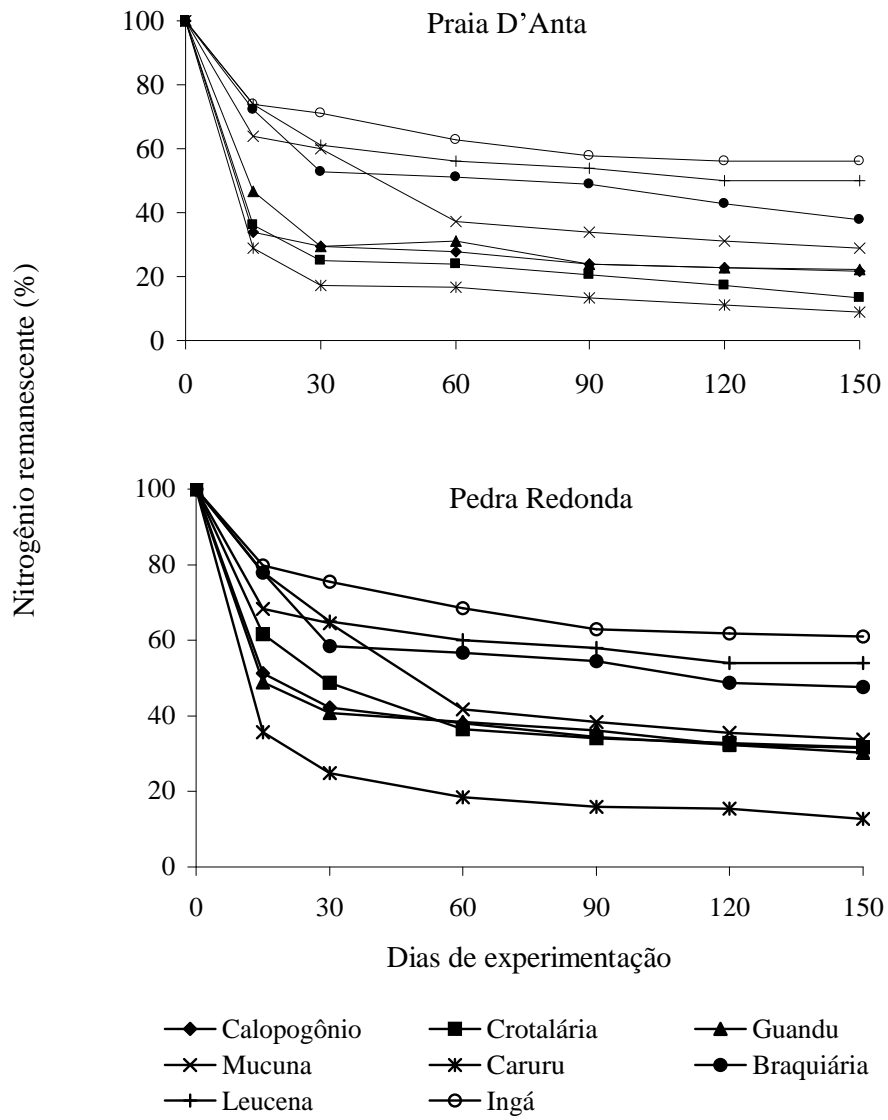


Figura 3. Percentagens de nitrogênio remanescente nos resíduos vegetais, ao longo do período experimental

Quadro 6. Estimadores dos parâmetros, quadrado do coeficiente de correlação e meia vida das percentagens de N remanescente em: A) Praia D'Anta e B) Pedra Redonda

Tratamento	Praia D' Anta				Pedra Redonda			
	Estimadores dos parâmetros ⁽¹⁾		R ²	t (1/2) dias	Estimadores dos parâmetros ⁽¹⁾		R ²	t(1/2) dias
	A	k			A	k		
Calopogônio	75,27	-0,130	0,99	8	65,83	-0,083	0,99	17
Crotalária	81,05	-0,099	0,98	10	67,04	-0,052	0,99	26
Guandu	75,39	-0,083	0,98	13	65,44	-0,095	0,98	15
Mucuna	69,87	-0,036	0,97	35	65,86	-0,032	0,97	45
Caruru	87,47	-0,108	0,99	8	83,99	-0,090	0,99	10
Braquiária	56,42	-0,048	0,96	95	49,83	-0,045	0,97	> 150
Leucena	48,47	-0,051	0,98	> 150	44,72	-0,046	0,99	> 150
Ingá	42,61	-0,046	0,97	> 150	37,97	-0,038	0,97	> 150

⁽¹⁾ Para todos os materiais, os estimadores dos parâmetros foram significativos a 5% de probabilidade pelo teste de t.

R²: quadrado do coeficiente de correlação, t(1/2): meia vida.

Quadro 7. Correlação linear simples entre as percentagens de nitrogênio remanescente e características químicas e bioquímicas dos materiais vegetais

N remanescente (%)	Praia D' Anta	Pedra Redonda
N	0,17	0,20
C/N	-0,25	-0,53
C/P	-0,87 **	-0,81 **
C/S	-0,80 **	-0,75 **
POL	0,69 **	0,64 **
BSA	0,82 **	0,77 **
LIG/N	0,91 **	0,89 **
POL/N	0,89 **	0,87 **
LIG/POL	-0,60 **	-0,65 **
LIG+POL/N	0,92 **	0,89 **

** correlações significativas a 1% de probabilidade pelo teste de t.

3.3 Liberação de fósforo

Em ambas as localidades a maior taxa de liberação de P ocorreu durante os primeiros 60 dias de experimentação, diminuindo posteriormente (Figura 4), provavelmente devido ao esgotamento das frações inorgânicas e frações orgânicas lábeis, restando, em maior parte, frações orgânicas não lábeis, como os fosfatos de inositol (Mueller-Harvey & Wild, 1986). O ajuste do modelo de Wieder & Lang às percentagens observadas de P remanescente (Quadro 8-A e B) permitiu identificar grupos de liberação de P. Na localidade de Praia D'Anta foram identificados como materiais de rápida liberação a mucuna e o guandu; intermediária, caruru, calopogônio e crotalária; e lenta, braquiária, leucena e ingá. Na localidade de Pedra Redonda foram identificados como de liberação rápida a mucuna e o caruru; intermediária, o calopogônio, crotalária, guandu e braquiária; e lenta, leucena e ingá. O P remanescente ao final dos 150 dias de experimentação em ambas as localidades não apresentou correlação com o teor de P total, e sim com a relação C/P dos materiais. Na localidade de Praia D'Anta, as percentagens de P remanescente correlacionaram-se com a relação C/P ($r = 0,7^{**}$), contudo na localidade de Pedra Redonda esta correlação foi pouco expressiva ($r = 0,5^{**}$).

De maneira geral, os materiais vegetais liberaram N e P de conformidade com seus padrões de decomposição, embora não tenha existido sincronismo entre a liberação de N e a de P, já que a meia vida da liberação deste último foi consideravelmente maior que a do primeiro (Quadros 6 e 8), fato relacionado à alta relação C/P dos materiais estudados. Isso sugere que a utilização desses materiais como adubos orgânicos implicaria a realização de misturas e consórcios de materiais vegetais para favorecer o sincronismo na liberação de nutrientes. Nesse sentido, Aita & Giacomini (2003) e Giacomini et al. (2003), estudaram a decomposição e liberação de N, P e K de materiais vegetais isolados e consorciados em sistema de plantio direto. Esses autores concluíram que a consorciação favoreceu o processo de decomposição, liberando maiores teores de N e favorecendo o sincronismo com o P e K. Para solos tropicais, com grande poder de adsorção de P, Novais & Smith (1999), sugeriram acompanhamento com adubação fosfatada (rocha fosfatada moída ou termofosfatos) para incrementar a eficiência no aproveitamento de N em plantações de gramíneas. Esses autores indicaram, além da aplicação localizada de P, aplicação a lanço para incrementar o contato do P com o maior volume de raízes, favorecendo a sua absorção e incrementando a eficiência na absorção de N.

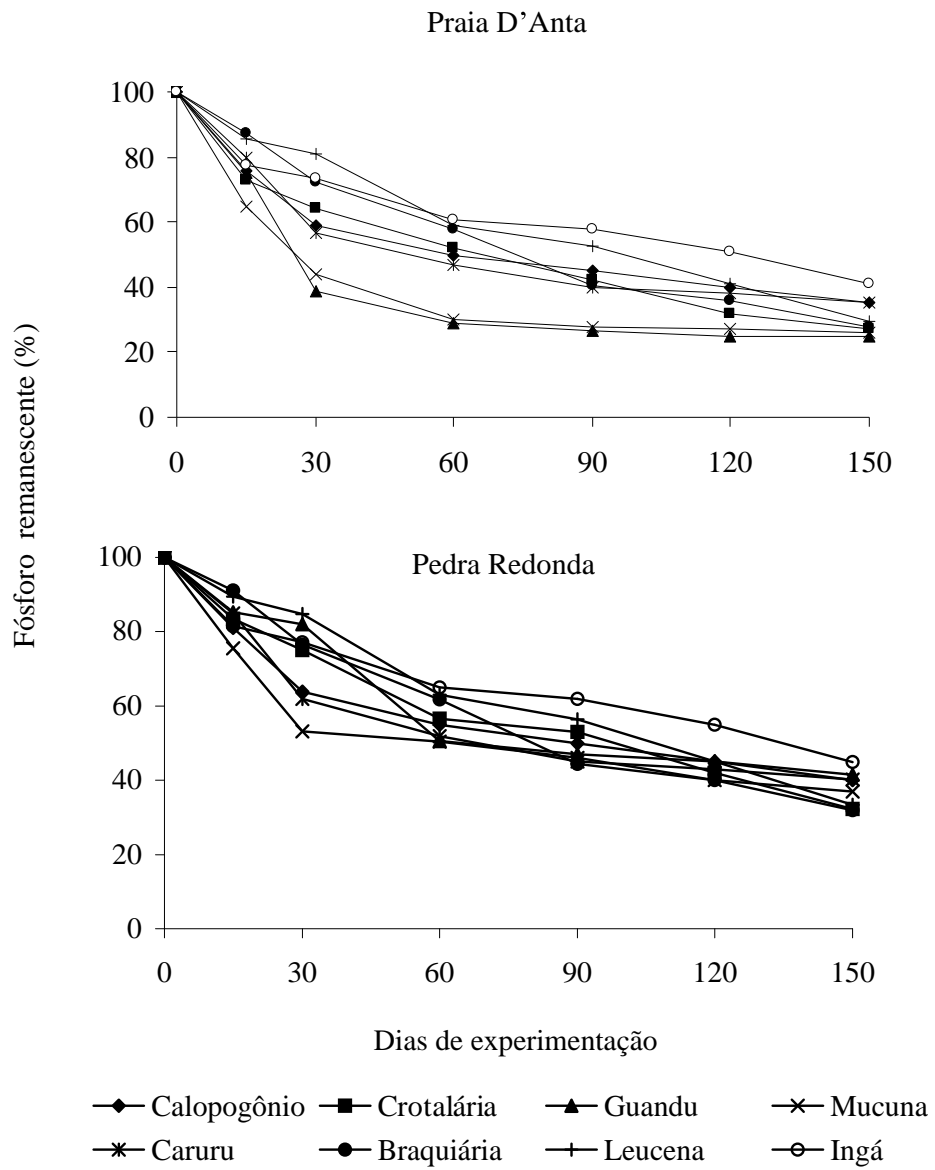


Figura 4. Percentagens de fósforo remanescente nos resíduos vegetais, ao longo do período de experimentação.

Quadro 8. Estimadores dos parâmetros, quadrado do coeficiente de correlação e meia vida das percentagens de P remanescente dos materiais vegetais em Praia D' Anta e Pedra Redonda

Tratamento	Praia D' Anta				Pedra Redonda			
	Estimadores dos parâmetros ⁽¹⁾		R ²	t (1/2)	Estimadores dos parâmetros ⁽¹⁾		R ²	t (1/2)
	A	k			A	k		
Calopogônio	61,59	- 0,030	0,98	52	57,66	- 0,027	0,98	75
Crotalária	72,46	- 0,020	0,97	58	74,76	- 0,013	0,98	85
Guandu	76,45	- 0,040	0,97	26	64,64	- 0,017	0,96	87
Mucuna	73,91	- 0,045	0,99	25	59,41	- 0,039	0,97	47
Caruru	64,40	- 0,030	0,99	49	60,28	- 0,027	0,98	65
Braquiária	85,54	- 0,012	0,99	73	88,42	-0,009	0,99	85
Leucena	97,13	- 0,008	0,98	90	114,5	-0,006	0,99	102
Ingá	55,09	- 0,022	0,94	108	53,92	-0,017	0,95	150

⁽¹⁾ Para todos os materiais os estimadores dos parâmetros foram significativos a 5% de probabilidade pelo teste de t.

R²: quadrado do coeficiente de correlação, t(1/2): meia vida.

3.4 Agrupamento por similaridade

A análise de componentes principais permitiu agrupar os materiais vegetais, em um primeiro agrupamento, em três grupos, 1- Calopogônio, crotalária, mucuna, caruru e guandu; 2- Ingá e leucena, 3- braquiária, Figura 5. A contribuição no agrupamento foi de 66% (relação C/N), 17% (teor de lignina), e 17% (teor de polifenóis). Um segundo agrupamento, separou o grupo 1 do primeiro agrupamento em três subgrupos 1,1- mucuna, crotalária e calopogônio; 1,2- caruru e 1,3- guandu, com contribuição no agrupamento de 60% (relação C/N), 20% (teor de lignina); e 20% (teor de polifenóis). Para a realização dos experimentos de decomposição e mineralização de formas orgânicas de N e P foram selecionados um material de cada grupo, reduzindo de oito para quatro. Os materiais selecionados foram braquiária, caruru, leucena e crotalária.

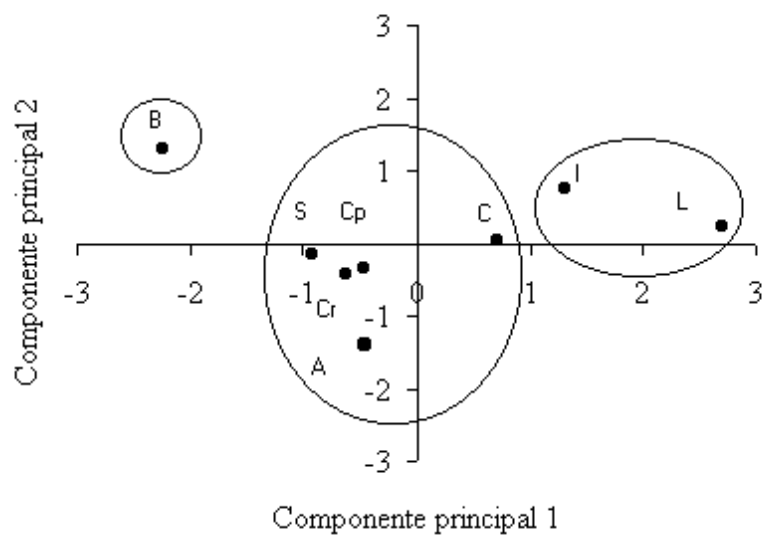


Figura 5. Dispersão de escores, primeiro agrupamento. B: braquiária; S: mucuna; Cp: calopogônio; Cr: crotalária; A: caruru; C: guandu; I: ingá; L: leucena.

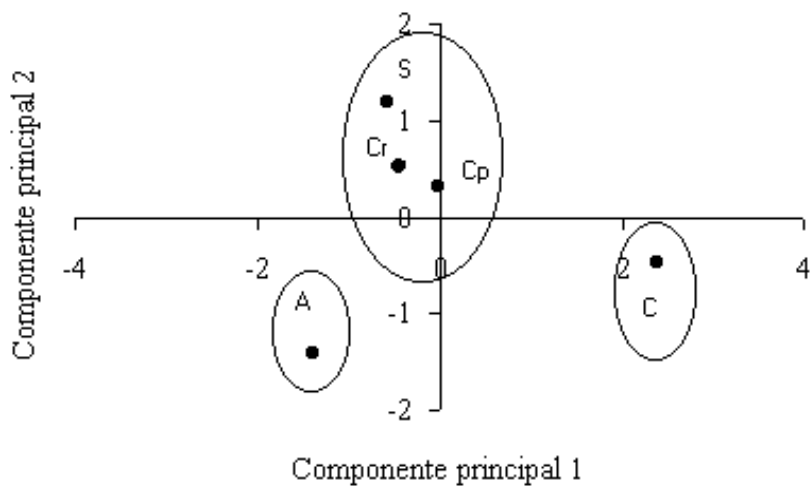


Figura 6. Dispersão de escores, segundo agrupamento. S: mucuna; Cp: calopogônio; Cr: crotalária; A: caruru; C: guandu.

3.5 Mineralização do carbono

Os tratamentos com crotalária e braquiária apresentaram maior proporção de C facilmente biodegradáveis em relação aos tratamentos com caruru e leucena (Figura 7).

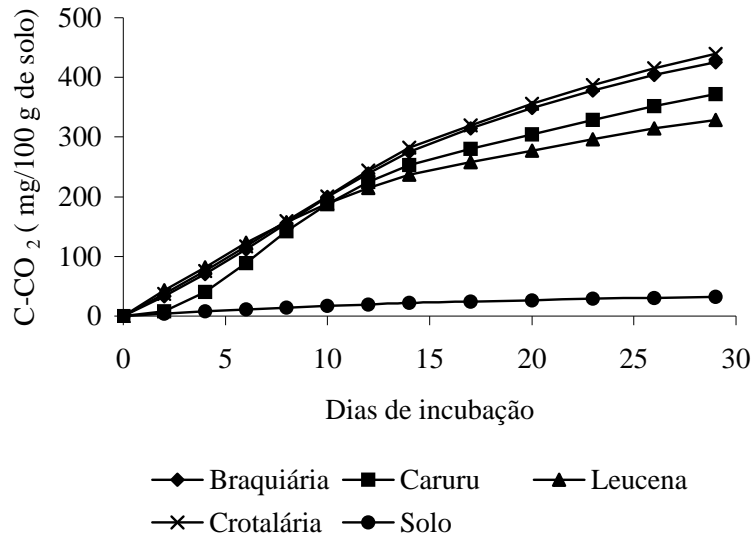


Figura 7. Produção acumulada de C-CO₂ (mg/100 g de solo), para o solo tratado com diferentes materiais vegetais e testemunha (solo) durante o período de incubação, em condições controladas.

A crotalária com relação C/N=16 e a braquiária com C/N=28, quando incorporadas ao solo, apresentaram valores acumulados de C-CO₂ que não diferiram entre si, quando no campo; ao longo do tempo, mostraram padrões diferentes de decomposição e liberação de N. Isso se explica porque, no curto prazo, ambos os materiais apresentaram formas facilmente biodegradáveis de C. Resultados similares foram obtidos por Monteiro et al. (2002), quando o *Arachis pintoii* (amendoim forrageiro) com C/N=19 e *Brachiaria brizanta* (braquiária) com C/N=66 apresentaram valores acumulados de C-CO₂ que não diferiram entre si, embora com padrões diferentes de mineralização-imobilização de N.

Considerando uma eficiência de assimilação de C pelos microrganismos de 40% (Moreira & Siqueira, 2002), estimou-se que entre 24,70 e 33,95 % do C adicionado por meio dos diferentes tratamentos foi oxidado durante o processo de decomposição (Quadro 9).

Quadro 9. Evolução e oxidação do carbono do solo tratado com materiais vegetais e testemunha (solo) durante o período de incubação. C-CO₂: carbono absoluto acumulado evoluído; C: carbono assimilado; Cox = total oxidado absoluto; C-CO₂ ox = total oxidado relativo

Tratamento	C-CO ₂		C	Cox	C-CO ₂ ox
		-----	mg	-----	%
Braquiária	425,76	a	283,84	709,60	32,78
Caruru	381,84	b	254,56	636,40	29,12
Leucena	328,80	c	219,20	548,00	24,70
Crotalária	439,80	a	293,20	733,00	33,95
Solo	32,40	d	21,60	54,00	

Cox: total oxidado absoluto = C -CO₂ + C;

$$\%C-CO_2ox = \frac{(C - CO_2 \text{ total oxidado do solo + material}) - (C - CO_2 \text{ total oxidado do solo - material})}{C \text{ adicionado pelo material}} * 100$$

Nas colunas, médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

A produção acumulada de C-CO₂ evoluído (Apêndice 1,3) ajustou-se adequadamente ao modelo de saturação de Hill. Os maiores valores para a saturação na evolução de C-CO₂ (estimador do parâmetro α) foram observados para a crotalária e braquiária, indicando que esses materiais apresentaram maior proporção de C facilmente oxidável. Por sua vez, o caruru, com o menor valor do estimador do parâmetro α , apresentou a maior taxa de mineralização, indicando crescente decomposição durante os primeiros treze dias, estabilizando-se posteriormente. Isso indica um processo de decomposição mais estável em relação aos outros materiais, já que ela não foi imediata (braquiária e crotalária), mas também não foi lenta (leucena), Quadro 10.

Quadro 10. Estimadores dos parâmetros, intervalos de confiança assintóticos (IC): limite inferior (LI) e limite superior (LS), quadrado do coeficiente de correlação (R^2), dia em que ocorreu a taxa máxima de evolução, e taxa máxima de evolução absoluta de C-CO₂; de conformidade com o modelo de Hill

Tratamento	Estimadores dos parâmetros ⁽¹⁾	IC		R^2	Dias	Taxa máxima de C-CO ₂ mg d ⁻¹
		LI	LS			
Braquiária	$\alpha = 609,20$	567,60	650,80	0,99	9	172,32
	$\gamma = 58,86$	51,62	66,09			
	$\delta = 1,45$	1,36	1,55			
Caruru	$\alpha = 420,20$	382,90	457,40	0,99	13	236,57
	$\gamma = 121,20$	56,71	185,60			
	$\delta = 1,96$	1,67	2,25			
Leucena	$\alpha = 452,6$	418,7	486,6	0,99	9	164,71
	$\gamma = 23,37$	20,90	25,83			
	$\delta = 1,21$	1,12	1,31			
Crotalaria	$\alpha = 674,90$	604,10	745,80	0,99	9	169,35
	$\gamma = 53,66$	46,46	60,85			
	$\delta = 1,36$	1,25	1,47			
Solo ⁽²⁾	$\alpha = 59,29$	51,91	66,66	0,99	3	4,00
	$\gamma = 27,67$	25,19	30,13			
	$\delta = 1,12$	1,02	1,21			

⁽¹⁾ Para todos os tratamentos, os estimadores dos parâmetros α , γ e δ foram significativos a 5% de probabilidade pelo teste de t.

⁽²⁾ Utilizou-se como fonte de carbono, o carbono orgânico total do solo.

Para os diferentes tratamentos houve variação (CV=63%) entre as estimativas da constante de evolução de C-CO₂ (parâmetro γ), sugerindo que esta foi bastante sensível às diferenças qualitativas entre os materiais. Portanto, a cinética de evolução de C-CO₂ apresentou diferentes padrões de crescimento e variação (CV=22%) na ordem aparente do processo de saturação (parâmetro δ). A estimativa da taxa máxima de decomposição não se correlacionou com os valores observados acumulados da evolução de C-CO₂, sugerindo padrões de decomposição diferentes para os materiais estudados (estimador do parâmetro γ). Contudo, a taxa máxima de decomposição é um indicador da decomposição de materiais vegetais quando estes apresentam padrões similares de decomposição. Monteiro et al., (2002) indicaram que a taxa máxima de evolução de C-CO₂ caracterizou melhor a decomposição de matérias como *Centrosema pubescens* (centrosema), *Arachis pintoi* (amendoim forrageiro), *Brachiaria brizanta* (braquiária) e *Stylosanthes guianensis* (estilozantes), todos com características bioquímicas parecidas.

Ao final do período de incubação, os valores acumulados da evolução de C-CO₂ mostraram correlação com o teor de C solúvel em água ($r = 0,60^{**}$), polifenóis totais solúveis ($r = -0,83^{**}$) e capacidade dos polifenóis em complexar proteína ($r = -0,80^{**}$) dos materiais vegetais.

3.6 Mineralização de nitrogênio

Em relação à testemunha, ocorreu mineralização do N dos tratamentos com caruru e crotalária. O N do tratamento com braquiária atingiu estado de equilíbrio com o solo (testemunha) e o do tratamento com leucena ficou imobilizado (Figura 8). Tanto o caruru como a crotalária possuíram formas facilmente biodegradáveis de C, menores teores de fibra insolúvel em detergente ácido e polifenóis com pouca capacidade em complexar proteína; segundo Aita & Giacomini (2003), essas características favorecem a mineralização de N. A braquiária com maior relação C/N, mas com menor teor de fibra insolúvel em detergente ácido, atingiu equilíbrio com o processo de mineralização do solo. A leucena imobilizou N, já que se caracteriza por apresentar baixa relação C/N, mas maiores teores de fibra insolúvel em detergente ácido, maior relação lignina + polifenóis/nitrogênio, maior teor de polifenóis totais solúveis com maior capacidade em complexar proteína. Os teores observados acumulados de N inorgânico (Apêndice 2,3) foram correlacionados negativamente com as relações lignina+polifenóis/nitrogênio ($r = -0,95^{**}$), polifenóis/nitrogênio ($r = -0,88^{**}$) e a capacidade dos polifenóis em complexar proteína ($r = -0,73^{**}$).

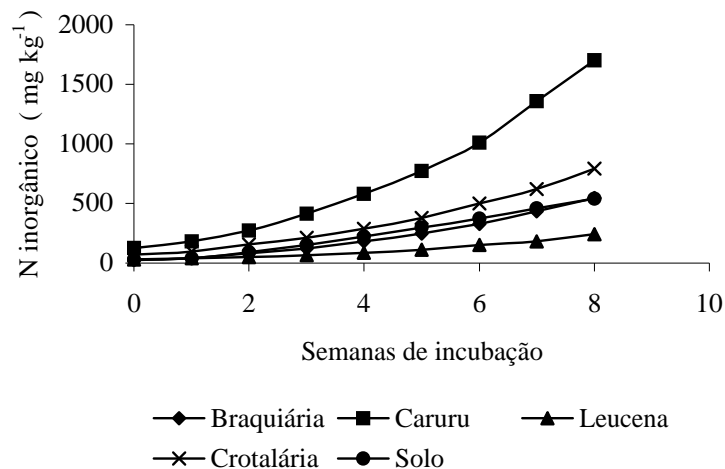


Figura 8 - Teores acumulados de N inorgânico para o solo tratado com materiais vegetais e testemunha (solo) durante o período de incubação.

Os tratamentos com maiores taxas de mineralização foram a braquiária (0,29 mg kg⁻¹) e o caruru (0,28 mg kg⁻¹); contudo, ao final do período de incubação a braquiária apresentou menor teor acumulado de nitrogênio inorgânico (544 mg kg⁻¹) em relação ao caruru (1.700 mg kg⁻¹), Quadro 11. Isso se deve ao fato de que a braquiária apresentou maior teor de lignina, maior relação lignina+polifenóis/nitrogênio e polifenóis com maior capacidade em complexar proteína em relação ao caruru.

Assim, a utilização de materiais vegetais ricos em N, lignina e polifenóis capazes de formar polímeros com várias formas de N manterá níveis adequados de matéria orgânica no solo por mais tempo, promovendo, além da melhora química, a melhora física do solo, incrementando a sustentabilidade do sistema agrícola (Fox et al., 1990; Thomas & Asakawa, 1993; Palm, 1995). Isso sugere que o conceito de qualidade de matérias vegetais, implicando rápida decomposição e mineralização de N (Constantinides & Fownes, 1994; Tian et al., 1995), deve ser revisado na exploração de culturas perenes em solos tropicais, tendo que focalizar o estudo da dinâmica da decomposição dos materiais vegetais e a ciclagem de nutrientes, em função dos objetivos do sistema de produção, do tipo de solo e das condições climáticas.

Quadro 11. Estimadores dos parâmetros, intervalos de confiança assintóticos (IC): limite inferior (LI) e limite superior (LS), quadrado do coeficiente de correlação (R²), e teores observados acumulados de N inorgânico ao final do período de incubação para solo tratado com matérias vegetais e testemunha (solo)

Tratamento	Estimadores dos parâmetros ⁽¹⁾	IC		R ²	N inorgânico acumulado mg kg ⁻¹
		LI	LS		
Braquiária	A=53,35 k=0,29	37,94 0,25	68,76 0,33	0,98	545 c
Caruru	A=175,20 k=0,28	131,10 0,25	219,2 0,32	0,99	1.700 a
Leucena	A=36,79 k=0,23	30,12 0,20	43,45 0,25	0,98	240 d
Crotalária	A=97,91 k=0,26	83,02 0,24	112,8 0,28	0,99	792 b
Solo	A= 51,06 k= 0,30	28,96 0,23	73,17 0,36	0,97	535 c

⁽¹⁾ Para todos os materiais, os estimadores dos parâmetros foram significativos a 5% de probabilidade pelo teste de t. Na coluna, médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

3.7 Mineralização do fósforo

Os diferentes tratamentos apresentaram mineralização de P, ainda quando a relação C/P dos materiais foi >300, com exceção do caruru (C/P=243). Isso pode ser atribuído à possibilidade de que durante o processo de decomposição sejam liberados compostos orgânicos que, em solos com alta capacidade de adsorção de P, bloqueiam sítios de adsorção do P, incrementando sua disponibilidade (Easterwood & Sartain, 1990), ou por troca aniônica (Kafkafi et al., 1988). Também, durante o processo de decomposição grande quantidade de CO₂ é liberada, sendo que o CO₂ pode formar H₂CO₃ na solução do solo, incrementando a disponibilidade de P (Tisdale et al., 1985).

O teor de P foi avaliado em pré-incubação (tempo 0) e após duas semanas de incubação. No período de pré-incubação as formas predominantes do P foram as do P orgânico, com média de 75,66 mg kg⁻¹. O tratamento com caruru apresentou o maior teor e aquele com a braquiária, o menor. Nesse período, esses mesmos materiais também apresentaram o maior e o menor teor de P inorgânico. Após duas semanas de incubação, as maiores mudanças percentuais de P orgânico foram apresentadas pelo tratamento com a braquiária, e as de P inorgânico, pelo tratamento com a leucena, isso implicou, no curto prazo, maior potencial de mineralização da braquiária, em relação à leucena, Quadro 12.

Quadro 12. Teores de fósforo orgânico (Po) e inorgânico (Pi), antes e após duas semanas de incubação e Pi acumulado ao final do período de incubação para solo tratado com matérias vegetais e testemunha (solo)

Tratamento	Pré-incubação (0 semana)		Pós-incubação (2 semanas)				Pi acumulado mg kg ⁻¹
	Po	Pi	Po	Δ Po	Pi	Δ Pi	
	mg kg ⁻¹		mg kg ⁻¹	%	mg kg ⁻¹	%	
Braquiária	64,75 b	9,17 b	33,39 c	-48,44	13,48 b	47,07	65,19 b
Caruru	101,74 a	12,65 a	60,00 a	-41,03	18,00 a	42,29	84,83 a
Leucena	90,98 a	6,88 c	61,21 a	-32,72	11,29 b	64,21	59,85 b
Crotalária	89,46 a	4,69 c	53,92 b	-39,73	6,88 c	46,80	34,45 c
Solo	31,36 c	2,01 d	18,46 d	-41,14	2,57 d	28,00	12,65 d
Média	75,66	7,08	45,40	-40,00	10,44	47,58	51,39

ΔPo: mudança percentual em relação ao tempo 0 no fósforo orgânico; ΔPi: mudança percentual em relação ao tempo 0 no fósforo inorgânico. Nas colunas, médias seguidas por pelo menos uma mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (α=0,05).

Ao final do período de incubação o maior teor acumulado de P inorgânico foi apresentado pelo tratamento com caruru, seguido na ordem pelos tratamentos com a braquiária e a leucena; o tratamento com a crotalária apresentou o menor teor (Figura 9). Os teores acumulados de P inorgânico (Apêndice 3,5) não se correlacionaram com os teores de P orgânico, mas com o teor de P total ($r = 0,73^{**}$) e a relação C/P ($r = -0,83^{**}$) dos materiais vegetais.

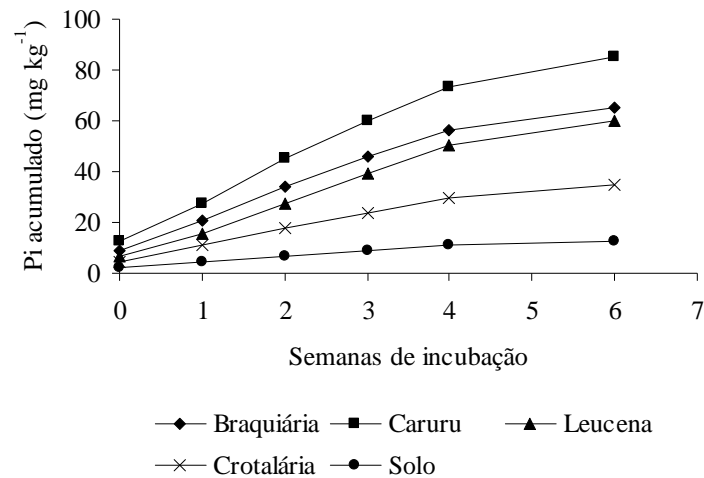


Figura 9. Teores acumulados de P inorgânico (Pi) para o solo tratado com materiais vegetais e testemunha (solo), durante o período de incubação.

De maneira geral, o potencial fertilizante dos materiais vegetais é reconhecido pela sua capacidade de suprir N (Guimarães et al., 2002; Hadas et al., 2004); não obstante, existe evidência de que materiais vegetais com alto teor de P total e baixa relação C/P contribuem notavelmente com o suprimento de P, para o melhor desenvolvimento das culturas no curto prazo (White & Ayoub, 1983). Recentemente, Kwabiah et al. (2003) reconheceram o potencial fertilizante dos materiais vegetais como fonte de P, propondo índices de qualidade: P total de 0,2 a 0,27 dag kg⁻¹; relação C/P de 156 a 252; e relação N/P de 7:1 a 14:1. Em conformidade com esse critério, dos materiais estudados, unicamente o caruru apresentaria potencial para suprir P, no curto prazo. Estes mesmos autores reportaram materiais vegetais com P total > 0,3 dag kg⁻¹, C/P < 200 e relação N/P > 10: *Tithonia diversifolia* (titônia), *Croton megalocarpus* (marabai), *Lantana camara* (camará) e *Gliricidia sepium* (gliricídia), reconhecendo seu

potencial no suprimento de P (no curto prazo, até 45 dias) para culturas manejadas em sistemas de exploração familiar na África ocidental.

O modelo linear response plateau foi ajustado aos teores observados acumulados de P inorgânico, o tratamento com maior taxa de mineralização foi o com caruru (15,39 mg kg⁻¹ semana⁻¹). Os tratamentos com braquiária e leucena apresentaram taxas similares de mineralização (≈ 11 mg kg⁻¹ semana⁻¹), não obstante, a leucena apresentou maior recalcitrância, Quadro 13.

Quadro 13. Estimadores dos parâmetros, intercessão das equações (linear e constante) e quadrado do coeficiente de correlação (R²). Ajuste do modelo linear response plateau aos teores de P inorgânico para o solo tratado com resíduos vegetais e testemunha (solo)

Tratamento	B ₀	B ₁	B ₂	Intercessão	R ²
Braquiária	9,33	11,99	65,19	(4,65 , 65,19)	0,99
Caruru	12,88	15,39	84,83	(4,67 , 84,83)	0,99
Leucena	5,84	10,95	59,85	(4,92 , 59,85)	0,99
Crotalária	4,76	6,28	34,45	(4,72 , 34,45)	0,99
Solo	2,17	2,22	2,64	(4,70 , 12,64)	0,99

B₀: Intercepto; B₁: taxa de mineralização; B₂: valor máximo (plateau). Para todos os tratamentos, os estimadores dos parâmetros foram significativos a 5% de probabilidade pelo teste de t.

4. Conclusões

- O caruru apresenta maior teor de macronutrientes, diferindo dos demais materiais vegetais. A braquiária e o guandu mostraram maior fibra insolúvel em detergente neutro; o guandu e o ingá em detergente ácido; e a leucena e o ingá maior teor de lignina.
- As relações polifenóis/nitrogênio, lignina+polifenóis/nitrogênio e a capacidade dos polifenóis em complexar proteína são os indicadores que melhor explicam a decomposição e mineralização de formas orgânicas de N.
- A mineralização do P está relacionada diretamente com o teor de P total e inversamente com a relação C/P dos materiais vegetais.
- O caruru, a mucuna, o calopogônio e a crotalária são materiais de incorporação direta ao solo para rápida decomposição e liberação de nutrientes; o guandu, leucena e ingá para mistura com materiais de rápida decomposição; e a braquiária pode ser utilizada como matéria prima na elaboração de compostos.

5. Literatura citada

- AITA, C. & GIACOMINI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. R. Bras. Ci. Solo, 27:601-612, 2003
- ANDERSON, J.D. & INGRAM, J.S. Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods. 2.ed. Wallingford: CAB International, 1989. 171p.:il.
- ANDERSON, J.P.E. Soil respiration. In: PAGE, A. L.; MILLER, R.H. & KEENEY, D.R. eds. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. 2 Ed. Madison, Soil Sci. Soc. Am. ASA, 1982. p 831-845.
- BARLETT, R.J. & ROSS, D.N. Colorimetric determination on of oxidizable carbon in acid soil solutions. Soil Sci. Soc. Am. J., 52:1191-1192, 1988.
- BRINK, R.H., DUBACH, P., LYNCH, D.L. Measurement of carbohydrates in soil hydrolyzates with anthrone. Soil. Sci., 89:157-166, 1960.
- CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULISANI, E.; WILDNER, L. ET AL. adubação verde no sul do Brasil. Desktop, Rio de Janeiro. 1993, 346 p.:il.
- COCHRAN, V.; HORTON, K.; COLE, C. An estimation of microbial death rate and limitations of N or C during wheat straw decomposition. Soil Biol. Biochem., 20: 293-299, 1988.
- CONSTANTINIDES, M. & FOWNES, J.H. Nitrogen mineralization from leaves and litter of tropical plants: Relationship to nitrogen, lignin and soluble polyphenol concentrations. Soil Biol. Biochem., 26:49-55, 1994.
- COÛTEAUX, M.M.; SARMIENTO, L.; BOTTLNER, P. et al. Decomposition of standard plant material along an altitudinal transect (65 to 3968 m) in the tropical Andes. Soil Biol. Biochem., 34:69-78, 2002.
- EASTERWOOD, G.W. & SARTAIN, J.B. Clover residue effectiveness in reducing orthophosphate sorption on ferric hydroxide coated soil. Soil. Sci. Soc. Am. J., 54:1345-1350, 1990.
- FOX, R.H.; MYERS, R.J.; VALLIS, I. The nitrogen mineralization rate of legume residues in soil as influenced by their polyphenol, lignin, and nitrogen contents. Plant Soil., 129:251-259, 1990.
- FRIGHETTO, R.T. & VALARINI, P.J. eds. Indicadores biológicos e bioquímicos da qualidade de resíduos vegetais e solo. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. 198p.: il.
- GIACOMINI, S.J.; AITA, C.; HUBNER, A.P.; LUNKES, A.; GUIDINI, E.; AMARAL, B. Liberação de fósforo e potássio durante a decomposição de resíduos culturais em plantio direto. Pesq. Agropec. Bras., 38:1097-1104, 2003.

- GUIMARÃES, P.T.; NOGUEIRA, F.D.; LIMA, P.C.; GUIMARÃES, M.J.; POZZA, A. A. Adubação e nutrição do cafeeiro em sistema orgânico de produção. In: *Inf. Agropec.*, Belo Horizonte, 214/215:63-81, 2002.
- HAYNES, R.J. The decomposition process: Mineralization, immobilization, humus formation and degradation. In: *Mineral nitrogen in the plant – soil system*. Ed. R.J. Haynes. Orlando FL: Academic press, 1986. p. 52-176.
- HEDLEY, M.J.; STEWART, J.W.B. & CHAUHAN, B.S. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46:970-976, 1982.
- KABATA, P, A. & PENDIAS, H. Trace elements in soil and plants. Boca Raton, FL: CRC Press, 2000. 331p.:il.
- KAFKAFI, U.; BAR Y.B.; ROSENBERG, R.; SPOSITO, G. Phosphorus adsorption by kaolinite and montmorillonite: II. Organic anion competition. *Soil. Sci. Soc. Am. J.*, 52:1585-1589, 1988.
- KEMPERS, A.J. & ZWEERS, A. Ammonium determination in soil extracts by the salicylate method. *Commun. Soil Sci. Plant. Anal.*, 17:715-723, 1986.
- KERN, J.S. & JOHNSON, M.G. Conservation tillage impacts on national soil and atmosphere carbon levels. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 57:200-210, 1993.
- KIEHL, E.J. Fertilizantes orgânicos. Piracicaba: CERES, 1985. p. 407-459.
- KWABIAH A. B.; STOSKOPF, N.C.; PALM, C.A.; VORONEY, R.P. Soil P availability as affected by the chemical composition of plant materials: implications for P-limiting agriculture in tropical Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 100:53–61, 2003.
- LIMA, P.C.; MOURA, W.M.; LIMA, W.A.; HIZUMI, S.; MATOS, E.S.; PENNA, B.A., PERTEL, J. Avaliação de leguminosas utilizadas na adubação verde de cafezais orgânicos na zona da Mata de Minas Gerais. In: *IV Simpósio de pesquisa dos cafés do Brasil*. Londrina, PR. 2005.
- LUPWAYI, N.Z.; CLAYTON, G.W.; DONOVAN, J.T.; HARKER, K.N.; TURKINGTON, T.K. & RICE, W.A. Decomposition of crop residues under conventional and zero tillage. *Canadian J. Soil Sci.*, 84:403-410, 2004.
- MAFONGOYA, P.L.; GILLER, K.E.; PALM, C.A. Decomposition and nitrogen release patterns of tree pruning and litter. *Agro. Syst.*, 38:1-3, 1997.
- MARTENS, D.A. Relationship between plant phenolics acids released during soil mineralization and aggregate stabilization. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 66:1857-1867, 2002.
- MARTENS, D.A. Plant residue biochemistry regulates soil carbon cycling and carbon sequestration. *Soil Biol. & Biochem.*, 32:361-369, 2000.

- MONTEIRO, H.C.; CANTARUTTI R.B.; JUNIOR D.; REGAZZI A.J.; FONSECA M. Dinâmica de decomposição e mineralização de nitrogênio em função da qualidade de resíduos de gramíneas e leguminosas forrageiras. *R. Bras. Zootec.*, 31:1092-1102, 2002.
- MOREIRA F.M.S. & SIQUEIRA, J.O. *Microbiologia e bioquímica do solo*. Lavras: UFLA. 2002. 626p.
- MUELLER-HARVEY, I. & WILD, A. The nature and stability of organic phosphates in leaf litter and soil organic matter in Nigeria. *Soil Biol. Biochem.*, 18:643-647, 1986.
- MURPHY, J. & RILEY, J.P. A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta*, 27:31-36, 1962.
- NOVAIS, R.F. & SMITH, T.J. *Fósforo em solo e planta em condições tropicais*. Viçosa: UFV, 1999. 399 p.:il.
- PALM, C.A. Contribution of agroforestry trees to nutrient requirements of intercropped plants. *Agro. Syst.*, 30:105-124, 1995.
- PALM C.A.; GACHENGO, C.N.; DELVE, R.J. Organic inputs for soil fertility management in tropical agroecosystems: application of an organic resource database. *Agr., Ecosyst. Environ.*, 83:27-42, 2001
- PALM, C.A. & SANCHEZ, P.A. Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents. *Soil Biol. Biochem.* 23:83-88, 1991.
- PAUL, E. A. & CLARK, F. E. Dynamics of residue decomposition and soil organic matter turnover. In: *Soil microbiology and biochemistry*. 2nd ed. San Diego: Academic, 1996. p. 158-179.
- QUEMADA, M. & CABRERA, M.L. Temperature and moisture effects on C and N mineralization from surface applied clover residue. *Plant Soil*, 189:127-137, 1997.
- RIBEIRO JUNIOR, J.I. *Análise estatístico no SAEG*. Viçosa: UFV., 2001.301 p.:il.
- SANCHEZ, P. A. & LOGAN, T.J. Myths and science about the chemistry and fertility of soils in the tropics. In: LAL, R. & SANCHEZ, P.A. (Eds). *Myths and science of soil in the tropics*. SSA Spec. Pub., 29:35-46, 1992.
- SENEVIRATNE, G. 2000. Litter quality and nitrogen release in tropical agriculture: A synthesis. *Biol. Fertil. Soils*, 31:60-64, 2000.
- SINSABAUGH, R.L., MOORHEAD, D.L. Resource allocation to extracellular enzyme production: A model for nitrogen and phosphorus control of litter decomposition. *Soil Biol. Biochem.*, 26:1305-1311, 1994.

- THOMAS, R.J. & ASAKAWA, N.M. Decomposition of leaf litter from tropical forage grasses and legumes. *Soil Boil. Biochem.*, 25:1351-1361, 1993.
- TIAN, G. & BRUSSAARD, L. Mulching effect of plant residues of chemically contrasting compositions on soil organic matter content and cation exchange capacity. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 28:1603-1611, 1997.
- TIAN, G.; BRUSSAARD, L.; KANG, B.T. An index for assessing the quality of plant residues and evaluating their effects on soil and crop in the (sub-) humid tropics. *Appl. Soil Ecol.*, 2: 25-32. 1995.
- TISDALE, S.L.; NELSON, W.L.; BEATON, J.D. *Soil fertility and fertilizers*. 4 Ed. Macmillan: New York. 1985. 754 p.:il.
- VANLAUWE, B.; VANLANGENHOVE, G.; MERCKX, R. Impact of rainfall regime on the decomposition of leaf litter with contrasting quality under subhumid tropical conditions. *Biol. Fertil. Soils*, 20: 8-16. 1995.
- VAN SOEST, P.J., ROBERTSON, J.B., LEWIS, B.A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.*, 74:3583-3597. 1991.
- VARGAS, M.A. & HUNGRIA, M. *Biologia dos solos dos cerrados*. Planaltina: EMBRAPA-CPAC. 1997. p. 465-516.
- VERHOEF, H.A. Litterbag method. In: ALEF, K. & NANNIPIERE, P. *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry*. Academic Press, New York, 1995. 576 p.:il.
- VITYAKON, P. & DANGTHAISONG, N. Environmental influences on nitrogen transformation of different quality tree litter under submerged and aerobic conditions. *Agro. Forum*, 63: 225-236, 2005.
- WHITE, R.E. & AYOUB, A.T. Decomposition of plant residues of variable C:P ratio and the effect of soil phosphate availability. *Plant Soil*, 74: 163-173, 1983.
- WIEDER, R.K. & LANG, G. E. A critique of the analytical methods used in examining decomposition data obtained from litter bags. *Ecology*, 63:1636-1642, 1982.
- YANG, J.E.; SKOGLEY, E.O.; SCHAFF, B.E.; KIM, J.J. A simple spectrometric determination of nitrate in water, resin, and soil extracts. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 62:1108-1115, 1998.
- YEOMANS, J.C. & BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 19:1467-1476, 1988.

CAPÍTULO IV

DECOMPOSIÇÃO DE COMPOSTOS E MINERALIZAÇÃO DE FORMAS ORGÂNICAS DE NITROGÊNIO E FÓSFORO

Resumo: Diferentes tipos de compostos elaborados com resíduos agropecuários foram avaliados no que diz respeito a sua decomposição e mineralização de formas orgânicas de N e P, quando incorporados a amostras de solo do horizonte B de um Latossolo Vermelho-Amarelo, sem correção de acidez, em condições de ambiente controlado. A decomposição foi determinada por meio de experimentos de respirometria, e a mineralização, por ensaios de incubação com umidade equivalente a 80% da capacidade de campo e temperatura de $25 \pm 1^\circ\text{C}$ em câmara de incubação. Os tratamentos foram solo com vermicomposto comercial “P.E. Porfírio & Cia. Ltda.”; mucilagem, chorume e casca de café; esterco bovino e casca de café e com casca de café sem compostar. O tratamento com vermicomposto mineralizou os maiores teores ($1.625 \text{ mg N kg}^{-1}$) e ($149,45 \text{ mg P kg}^{-1}$), seguido pelos tratamentos com mucilagem, chorume e casca de café; e esterco bovino com casca de café. Os teores acumulados de N inorgânico correlacionaram-se positivamente com o índice de humificação ($r = 0,70^{**}$) e negativamente com a relação lignina+ polifenóis/nitrogênio ($r = -0,93^{**}$) e a capacidade dos polifenóis em complexar proteína ($r = -0,92^{**}$) dos compostos. Já os teores de P inorgânico correlacionaram-se positivamente com o teor inicial de P orgânico ($r = 0,82$) e negativamente com a relação C/P ($r = -0,76$) dos compostos. A casca de café sem compostar é um material com elevado teor de C orgânico ($48,68 \text{ dag kg}^{-1}$), rico em lignina (19,48%), com relação C/N=36 e C/P=740. Ela deve ser utilizada após compostar com materiais com formas de C facilmente biodegradáveis e polifenóis solúveis com baixa capacidade em complexar proteína (palha de café, mucilagem de café e chorume suíno). Sua utilização com esterco rico em C proveniente da ingestão de capins (esterco de bovino) e com materiais com polifenóis solúveis com capacidade de complexar proteína reduziu o processo de humificação e liberação de N.

Termos de indexação: compostagem, fracionamento das substâncias húmicas, respiração do solo, mineralização, nitrogênio, fósforo.

CHAPTER IV

DECOMPOSITION OF COMPOST ELABORATED WITH COFFEE HUSK AND MINERALIZATION OF NITROGEN AND PHOSPHORUS FROM ORGANIC FORMS

Abstract: Different types of compost elaborated with agricultural residues (husk, trash and mucilagen of coffee, cow manure and swine slurry) were evaluated regarding their decomposition and mineralization of organic forms of N and P, when incorporated to a soil samples from an B horizon of an Oxisol, without acidity correction, under controlled environmental conditions. The decomposition was determined by respiratory experiments and the mineralization by incubation experiment with humidity at 80% of the field capacity and temperature of $25 \pm 1^\circ\text{C}$ in an incubation camera. The treatments were soil with commercial “P.E. Porfírio & Cia, Ltda” earthworm compost; mucilagen, swine slurry and coffee trash, cow manure and coffee trash; and coffe trash witout composting. The treatment with earthworm mineralized the greater content ($1625 \text{ mg N kg}^{-1}$) and ($149,45 \text{ mg P kg}^{-1}$), followed by the treatments with mucilagen, swine slurry and coffee husk; and cow manure and coffee husk. The cumulative content of inorganic N positively correlated with the humification index ($r = 0,70^{**}$) and negatively with the lignin+polyphenols/nitrogen ratio ($r = - 0,93^{**}$) and polifenols capability to complex protein ($r = - 0,92^{**}$) of the compost. The inorganic P content was positively correlated with the total P content ($r= 0,82$) and negatively with the C/P ratio ($r= - 0,76^{**}$) of the compost. The coffee husk without composting is a material with high carbon content ($48,68 \text{ dag kg}^{-1}$), rich in lignin (19,48 %), C/N ratio of 36 and C/P ratio of 740. It should be used after composted with residues containing easily biodegradable carbon and polyphenols with low capacity to complex protein (trash and mucilagem of coffe, and swine slurry). When utilized with manures rich in C due to grasses ingestion (cow manures) and with polyphenols that complex protein will reduce the process of humification and release of nitrogen.

Index terms: Composting, fractioning of humic substances, soil respiration, mineralization, nitrogen, phosphorus.

1. Introdução

A compostagem dos resíduos agropecuários gerados nos próprios campos de produção constitui-se em uma alternativa viável na obtenção de fertilizantes orgânicos de baixo custo (Kashmanian & Rynk, 1995). A compostagem é a transformação bioquímica da matéria orgânica pelos microrganismos cuja atividade metabólica ocorre na fase solúvel em água (Bernal et al., 1998). Conseqüentemente, o estudo das mudanças na matéria orgânica solúvel pode ser utilizado para avaliar a maturação do composto (Chanyasak & Kubota, 1981). A estabilidade e maturação dos compostos indicam a taxa de decomposição e transformação da matéria orgânica durante o processo da compostagem. A estabilidade está relacionada com a atividade microbiana e a maturação descreve a qualidade do composto (Zucconi et al., 1981; Iannotti et al., 1993). A estabilidade pode ser avaliada por testes de atividade microbiana (por exemplo, respiração), cujos teores se correlacionam inversamente com a estabilidade do composto (Adani et al., 2003). O estado de maturação usualmente é avaliado por meio de parâmetros bioquímicos, que se correlacionam diretamente com o crescimento das plantas, como relação C/N da fase sólida e solúvel em água, N inorgânico e capacidade de troca catiônica (Bernal et al., 1998). Já que a maturação dos compostos implica a formação de substâncias húmicas, o índice de humificação da matéria orgânica também pode ser usado como indicador do grau de maturação do composto (Bernal et al., 1998). Regularmente, a compostagem é feita mediante a combinação de resíduos com características bioquímicas compatíveis para garantir a transformação da matéria orgânica em substâncias húmicas estabilizadas em um curto espaço de tempo (90 a 120 dias), pois em condições naturais essa estabilização se daria em longo prazo (Ribeiro et al., 1999). Para uma compostagem eficiente devem-se conhecer as características químicas e bioquímicas dos materiais empregados e a sua dinâmica de decomposição. Partindo da hipótese de que a estabilidade e o estado de maturação do composto influenciam o processo de mineralização e imobilização de nutrientes, objetivou-se: caracterizar química e bioquimicamente compostos elaborados com casca de café, comparando-os com o vermicomposto comercial e a casca de café sem compostar; e avaliar a sua decomposição e mineralização de formas orgânicas de N e P após a incorporação ao solo em ambiente controlado.

2. Material e Métodos

Após 90 dias de compostagem, amostras de compostos foram retiradas de pilhas preparadas em ambiente aberto; utilizou-se amostragem simples ao acaso, coletando cinco medidas de 320 cm³ por pilha amostrada, as quais foram usadas posteriormente para obtenção de amostras compostas. Os compostos orgânicos foram elaborados com misturas de igual proporção de esterco bovino com casca de café; mucilagem com chorume suíno e casca de café; palha de café com chorume; e cama de estábulo com pergaminho de café. Esses compostos foram avaliados em comparação ao vermicomposto comercial “P.E. Porfírio & Cia, Ltda” e à casca de café sem compostar. Para caracterização química e bioquímica, três subamostras de cada material foram secas em estufa com circulação forçada de ar a 65°C durante 72 horas, moídas e passadas em peneira de 2 mm. Esses materiais foram caracterizados quanto ao teor de matéria orgânica total, pelo método da perda por ignição (Kiehl, 1985); C orgânico total, por oxidação úmida com aquecimento externo (Yeomans & Bremner 1988); N total, pelo método Kjeldahl; elementos totais após digestão nítrico-perclórica, determinando nos estratos os teores dos elementos S, Al, Fe, Mn, Cu, Cr, Cd, Ni, Pb e Zn, por espectrometria de emissão de plasma; Ca e Mg, por espectrofotometria de absorção atômica; K, por espectrometria de emissão de chama; e P, por colorimetria (Murphy & Riley, 1962). Os teores de fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) e ácido (FDA), hemicelulose, celulose e lignina nos compostos foram determinados pelo método seqüencial (Van Soest et al., 1991), utilizando uma solução de H₂SO₄ 12 mol L⁻¹ na determinação da lignina. A proteína bruta foi estimada empiricamente, multiplicando o teor de N total pelo fator 6,25 (Silva & Queiroz, 2005). O fracionamento das substâncias húmicas foi realizado por solubilidade diferencial, utilizando-se os conceitos de frações húmicas estabelecidos pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas descritos por Hayes et al. (1989); nessas frações foram determinados os teores de C (Yeomans & Bremner, 1988); N total, pelo método Kjeldahl e o índice de humificação pela equação:

$$IH = \left(\frac{FAf + FAh}{C \text{ total}} \right) 100$$

em que:

IH = índice de humificação; FAf = fração ácidos fúlvicos; FAh = fração ácidos húmicos; e C total = carbono orgânico total.

Com base nos resultados dos teores de C total e macronutrientes, objetivou-se formar grupos diferentes de compostos, utilizando análise multivariada, com a técnica de componentes principais (Ribeiro Junior, 2001). Após o agrupamento selecionaram-se compostos representativos de cada grupo, para caracterização bioquímica e realização de ensaios de decomposição e mineralização de formas orgânicas de N e P. A caracterização bioquímica consistiu da determinação do C solúvel em água, por colorimetria, utilizando Mn(III)-pirofosfato em meio ácido como agente oxidante (Bartlett & Ross, 1988); carboidratos totais solúveis pelo método da antrona (Brink et al., 1960); polifenóis totais solúveis, extraídos com metanol (50%) e determinados por colorimetria, utilizando-se o reagente de Folin-Denis e a capacidade dos polifenóis em complexar proteína, pelo método Blue-Dye Labelled Bovine Serum Albumin (BSA), (Anderson & Ingram, 1989).

Nos ensaios de decomposição e mineralização utilizaram-se amostras de um solo seco e peneirado com malha de 2 mm, proveniente do horizonte B de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico com textura argilosa, sem correção de acidez e com as seguintes características: pH em água de 4,57; 0,6 mg P dm⁻³ e 6 mg K dm⁻³; H+Al de 5,9 cmol_c dm⁻³; soma de bases trocáveis (SB) de 0,04 cmol_c dm⁻³; capacidade de troca catiônica (CTC) de 5,94 cmol_c dm⁻³; capacidade máxima de adsorção de P (CMAP) de 1,32 mg g⁻¹; e teor de matéria orgânica de 3,08 dag kg⁻¹. A massa equivalente a 2 g de C de cada composto foi misturada a 100 g de solo seco (Paul & Clark, 1996) e acondicionada em potes plásticos cilíndricos, com 15 cm de altura e 10 cm de diâmetro (unidade experimental). Também foi incluída uma testemunha (apenas solo). O experimento foi conduzido durante 30 dias, com umidade equivalente a 80% da capacidade de campo e temperatura 25 ± 1°C em câmara de incubação segundo delineamento experimental inteiramente casualizado, com quatro repetições.

Nas unidades experimentais foram colocados copos plásticos de 50 cm³, onde o C-CO₂ respirado foi capturado em solução de NaOH 0,5 mol L⁻¹, formando carbonato com a adição de BaCl₂ 0,05 mol L⁻¹, e dosado por meio de titulação com HCl 0,25 mol L⁻¹. Foram feitas quantificações a cada dois dias (sete determinações) inicialmente e a cada três dias (cinco determinações) posteriormente. A massa de C-CO₂ evoluída foi expressa em termos absolutos (Anderson, 1982), e a cinética de decomposição ajustada pelo modelo de saturação de Hill (Morgan et al., 1975):

$$Y = \frac{\alpha * X^\delta}{\gamma + X^\delta} + \varepsilon$$

em que:

Y = CO₂ evoluído (mg CO₂/100 g de solo);

α = parâmetro relativo à assíntota, que caracteriza a saturação;

γ = parâmetro de crescimento da função, chamado também de constante do processo;

δ = ordem aparente do processo;

X = tempo; e

ε = erro aleatório.

Nas análises estatísticas adotou-se o esquema de parcelas subdivididas em função do tempo, no qual os materiais selecionados corresponderam às parcelas e as avaliações sucessivas às subparcelas. Análise de variância, teste de médias (Tukey, 5%) e regressão foram realizados utilizando o programa SAEG.

Empregando o mesmo critério de incubação do ensaio de decomposição, avaliou-se a mineralização de formas orgânicas de N e de P durante oito e seis semanas, respectivamente. Em amostras coletadas semanalmente, foram determinados o nitrogênio amoniacal (N-NH₄⁺) e nítrico (N-NO₃⁻), extraídos com KCl 1 mol L⁻¹ e determinados por colorimetria segundo Kempers & Zweers (1986) e Yang et al. (1998), respectivamente. O N inorgânico (Ni) foi calculado como a soma do N-NH₄⁺ + N-NO₃⁻. O modelo exponencial simples foi ajustado aos teores observados de N inorgânico:

$$Ni = A e^{k t}$$

em que:

Ni = teor de N inorgânico acumulado;

A = teor de N inorgânico proveniente do compartimento facilmente mineralizável;

K = taxa constante de mineralização; e

t = tempo.

Também foram determinados o P inorgânico (Pi) e o P total (Pt) mediante fracionamento químico das formas lábeis (extração com água, resina de troca aniônica e bicarbonato 0,5 mol L⁻¹), pelo método de Hedley et al. (1982), modificado. O P orgânico (Po) foi obtido pela diferença entre Pt e Pi. O modelo linear response plateau foi ajustado aos teores observados acumulados de Pi. O experimento também foi instalado em delineamento experimental inteiramente casualizado com quatro repetições, em esquema de parcelas subdivididas no tempo; as análises estatísticas foram realizadas da mesma forma anteriormente descrita.

3. Resultados e Discussão

O vermicomposto comercial, composto de mucilagem com chorume e casca de café e o composto de palha de café com chorume apresentaram relação C/N \cong 15, critério de estabilidade proposto por Namkoong et al., (1999). Contudo, Hue & Liu (1995), demonstraram que a relação C/N, que indica estabilidade depende dos materiais que deram origem ao composto. O composto de cama de estábulo e pergaminho de café e o composto de esterco bovino e casca de café apresentaram maior relação C/N, indicando instabilidade. Entre os compostos, as relações C/N/P/S apresentaram variação \geq 40%, sendo a relação C/P a de maior variação (Quadro 1). Os compostos com maior teor de macronutrientes foram os preparados com esterco bovino e casca de café (N, Mg, K, S), com mucilagem, chorume e casca de café (N, P, Ca, S) e com cama de estábulo e pergaminho de café (P, K, S). O composto com maior teor de micronutrientes foi aquele com palha de café e chorume (Fe e Mn). Os compostos com chorume apresentaram os maiores teores de Fe, Cu, Cr e Pb. Benitez et al. (1998), reportaram efeitos depressores sobre a qualidade biológica e química do solo pelo uso de chorume, principalmente pelo acúmulo de Cu e Cr. Esses micronutrientes estão presentes nas dietas dos suínos com funções antimicrobianas e promotoras do crescimento (Elliot et al., 1973; Mooney & Cromwell, 1995; Lima & Miyada, 2003). Para todos os compostos não se determinou presença de Cd. Contudo, os teores de Cr, Cd e Pb são menores que os estabelecidos como referência por Eck & Stewart (1995), para esterco; e Kabata & Pendias (2000), para materiais vegetais. Segundo a legislação sobre compostos orgânicos (Brasil, 2004), o vermicomposto, o composto de mucilagem com chorume e casca de café, e o composto de palha de café com chorume encontram-se dentro dos referenciais de C orgânico e relação C/N, porém todos os compostos apresentaram alto teor de umidade (>40%).

O composto de palha de café com chorume, a cama de estábulo com pergaminho de café e a casca de café sem compostar apresentaram os maiores teores de fibra insolúvel em detergente ácido (lignocelulose), indicando presença de materiais fibrosos de difícil biodegradação (Quadro 2).

Quadro 1. Características químicas (resultados expressos com base na matéria seca) e umidade após a compostagem de materiais orgânicos, vermicomposto comercial e casca de café sem compostar

Variável	Unidade	Material						Média	CV (%)
		Vermicomposto	Esterco bovino + casca de café	Mucilagem + Chorume + casa de café	Palha de café + chorume	Cama de estábulo + pergaminho de café	Casca de café		
MO	dag kg ⁻¹	35,61	79,64	46,84	30,15	97,92	94,64	64,13	47,19
C	dag kg ⁻¹	13,23	45,64	26,28	15,87	42,99	48,68	32,12	48,84
N	dag kg ⁻¹	1,03	1,95	1,74	1,03	1,32	1,56	1,44	26,29
P	dag kg ⁻¹	0,36	0,34	1,09	0,38	0,43	0,17	0,46	69,36
S	dag kg ⁻¹	0,19	0,20	0,17	0,1	0,18	0,11	0,16	26,92
C/N		15	27	18	18	38	36	25	40
C/P		95	347	62	108	258	740	268	95
C/S		186	609	412	423	637	1180	574	59
Ca	dag kg ⁻¹	0,91	1,21	2,59	0,93	0,89	0,37	1,15	65,76
Mg	dag kg ⁻¹	0,22	0,42	0,32	0,15	0,28	0,09	0,25	48,35
K	dag kg ⁻¹	0,16	1,17	0,55	0,21	1,87	1,57	1,09	81,52
Fe	mg kg ⁻¹	10028,6	3593,16	15370,17	25585,02	1943,44	568,05	9514,74	101,38
Mn	mg kg ⁻¹	274,8	121,86	224,29	397,61	135,92	24,92	196,57	66,73
Cu	mg kg ⁻¹	24,13	243,49	115,99	60,45	23,79	20,64	81,42	107,36
Zn	mg kg ⁻¹	59,41	72,78	163,82	120,36	71,74	8,02	82,69	64,76
Cr	mg kg ⁻¹	52,64	15,83	76,59	92,28	10,29	2,05	41,61	90,7
Pb	mg kg ⁻¹	5,05	2,54	5,42	2,05	0,06	0	2,22	73,59
Umidade	%	65,83	63,12	65,61	59,26	62,03	8,58	22,41	41,46

MO: matéria orgânica.

CV: coeficiente de variação entre os diferentes materiais.

Quadro 2. Fibra insolúvel em detergente neutro e ácido, hemicelulose, celulose, lignina e proteína bruta para os diferentes compostos e a casca de café sem compostar (resultados expressos com base na matéria seca)

Variável	Unidade	Material						Média	CV (%)
		Vermi-composto	Esterco bovino + casca de café	Mucilagem + chorume + casa de café	Palha de café + chorume	Cama de estábulo + pergaminho de café	Casca de café		
FDN	%	53,63	62,0	47,24	71,93	68,56	72,53	62,65	16,56
FDA	%	46,23	48,69	37,10	64,08	56,04	62,53	52,45	19,78
HEM	%	7,39	13,31	10,14	7,85	12,52	9,99	10,20	23,42
CEL	%	8,85	34,24	16,78	8,69	37,38	42,65	25,89	62,52
LIG	%	9,15	13,99	10,44	11,00	13,44	19,48	12,92	28,66
PB	%	8,16	12,0	14,14	6,46	8,85	6,01	9,27	34,49

FDN: fibra insolúvel em detergente neutro; FDA: fibra insolúvel em detergente ácido
HEM: hemicelulose; CEL:celulose; LIG:lignina e PB: proteína bruta.

A separação dos constituintes da FDN e FDA indicou que os compostos de esterco bovino com casca de café e cama de estábulo com pergaminho de café ainda apresentaram potencial de decomposição (maior teor de hemicelulose), e a casca de café sem compostar (maior teor de lignina), recalcitrância. Os compostos de esterco bovino com casca de café e mucilagem com chorume e casca de café foram ricos em proteína bruta e baixo teor de lignina, indicando alto potencial de decomposição e mineralização de formas orgânicas de N (Moreira & Siqueira, 2002).

Os teores de C e N das frações húmicas (Quadro 3) indicaram a predominância da fração humina sobre as frações ácidos fúlvicos e húmicos dos compostos. Os tratamentos com as maiores relações ácidos húmicos/ácidos fúlvicos foram a cama de estábulo com pergaminho de café e esterco bovino com casca de café, indicando a presença de formas recalcitrantes de C, sugerindo que estes compostos ainda não tinham atingido estabilização.

Quadro 3. Teor de carbono e nitrogênio total e nas frações húmicas dos diferentes compostos e casca de café sem compostar

Carbono	C	FA f	FAh	FH	IH	FAh/FAf
	dag kg ⁻¹		g kg ⁻¹		%	
Vermicomposto	13,23	13,60	3,00	114,90	12,54	0,22
Esterco bovino + casca de café	45,64	14,60	8,30	432,70	5,01	0,57
Mucilagem + chorume + casa de café	26,28	8,00	3,20	250,00	4,26	0,40
Palha de café + chorume	15,87	16,00	2,80	139,20	11,84	0,18
Cama de estábulo + pergaminho de café	42,99	9,60	7,90	412,00	4,07	0,82
Casca de café sem compostar	48,68					

Nitrogênio	N	Faf	FAh	FH	FAh/FAf
	dag kg ⁻¹		g kg ⁻¹		
Vermicomposto	1,03	1,30	0,70	8,20	0,53
Esterco bovino + casca de café	1,95	1,30	1,00	17,00	0,76
Mucilagem + chorume + casa de café	1,74	1,20	0,70	15,40	0,58
Palha de café + chorume	1,03	0,70	1,20	8,10	1,71
Cama de estábulo + pergaminho de café	1,32	1,10	0,90	11,20	0,81
Casca de café sem compostar	1,56				

C: carbono orgânico total; N: nitrogênio total; FAF: fração ácidos fúlvicos; FAh: fração ácidos húmicos; FH: fração humina; FAh/FAf: relação das frações ácidos húmicos/ácidos fúlvicos. IH: índice de humificação.

De acordo com o índice de humificação, o vermicomposto e a palha de café com chorume foram compostos maduros e, portanto, com maior potencial de mineralização de nutrientes (Bernal et al., 1998). O vermicomposto e o composto de mucilagem com chorume e casca de café apresentaram maior quantidade de formas facilmente biodegradáveis de N (menor relação FAh/FAf); a palha de café com chorume e o composto de cama de estábulo com pergaminho de café apresentaram maior recalcitrância.

Os grupos formados mediante técnica de componentes principais foram: grupo 1- vermicomposto e composto de palha de café com chorume; grupo 2- composto de mucilagem com chorume e casca de café; e grupo 3- compostos de cama de estábulo com pergaminho de café, de esterco bovino com casca de café e a casca de café sem compostar (Figura 1).

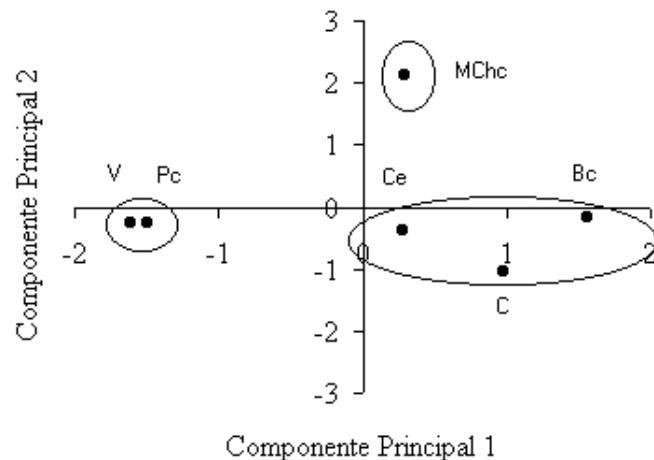


Figura 1. Dispersão de escores e agrupamento por similaridade para os diferentes compostos V: vermicomposto; Pc: palha de café com chorume; MChc: mucilagem com chorume e casca de café; Ce: cama de estábulo com pergaminho de café; BC: esterco bovino com casca de café e C: casca de café sem compostar .

As variáveis com maior contribuição no agrupamento foram os teores de C (23%), P (19%) e Ca (11%). Para fazer estudos de decomposição e mineralização das formas orgânicas de N e P, um composto representativo dos grupos 1 e 2, conjuntamente com dois materiais do grupo 3, foram selecionados: vermicomposto, mucilagem com chorume e casca de café, esterco bovino com casca de café e a casca de café sem compostar.

Apenas o vermicomposto apresentou estado de maturação de conformidade com o critério de Hue & Liu, (1995). O composto encontra-se maturado quando a relação C solúvel em água/nitrogênio orgânico for de aproximadamente 0,7 (Quadro 4). Os compostos mostraram teores semelhantes de C solúvel em água e carboidratos, com exceção do vermicomposto, que apresentou os menores teores, refletindo sua maior maturidade (Kiehl, 2005). Os teores de carboidratos e polifenóis totais solúveis correlacionaram-se negativamente com os índices de humificação dos diferentes compostos ($r = -0,99^{**}$ e $r = -0,60^{**}$, respectivamente), corroborando os resultados de Sanchez et al. (1999), que determinaram que os carboidratos são a principal fonte de carbono para os microrganismos responsáveis pela degradação da matéria orgânica e que os polifenóis solúveis atuam como precursores no processo

de humificação. A relação lignina+polifenóis/nitrogênio foi maior para a casca de café sem compostar e menor para o composto de mucilagem com chorume e casca de café, indicando, para este último, maior potencial de decomposição e mineralização (Palm et al., 2001).

Quadro 4. Caracterização bioquímica de diferentes compostos e relações lignina, nitrogênio e polifenóis

Variável	Unidade	Material				Média	CV (%)
		Vermi-composto	Casca de café	Mucilagem + chorume + casa de café	Esterco bovino + casca de café		
CARB	%	0,10	1,30	1,00	0,80	0,80	63,73
Cag	%	0,21	3,44	4,21	3,71	2,89	62,80
Cag/Norg		0,89	17,81	15,59	19,05	13,33	63,13
POL	%	0,15	1,09	0,34	1,43	0,75	80,69
BSA	$\mu\text{g mg}^{-1}$	2,30	43,80	3,90	31,80	20,44	100,95
LIG/N		9	12	6	7	10,16	25,26
POL/N		0,15	0,70	0,20	0,73	0,44	71,27
LIG/POL		61	18	31	10	37,66	73,61
(LIG+POL)/N		9	13	6	8	10,61	23,93

CARB: carboidratos totais solúveis; Cag: carbono solúvel em água; Cag/Norg: relação carbono solúvel em água/nitrogênio orgânico; POL: polifenóis totais solúveis; BSA: capacidade dos polifenóis em complexar proteína; LIG/N: relação lignina/nitrogênio; POL/N: relação polifenóis/nitrogênio; LIG/POL: relação lignina/polifenóis e (LIG+POL)/N: relação lignina+polifenóis/nitrogênio.

Houve variação na quantidade evoluída de C-CO₂, o composto de mucilagem com chorume e casca de café apresentou formas de C facilmente biodegradáveis em relação aos outros tratamentos (Figura 2). Isso se explica pelo alto teor de proteína bruta, baixa relação C/N, menor FDA e polifenóis com pouca capacidade em complexar proteína, nesse composto. Ao contrário, o vermicomposto apresentou a menor evolução de C-CO₂, pois se trata de um material com alto índice de humificação (Cardoso et al., 1992).

Considerando uma eficiência de assimilação de C pelos microrganismos de 40% (Moreira & Siqueira, 2002), estimou-se que entre 0,59 e 21,37%, do C adicionado por meio dos diferentes tratamentos foi oxidado durante o processo de decomposição (Quadro 5).

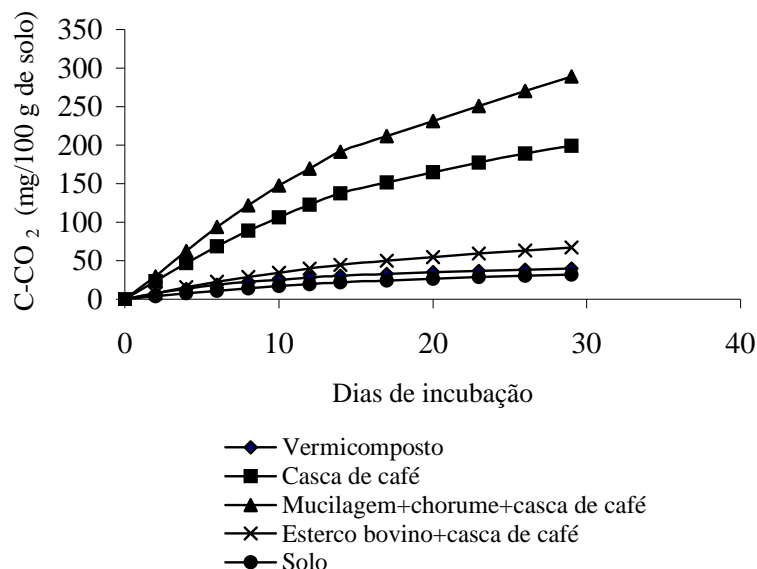


Figura 2. Produção acumulada de C-CO₂ (mg/100 g de solo) para o solo tratado com diferentes materiais e testemunha (solo) durante o período de incubação.

Quadro 5. Evolução e oxidação do carbono do solo tratado com compostos e testemunha (solo) durante o período de incubação. C-CO₂: carbono absoluto evoluído; C: carbono assimilado; Cox: total oxidado absoluto; C-CO₂ox: total oxidado relativo

Tratamento	C-CO ₂	C	Cox	C-CO ₂ ox
	----- mg	mg	----- mg	%
Vermicomposto	39,58 d	26,39	65,97	0,59
Casca de café	199,48 b	132,99	332,47	13,92
Mucilagem com chorume e casca de café	288,91 a	192,61	481,52	21,37
Esterco bovino com casca de café	67,46 c	44,97	112,43	2,92
Solo	32,40 d	21,60	54,00	

Cox: total oxidado absoluto = C -CO₂ + C;

$$\%C-CO_2ox = \frac{(C - CO_2 \text{ total oxidado do solo} + \text{material}) - (C - CO_2 \text{ total oxidado do solo} - \text{material})}{C \text{ adicionado pelo material}} * 100$$

Na coluna, médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha=5\%$).

A produção acumulada de C-CO₂ evoluído (Apêndice 1,4) ajustou-se adequadamente ao modelo de saturação de Hill (Quadro 6). Os maiores valores de saturação na evolução de C-CO₂ (parâmetro α) foram observados no tratamento com composto de mucilagem com chorume e casca de café, indicando que esse material apresentou maior proporção de C facilmente oxidável. Nos diferentes tratamentos houve variação (CV=29%) entre as estimativas da constante de evolução de C-CO₂

(parâmetro γ), sugerindo que esta foi sensível às diferenças qualitativas entre os resíduos. Portanto, a cinética de evolução de C-CO₂ apresentou diferentes padrões de crescimento, mas com pouca variação (CV=3%) na ordem aparente do processo de saturação (parâmetro δ). A estimativa da taxa máxima de decomposição correlacionou-se positivamente com os valores observados acumulados da evolução de C-CO₂ ($r = 0,98^{**}$), sugerindo sua utilização como indicador da decomposição dos materiais estudados.

Quadro 6. Estimadores dos parâmetros, intervalos de confiança assintóticos (IC): limite inferior (LI) e limite superior (LS), quadrado do coeficiente de correlação (R^2), dia em que ocorreu a taxa máxima de evolução, e taxa máxima de evolução de C-CO₂ de conformidade com o modelo de Hill

Tratamento	Estimadores dos parâmetros ⁽¹⁾	IC		R^2	Dias	Taxa máxima de C-CO ₂ mg d ⁻¹
		LI	LS			
Vermicomposto	$\alpha = 52,91$	50,30	55,11	0,99	5	2,58
	$\gamma = 12,84$	12,10	13,57			
	$\delta = 1,08$	1,02	1,13			
Casca de café	$\alpha = 304,20$	281,2	327,2	0,99	9	32,26
	$\gamma = 27,40$	25,47	29,33			
	$\delta = 1,16$	1,09	1,23			
Mucilagem + chorume + casca de café	$\alpha = 467,20$	404,0	530,5	0,99	7	46,13
	$\gamma = 31,36$	28,18	34,54			
	$\delta = 1,15$	1,04	1,26			
Esterco bovino + casca de café	$\alpha = 117,90$	105,60	130,20	0,99	12	15,77
	$\gamma = 29,47$	27,70	31,24			
	$\delta = 1,08$	1,01	1,15			
Solo ⁽²⁾	$\alpha = 52,80$	51,91	59,39	0,99	3	4,00
	$\gamma = 27,66$	25,19	30,13			
	$\delta = 1,12$	1,02	1,21			

⁽¹⁾ Para todos os tratamentos, os estimadores dos parâmetros α , γ e δ foram significativos a 5% de probabilidade pelo teste de t.

⁽²⁾ Utilizou-se como fonte de carbono, o carbono orgânico total do solo.

Para os diferentes tratamentos, a taxa máxima de evolução foi atingida entre 5 e 12 dias de incubação; o tratamento com esterco bovino e casca de café precisou de maior tempo para atingir a sua taxa máxima, refletindo sua instabilidade. Ao final do período de incubação, os valores acumulados da evolução de C-CO₂ correlacionaram-se positivamente com o teor de C solúvel em água ($r = 0,69^{**}$) e carboidratos ($r = 0,73^{**}$) e negativamente com a relação lignina/polifenóis ($r = -0,79^{**}$) e índice de humificação ($r = -0,69^{**}$) dos compostos.

Em relação à testemunha, o tratamento com vermicomposto mineralizou o maior teor de N, seguido do composto de mucilagem com chorume e casca de café. Já os tratamentos com composto de esterco bovino com casca de café e a casca de café sem compostar mineralizaram menores teores (Figura 3). Isso pode ser explicado pelo fato de que o vermicomposto e o composto de mucilagem com chorume e casca de café apresentaram as menores relações C/N e Cag/Norgânico, polifenóis totais solúveis com pouca capacidade em complexar proteína e as menores relações lignina+polifenóis/nitrogênio.

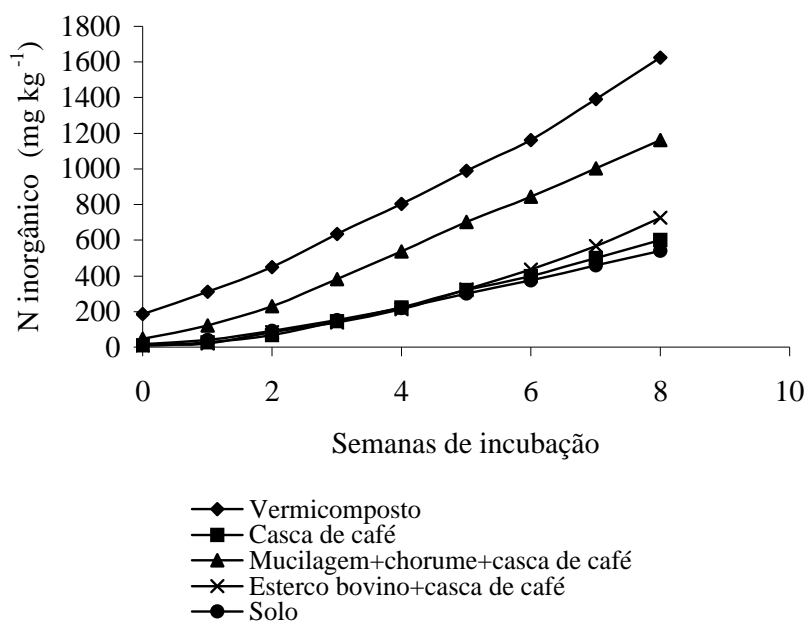


Figura 3. Teores acumulados de N inorgânico para o solo tratado com compostos e testemunha (solo) durante o período de incubação.

O vermicomposto e o composto de mucilagem com chorume e casca de café, mesmo mostrando ao final do período de incubação os maiores teores acumulados de N inorgânico, apresentaram dinâmica de liberação lenta, com taxas de 0,19 e 0,23 mg kg⁻¹ semana⁻¹, respectivamente (Quadro 7). Em relação à testemunha, a casca de café sem compostar e o composto de esterco bovino com casca de café apresentaram imobilização de N durante as primeiras quatro semanas, embora com padrões

incipientes, taxas de 0,27 e 0,31 mg kg⁻¹ semana⁻¹, respectivamente. Ao final do período de incubação, os teores acumulados de N inorgânico (Apêndice 2,4) correlacionaram-se positivamente com o índice de humificação (r = 0,70**) e negativamente com a relação C solúvel em água/nitrogênio (r = -0,93**) e capacidade dos polifenóis solúveis em complexar proteína (r = -0,92**) dos compostos.

Quadro 7. Estimadores dos parâmetros, intervalos de confiança assintóticos (IC): limite inferior (LI) e limite superior (LS), quadrado do coeficiente de correlação (R²), e teores observados acumulados de N inorgânico ao final do período de incubação para o solo tratado com diferentes materiais e testemunha (solo)

Tratamento	Estimadores dos parâmetros ⁽¹⁾	IC		R ²	N inorgânico acumulado mg kg ⁻¹
		LI	LS		
Vermicomposto	A= 339,90 k= 0,19	272,20 0,16	407,60 0,23	0,98	1.625 a
Casca de café	A= 67,94 k= 0,27	33,57 0,20	102,30 0,35	0,96	600 d
Mucilagem+chorume+ casca de café	A= 194,40 k=0,23	117,30 0,17	271,50 0,29	0,95	1.162 b
Esterco bovino+ casca de café	A= 59,94 k = 0,31	35,39 0,25	84,49 0,37	0,98	724 c
Solo	A= 51,06 k= 0,30	28,96 0,23	73,17 0,36	0,97	535 e

⁽¹⁾ Para todos os materiais, os estimadores dos parâmetros foram significativos a 5% de probabilidade pelo teste de t. Na coluna, médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($\alpha=5\%$).

No período de pré-incubação (tempo 0) observou-se que as formas predominantes de P corresponderam ao P orgânico; com média de 119 mg kg⁻¹. O tratamento com vermicomposto apresentou o maior teor de P orgânico, e aquele com casca de café sem compostar, o menor. O tratamento com vermicomposto também apresentou o maior teor de P inorgânico e o tratamento com composto de esterco bovino e casca de café, o menor. Após três semanas de incubação, observou-se maior mudança percentual no P orgânico nos tratamentos com composto de esterco bovino e casca de café, e com casca de café sem compostar. Contudo, ao final do período de incubação estes tratamentos foram os que mostraram menores teores de P inorgânico acumulado (Quadro 8), significando que eles apresentaram maiores teores

de P de fácil biodegração em comparação com os tratamentos com vermicomposto e com composto de mucilagem com chorume e casca de café. Os teores acumulados de P inorgânico (Apêndice 3,7) se correlacionaram positivamente com o teor inicial de P orgânico ($r = 0,82^{**}$) e o índice de humificação ($r = 0,64^{**}$); e negativamente com a relação C/P ($r = -0,76^{**}$) dos diferentes compostos e casca de café sem compostar.

Quadro 8. Teores de P orgânico (Po) e inorgânico (Pi), antes e após três semanas de incubação e Pi acumulado ao final do período de incubação, para o solo tratado com diferentes materiais e testemunha (solo)

Tratamento	Pré-incubação (0 semanas)		Pós-incubação (3 semanas)			Pi acumulado mg kg ⁻¹	
	Pó	Pi	Po	ΔPo	Pi		
	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	%	mg kg ⁻¹		
Vermicomposto	284,62 b	13,17 a	123,60 a	-56,57	29,14 a	121,26	149,45 a
Casca de café	74,29 c	5,27 b	24,20 c	-67,43	10,36 b	96,52	54,38 c
Mucilagem + chorume + casca de café	117,70 a	11,22 a	70,03 b	-40,50	22,10 a	97,03	125,46 b
Esterco bovino + casca de café	87,64 c	3,35 b	26,79 c	-69,43	7,77 b	132,07	37,40 d
Solo	31,36 d	2,01 b	18,46 d	-41,14	2,57 c	27,86	12,65 e
Média	119,12	7,00	52,62	-55,01	14,39	94,95	75,87

ΔPo: mudança percentual em relação ao tempo 0 no fósforo orgânico; ΔPi: mudança percentual em relação ao tempo 0 no fósforo inorgânico. Nas colunas, médias seguidas por pelo menos uma mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha = 5\%$).

Ao final do período de incubação, o vermicomposto apresentou o maior teor acumulado de P inorgânico, seguido na ordem pelos tratamentos com mucilagem com chorume e casca de café, com casca de café sem compostar e com esterco bovino e casca de café (Figura 4). O modelo linear response plateau ajustou-se aos teores observados acumulados de P inorgânico, os tratamentos com maiores taxas de mineralização foram os com vermicomposto (24,52 mg kg⁻¹semana⁻¹) e com composto de mucilagem com chorume e casca de café (20,90 mg kg⁻¹ semana⁻¹), Quadro 9.

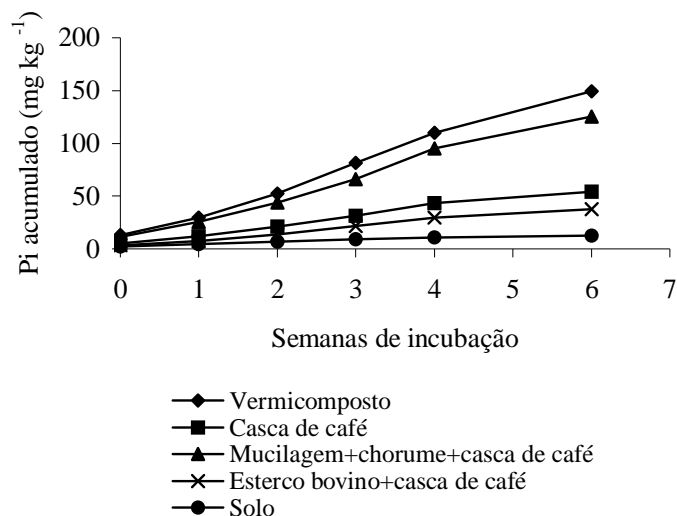


Figura 4. Teores acumulados de fósforo inorgânico (Pi) para solo tratado com diferentes matérias e testemunha (solo), durante o período de incubação.

Quadro 9. Estimadores dos parâmetros, intercessão das equações (linear e constante) e quadrado do coeficiente de correlação (R^2). Ajuste do modelo linear response plateau aos teores de P inorgânico para o solo tratado com diferentes materiais e testemunha (solo)

Tratamento	B_0	B_1	B_2	Intercessão	R^2
Vermicomposto	8,31	24,52	149,45	(5,75 , 149,45)	0,99
Casca de café	3,47	9,59	54,37	(5,30 , 54,37)	0,98
Mucilagem + chorume + casca de café	6,68	20,90	125,46	(5,68 , 125,46)	0,98
Esterco bovino + casca de café	1,80	6,69	37,39	(5,32 , 37,39)	0,98
Solo	2,17	2,22	12,64	(4,70 , 12,64)	0,99

B_0 : Intercepto; B_1 : taxa de mineralização; B_2 : valor máximo (plateau). Para todos os tratamentos, os estimadores dos parâmetros foram significativos a 5% de probabilidade pelo teste de t.

Os resultados deste estudo indicaram que, a casca de café apresenta potencial de utilização na compostagem, mas deve ser misturada com materiais de fácil e rápida decomposição, de preferência ricos em N, para favorecer a compostagem (Kiehl, 2005). Identificaram-se como de rápida e fácil decomposição a palha de café, a mucilagem de café e o chorume suíno. Assim, a escolha dos materiais para compostar dependerá das características químicas e bioquímicas dos resíduos agropecuários disponíveis no local de trabalho, dos objetivos do programa de fertilização e da demanda nutricional das culturas.

4. Conclusões

- Os compostos e a casca de café sem compostar caracterizam-se por apresentar pouca variação no teor de N e S; e alta variação no teor de K e P. O vermicomposto e os compostos elaborados com chorume suíno apresentam os maiores teores de Cu, Cr e Pb.
- O vermicomposto apresenta maturação expressa pela relação C solúvel em água/nitrogênio orgânico e estabilidade pelo experimento de respirometria. Pelo índice de humificação apresentam maturação o vermicomposto e o composto de palha de café com chorume.
- Os teores acumulados de N inorgânico correlacionam-se positivamente com os índices de humificação, e negativamente com a relação C solúvel em água/nitrogênio orgânico e a capacidade dos polifenóis em complexar proteína.
- Na dinâmica de mineralização do P os teores acumulados de P inorgânico correlacionam-se positivamente com o teor inicial de P orgânico e negativamente com a relação C/P.

5. Literatura citada

- ADANI, F.; GIGLIOTTI, G.; VALENTINI, F.; LARAIA, R. Respiration index determination: A comparative study of different methods. *Compost Sci. Utilization*, 11:144–151, 2003.
- ANDERSON, J.D. & INGRAM, J.S. *Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods*. 2.ed. Wallingford: CAB International, 1996. 171p.:il.
- ANDERSON, J.P. Soil respiration. In: Page, A. L.; Miller, R.H. & Keeney, D.R. eds. *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*. 2 Ed. Madison: Soil Science Society of America. ASA, 1982. p 831-845.
- BARLETT, R.J. & ROSS, D.N. Colorimetric determination on of oxidizable carbon in acid soil solutions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52:1191-1192, 1988.
- BENITEZ, C.; BELLIDO, E.; GONZALEZ, J.; MEDINA, M. Influence of pedological and climatic factors on nitrogen mineralization in soils treated with pig slurry compost. *Biores. Technol.*, 63:147-151, 1998.
- BERNAL, M.P.; PAREDES, C.; SÁNCHEZ, M.M. & CEGARRA, J. Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes. *Biores. Technol.*, 63:91-99, 1998.
- BRASIL. Inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, destinados à agricultura. Brasília: Ministério da Agricultura. Secretaria de Fiscalização Agropecuária, Decreto No. 4.954, 2004. 45p.
- BRINK, R.H.; DUBACH, P. & LYNCH, D.L. Measurement of carbohydrates in soil hydrolyzates with anthrone. *Soil. Sci.*, 89:157-166, 1960.
- CARDOSO, E.J.; TSAI, S.M.; NEVES, M.P. *Microbiologia do solo*. Campinas: Sociedade brasileira de ciências do solo, 1992. 360 p.: il.
- CHANYASAK, V. & KUBOTA, H. Carbon/organic nitrogen ratio in water extract as measure of compost degradation. *J. Ferment. Technol.*, 59:215-219, 1981.
- ECK, H.V. & STEWART, B.A. Manures. In: RECHCIGL, J.E. *Soil amendments and environmental quality*. Boca Raton, FL: CRC Press, 1995. p. 169-198.
- ELLIOT, J.I.; AMER, M.A. Influence of level of copper supplement and removal of supplemental copper from the diet on performance of growing-finishing pigs and accumulation of copper in the liver. *Canadian J. of Animal Sci.*, 53:133-138, 1973.

- HAYES, M.H.B.; MACCARTHY, P.; MALCOLM, R.L. et al. The search for structure: setting the scene. In HAYES, M.H.B. et al. (Ed). Humic substances II. New York: John Wiley and Sons, 1989. p. 3-31.
- HEDLEY, M.J.; STEWART, J.W.B. & CHAUHAN, B.S. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46:970-976, 1982.
- HUE, N.V. & LIU, J. Predicting compost stability. *Compost Sci. Utilization*, 3: 8–15, 1995.
- IANNOTTI, D. A.; PANG, T.; TOTH, B.; ELWELL, D.; KEENER, H.; & HOITINK, H.A A quantitative respirometric method for monitoring compost stability. *Compost Sci. Utilization*, 1:52-65, 1993.
- KABATA, P, A. & PENDIAS, H. Trace elements in soil and plants. Boca Raton, FL: CRC Press, 2000. 331p.:il.
- KASHMANIAN, R.M. & RYNK, R.F. Agricultural composting in the United States. *Compost Sci. Utilization*, 3:84–88, 1995.
- KEMPERS, A.J. & ZWEERS, A. Ammonium determination in soil extracts by the salicylate method. *Commun. Soil Sci. Plant. Anal.*, 17:715-723, 1986.
- KIEHL, E.J. Fertilizantes orgânicos. Piracicaba: CERES, 1985. p. 407-459.
- KIEHL, E.J. Adubação orgânica: 500 perguntas & respostas. Piracicaba: E.J. Kiehl, 2005. 234p. : il.
- LIMA, I.A. & MIYADA, V.S. Cobre orgânico e inorgânico como promotores do crescimento de leitões recém desmamados. *R. Bras. Zootec.*, 32:1657-1662, 2003.
- MOONEY, K.W & CROMWELL, G.L. Effects of dietary chromium picolinate supplementation on growth, carcass characteristics, and accretion rates of carcass tissues in growing-finnishing swine. *J. Anim. Sci.*, 73:3351-3358, 1995.
- MORAL, R.; MORENO, J.; PEREZ, M.M. PEREZ, E.P.; RUFETE, B. & PAREDES, C. Characterization of the organic matter pool in manures. *Biores. Technol.*, 96: 153-158, 2005.
- MOREIRA F.M.S. & SIQUEIRA, J.O. Microbiologia e bioquímica do solo. Lavras: UFLA. 2002. 626p.
- MORGAN, P.H.; MERCER L.P.; FLODIN N.W. General model for nutritional responses of higher organisms. *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 72: 4327-4331, 1975.
- MURPHY, J. & RILEY, J.P. A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta*, 27:31-36, 1962.

- NAMKOONG, W.; HWANG, E.Y.; CHEONG, J.G.; CHOI, J.Y. A comparative evaluation of maturity parameters for food waste composting. *Compost Sci. Utilization*, 7:55–62, 1999.
- PALM C.A.; GACHENGO, C.N.; DELVE, R.J. Organic inputs for soil fertility management in tropical agroecosystems: application of an organic resource database. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 83:27–42, 2001
- PAUL, E. A. & CLARK, F. E. Dynamics of residue decomposition and soil organic matter turnover. In: *Soil microbiology and biochemistry*. 2nd ed. San Diego: Academic, 1996. p. 158-179.
- RIBEIRO JUNIOR, J.I. *Análises estatísticas no SAEG*. Viçosa: UFV., 2001. 301 p.
- RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃEZ, P.T. & ALVAREZ, V.H. *Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes para o estado de Minas Gerais: 5ª aproximação*. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359 p.:il.
- SANCHEZ, M.A.; ROIG, A.; CEGARRA, J.; BERNAL, M.P. Relationships between water-soluble carbohydrate and phenol fractions and the humification indices of different organic wastes during composting. *Biores. Technol.*, 70: 193-201, 1999.
- SILVA, D.J & QUEIROZ, A. C. *Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos*. 3 Ed. Viçosa: UFV, 2005. 235 p.:il.
- SIQUEIRA, J.O. *Biotechnology do solo: Fundamentos e perspectivas*. ABEAS, Lavras: ESAL, FAEPE. 1988, 236 p.:il.
- VAN SOEST, P.J., ROBERTSON, J.B., LEWIS, B.A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.*, 74:3583-3597, 1991.
- YANG, J.E.; SKOGLEY, E.O.; SCHAFF, B.E.; KIM, J.J. A simple spectrometric determination of nitrate in water, resin, and soil extracts. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 62:1108-1115, 1998.
- YEOMANS, J.C. & BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 19:1467-1476, 1988.
- ZUCCONI, F.; PÊRA, A., FORTE, M. & BERTOLDI, M. Evaluating toxicity of immature compost. *Bio. Cycle.*, 22:540-57, 1981.

CAPÍTULO V

CRESCIMENTO E ABSORÇÃO DE NITROGÊNIO E FÓSFORO POR BRAQUIÁRIA EM LATOSSOLO ADUBADO COM DIFERENTES MATERIAIS ORGÂNICOS

Resumo: Este trabalho avaliou o potencial fertilizante de esterco de galinha e de suíno, farinha de carne e osso, *Crotalaria juncea* (crotalária), *Leucaena leucocephala* (leucena), vermicomposto comercial e casca de café sobre o crescimento e a absorção de nutrientes por *Brachiaria decumbens* (braquiária). As doses dos materiais orgânicos corresponderam a 1,5 dag de C orgânico kg⁻¹ de solo seco e peneirado com malha de 4 mm. Mediante técnica de exaustão de nutrientes por cortes sucessivos, avaliou-se a produção de biomassa e a percentagem de recuperação de N e P para um ciclo de 180 dias. Três experimentos simultâneos foram conduzidos em casa de vegetação: 1) com adição de materiais orgânicos, sem adubação mineral do solo, 2) com aplicação mineral de P e 3) com aplicação mineral de N. Os tratamentos com maior produção de biomassa foram aqueles com esterco de suíno, de galinha e com vermicomposto comercial. De maneira geral, a produção da biomassa da parte aérea das plantas foi maior quando ocorreu adição de P mineral ao solo, exceto no tratamento com farinha de carne e osso, cujo valor foi reduzido em 50% quando comparado com a condição sem fertilização mineral. Na condição sem fertilização mineral, o N foi recuperado em maior percentagem quando aplicado esterco de suíno (39%), de galinha (17%) e vermicomposto (15%). Para essa mesma condição o P foi recuperado em maior percentagem quando aplicado vermicomposto (6%), esterco de suíno (4%) e crotalária (3%). Com adição de P mineral ao solo, o N foi recuperado em maior percentagem quando aplicado esterco de suíno (45%), de galinha (30%) e leucena (22%). Com adição de N mineral, o P foi recuperado em maior percentagem quando aplicado vermicomposto (11%), esterco de suíno (5%) e de galinha (4%). As percentagens de recuperação não foram apenas controladas pela qualidade química dos resíduos, em termos da biodegradabilidade do C, mas também pelo balanço entre as formas inorgânicas e orgânicas de N e P.

Termos de indexação: adubação orgânica, recuperação de nutrientes.

CHAPTER V

GROWTH AND UPTAKE OF NITROGEN AND PHOSPHORUS BY BRACHIARIA IN AN OXISOL FERTILIZED WITH DIFFERENT ORGANIC PRODUCTS

Abstract: This work evaluated the fertility potential of chicken and pig manures, meat and bone meal, *Crotalaria juncea* (crotalária), *Leucaena leucocephala* (leucena), earthworm compost and coffee husk on the growth and nutrients uptake by *Brachiaria decumbens* (braquiária). The doses of all the organic materials were based on the criteria of 1,5 dag of organic carbon kg⁻¹ of dry soil. By nutrient exhaustion technique of successive cuttings, the production of biomass and the recovery fractions of N and P were evaluated for a period of 180 days. Three simultaneous experiments were carried out at green house: 1) adding organic materials without mineral fertilization, 2) with addition of mineral P and 3) with addition of mineral N. The treatments that lead with a greater production of biomass were those with chicken and pig manures, and commercial earthworm compost. Generally, the biomass production was higher when mineral P was applied in the soil, with exception of the treatment with meat and bone meal, which value was reduced by 50% when compared to soil without mineral fertilization. For the condition without mineral fertilization, the N recovery was greater when applied pig manure (39%), chicken manure (17%), and earthworm compost (15%). P recovery was much smaller than that of N, and larger when applied as earthworm compost (6%), pig manure (4%) and crotalária (3%). When mineral phosphorus was added to the soil, the N recovery was greater when it was applied as pig manure (45%), chicken manure (30%) and leucena (22%). When mineral N was added to the soil, the P recovery was greater particularly when it was applied as earthworm compost (11%), pig manure (5%) and chicken manure (4%). The recovery fractions were not only controlled by the chemical quality of the organic materials, in terms of their carbon biodegradability, but also by the balance between organic and inorganic forms.

Index terms: organic fertilization, nutrient recovery

1. Introdução

São vários os materiais e resíduos orgânicos utilizados como insumos nos processos de produção agrícola (Guimarães et al., 2002). O valor fertilizante desses materiais depende principalmente de sua composição bioquímica (Kiehl, 1985; Ribeiro et al., 1999). Uma característica marcante desses materiais relaciona-se ao fato de que seus nutrientes, exceto o potássio, encontram-se predominantemente na forma orgânica (Kiehl, 1999). Assim, para serem absorvidos pelas plantas, há necessidade da transformação para a forma inorgânica por meio do processo de mineralização, o qual é influenciado pelo tipo de material (Palm & Sanchez, 1991; Janssen, 1996), pelo clima (Quemada & Cabrera, 1997), pelo tipo de solo (Cordovil et al., 2005) e pela microbiota do solo (Paul & Clarck, 1996).

Nos cálculos da adubação orgânica é preciso considerar os índices de conversão das formas orgânicas em inorgânicas. Segundo Siqueira (1994), esses índices representam o percentual médio de transformação da quantidade total dos nutrientes contidos nos adubos orgânicos que passa para a forma inorgânica nos sucessivos cultivos após a aplicação. Apesar da crescente expansão da agricultura orgânica, são poucos os estudos que determinam os índices de conversão de nutrientes para diferentes materiais e resíduos orgânicos. A maior parte dos trabalhos relacionados ao cálculo da adubação orgânica tem-se originado das pesquisas de Pratt & Castellanos (1981), posteriormente adaptadas para condições tropicais (Siqueira, 1994; Ribeiro et al., 1999). No entanto, nesses trabalhos são apresentadas apenas tabelas que indicam as percentagens médias de conversão, sem especificar o tipo de material orgânico nem a duração do ciclo agrícola.

Para melhorar a eficiência no uso de materiais orgânicos como fertilizantes, é necessário conhecer o seu índice de conversão de nutrientes das formas orgânicas em inorgânicas e a percentagem de recuperação desses nutrientes pelas plantas. Partindo da hipótese de que o tipo de material orgânico influencia a percentagem de recuperação de nutrientes, este trabalho objetivou avaliar o crescimento e a absorção de N e P pela braquiária em casa de vegetação, durante 180 dias, em latossolo adubado com diferentes materiais orgânicos.

2. Material e Métodos

Foram empregados materiais orgânicos coletados nos Estados de Minas Gerais e São Paulo (Quadro 1). Utilizou-se amostragem simples ao acaso, coletando cinco medidas de 320 cm³ por material amostrado, as quais foram usadas posteriormente para obtenção de amostras compostas.

Quadro 1 - Localização de coleta dos materiais orgânicos

Material	Local de coleta	Município
Esterco de galinha	Departamento de Zootecnia	UFV, Viçosa MG
Esterco suíno	Departamento de Zootecnia	UFV, Viçosa MG
Farinha de carne e ossos	Indústria PIF-PAF	Visconde Rio Branco MG
Crotalária	Sítio Praia D' Anta	Araponga MG
Leucena	Unidade de Agrostologia	UFV, Viçosa MG
Casca de café	Fazenda Cachoeira	Sto. Antonio do Amparo MG
Vermicomposto comercial	P.E. Porfírio & Cia. Ltda.	Iracema Catanduva SP

Para caracterização química, três subamostras de cada tipo de material orgânico foram secas em estufa com circulação forçada de ar a 65°C durante 72 horas, moídas e passadas em peneira com malha de 2 mm. Esses materiais foram caracterizados quanto ao teor de C orgânico total, por oxidação úmida com aquecimento externo (Yeomans & Bremner 1988); N total, pelo método Kjeldahl; elementos totais após digestão nítrico-perclórica, determinando nos extratos os teores de S, Al, Fe, Mn, Cu, Cr, Cd, Pb e Zn, por espectrometria de emissão de plasma; Ca e Mg, por espectrofotometria de absorção atômica; K, por espectrometria de emissão de chama; e P, por colorimetria (Murphy & Riley, 1962), Quadro 2.

A fim de avaliar o potencial fertilizante desses materiais orgânicos sobre a produção de biomassa (matéria seca) e a recuperação de formas orgânicas de N e P pela braquiária, foram conduzidos três experimentos simultâneos em casa de vegetação: 1) com adição de materiais orgânicos, sem adubação mineral do solo, 2) com aplicação mineral de P, e 3) com aplicação mineral de N. Utilizaram-se amostras de solo seco e peneirado com malha de 4 mm proveniente do horizonte B (20 – 40 cm) de um Latossolo Vermelho - Amarelo distrófico, argiloso, com as

Quadro 2 – Características químicas (resultados expressos com base na matéria seca) e umidade dos materiais orgânicos

Variável	Unidade	Material							Média	CV (%)
		Estercos de galinha	Estercos suíno	Farinha de carne e ossos	Crotalária	Leucena	Casca de café	Vermi-composto		
C	dag kg ⁻¹	31,31	41,93	30,59	46,85	44,28	48,68	13,23	36,7	34,26
N	dag kg ⁻¹	4,03	2,74	5,55	3,42	4,51	1,56	1,03	3,26	49,35
P	dag kg ⁻¹	1,95	1,45	10,22	0,19	0,21	0,17	0,36	3,65	176,05
S	dag kg ⁻¹	0,35	0,39	0,26	0,13	0,31	0,11	0,19	0,25	43,73
C/N		9	18	6	16	11	36	15	16	62
C/P		41	34	8	637	545	740	95	300	108
C/S		239	287	314	961	381	1180	186	507	78
Ca	dag kg ⁻¹	6,72	5,61	17,89	0,81	1,54	0,37	0,91	4,84	129,96
Mg	dag kg ⁻¹	0,46	0,99	0,35	0,25	0,31	0,09	0,22	0,38	76,5
K	dag kg ⁻¹	2,90	1,82	0,19	1,36	1,57	1,57	0,16	1,37	69,9
Fe	mg kg ⁻¹	711,89	2200,18	98,42	217,86	369,69	568,05	10028,60	2027,81	177,41
Mn	mg kg ⁻¹	297,84	344,45	0,94	65,89	61,33	24,92	274,80	152,88	95,53
Cu	mg kg ⁻¹	41,69	64,59	1,30	6,34	14,64	20,64	24,13	24,76	88,52
Zn	mg kg ⁻¹	298,34	354,74	83,51	14,74	33,26	8,02	59,41	121,72	117,65
Cr	mg kg ⁻¹	16,96	39,75	2,90	1,07	3,40	2,05	52,64	16,97	123,83
Cd	mg kg ⁻¹	1,22	1,72	0	0,13	0,06	0	0	0,82	104,81
Pb	mg kg ⁻¹	0	2,84	0	0,86	0,55	0	5,05	2,08	89,49
Umidade	%	57,32	64,74	50,64	74,80	75,63	8,58	75,83	58,22	41,21

CV: Coeficiente de variação entre os diferentes materiais.

seguintes características químicas: 0,6 mg P dm⁻³ e 6 mg K dm⁻³; H+Al de 5,9 cmol_c dm⁻³; soma de bases trocáveis (SB) de 0,04 cmol_c dm⁻³; capacidade de troca catiônica (CTC) de 5,94 cmol_c dm⁻³; capacidade máxima de adsorção de P (CMAP) de 1,32 mg g⁻¹; e teor de matéria orgânica de 3,08 dag kg⁻¹.

O pH do solo foi corrigido adicionando-se 2,30 g de CaCO₃ kg⁻¹ de solo, de acordo com o método da neutralização do Al³⁺ e elevação dos teores de Ca²⁺ e Mg²⁺, segundo Ribeiro et al., (1999). Quando se utilizou fertilização mineral, se seguiu o critério de adubação para ensaios em ambiente controlado de Novais et al., (1991) aplicando ao solo 100 mg kg⁻¹ de N, na forma de uréia; 300 mg kg⁻¹ de P, na forma de fosfato bicálcico; e 150 mg kg⁻¹ de K na forma de cloreto de potássio.

Os materiais orgânicos secos, moídos e passados por peneira de 2 mm foram dosados segundo o critério de decomposição de primeira ordem proposto por Paul & Clark (1996), cujo ponto de saturação corresponde à massa do material equivalente a 1,5 dag de C kg⁻¹ de solo seco. No Quadro 3, são apresentadas as doses dos materiais orgânicos, assim como o conteúdo de N e P por tratamento.

Quadro 3. Doses de materiais e resíduos orgânicos (com base na matéria seca) e conteúdo de N e de P

Tratamento	Dose	Conteúdo	
	g kg ⁻¹	N (g kg ⁻¹)	P (g kg ⁻¹)
Esterco de galinha	48,00	1,93	0,93
Esterco suíno	36,00	0,98	0,52
Farinha de carne e osso	49,00	2,72	5,01
Crotalaria	32,00	1,09	0,06
Leucena	34,00	1,53	0,07
Casca de café	31,00	0,48	0,05
Vermicomposto	113,00	1,17	0,41

Os materiais foram incorporados a 1 kg de solo acondicionados em vasos de 1,5 dm³, sendo incubados por 15 dias com umidade correspondente a 80% da capacidade de campo. Transcorrido esse tempo, cinco plântulas de braquiária (com três folhas) foram transplantadas para cada vaso. Mediante cortes sucessivos, aos 60, 120 e 180 dias após o transplante, a parte aérea das plantas (folhas) foi colhida e seca em estufa a 65°C. O crescimento da braquiária foi determinado por meio do peso da

matéria seca. O material vegetal foi passado em moinho tipo Wiley com peneira de 2 mm, em subamostras foram determinados os teores de N total pelo método Kjeldahl e, após digestão nítrico-perclórica, o P, por colorimetria (Murphy & Riley, 1962). Esse mesmo procedimento foi repetido aos 120 e 180 dias. Na última colheita também foram analisados o coleto e a raiz. O N e P recuperados foram determinados através do N e P acumulados na planta (folhas + coleto + raiz), comparativamente ao que foi aplicado nas doses nos diferentes tratamentos.

Cada experimento foi disposto em blocos casualizados, com oito tratamentos (sete com materiais orgânicos e uma testemunha) e três repetições. Análise de variância, teste de médias (Tukey, $\alpha=0,05$) e regressão foram realizados utilizando o programa SAEG.

3. Resultados e Discussão

3.1 Produção de matéria seca

3.1.1 Sem adubação mineral

A resposta das plantas à aplicação dos diferentes materiais orgânicos, quando comparada à testemunha resultou em incremento da produção de matéria seca. Os tratamentos com maior produção de matéria seca foram aqueles com esterco de galinha e de suíno, farinha de carne e osso e vermicomposto (Figura 1). Esses materiais apresentaram relações $C/N < 20$, $C/P < 200$, $C/S < 300$ e características bioquímicas (Capítulos 1, 2 e 4) que, quando incorporados ao solo, favoreceram a mineralização e posterior absorção de nutrientes pela planta. A pequena resposta dos tratamentos com crotalária, leucena e casca de café pode estar relacionada às altas relações C/P e C/S e aos menores teores de micronutrientes desses materiais. O modelo de saturação de Hill foi ajustado aos valores observados da produção acumulada de matéria seca para os tratamentos com esterco de galinha, de suíno e com vermicomposto. O modelo quadrático aos valores obtidos com o tratamento com farinha de carne e ossos e o modelo linear para os tratamentos restantes e testemunha (Quadro 4).

3.1.2 Com adubação mineral

A adubação mineral com N ou P levou a incremento ou redução na produção acumulada de matéria seca nos diferentes tratamentos, já que a insuficiência ou excesso de um nutriente no solo reduz a eficácia de outros e, por conseguinte, pode diminuir a produção de biomassa, lei do mínimo e do máximo, respectivamente (Tisdale & Nelson, 1985).

3.1.2.1 Com adubação mineral de N

Os tratamentos que apresentaram maior resposta á fertilização nitrogenada foram os com esterco de suíno, de galinha e vermicomposto. Observou-se pequena resposta nos tratamentos com crotalária, leucena e casca de café. Após 120 dias de experimentação, o tratamento com vermicomposto mostrou grande redução na produção de matéria seca acumulada, e os tratamentos com esterco de suíno e de galinha, crescente. Isso sugeriu que a presença de N no meio favoreceu a biodegradação do vermicomposto, que aportou nutrientes que foram absorvidos pela braquiária no curto tempo em relação aos demais tratamentos (Figura 1). Nos materiais com maiores teores de N e baixas relações C/N (farinha de carne e osso, crotalária e leucena) a produção de matéria seca foi reduzida em 24, 75 e 36%, respectivamente; com teores intermediários (esterco de galinha e esterco de suíno), a produção de matéria seca aumentou em média 2,5%; e para aqueles com menores teores (casca de café e vermicomposto) observou-se incremento na produção de matéria seca de 112 e 65 %, respectivamente. Apenas os tratamentos com esterco de suíno e a farinha de carne e ossos apresentaram padrão crescente até os 180 dias, neste último, em menor magnitude (-36,29%) em comparação à condição sem adubação mineral de N, Quadro 4.

3.1.2.2 Com adubação mineral de P

A adubação mineral de P acarretou incremento substancial na produção acumulada de matéria seca nos diferentes tratamentos, com exceção da farinha de carne e ossos. Esse resultado indica que os teores de P provenientes dos materiais estudados não são suficientes para atender a demanda da braquiária ou que a taxa de mineralização desses materiais é muito baixa a curto prazo. Nesse respeito, Alves (1994) e Magalhães (1996), têm demonstrado que deficiências de P reduzem a

absorção de N e, portanto, provocam redução na produção de biomassa. Dentre os tratamentos com maior resposta à correção de P, destacou-se o com esterco de galinha, Figura 1. Os tratamentos com crotalária, leucena e casca de café também responderam ao P mineral, com o maior diferencial no incremento de matéria seca acumulada no tratamento com leucena; a exceção foi o tratamento com farinha de carne e ossos, que apresentou redução na produção de matéria seca de 50% (Quadro 4C). A farinha de carne e osso apresentou 10,22 dag kg⁻¹ de P e 17,89 dag kg⁻¹ de Ca, com matriz orgânica rica em materiais graxos (Kiehl, 1985), o que a caracteriza como material de decomposição lenta; isso pode ter causado inicialmente saturação no sistema com P facilmente disponível, produzindo maior imobilização em relação à absorção pela planta (Novais & Smith, 1999).

Em todas as condições, a redução da produção de matéria seca ao longo do tempo é explicada pela remoção dos nutrientes através de cortes sucessivos (Velthof et al., 2000) e pela maior quantidade adsorvida de P mineralizado proveniente das formas orgânicas, em solos com alta capacidade de adsorção de P (Novais & Smith, 1999). A exceção foi o tratamento com farinha de carne e osso que apresentou contínua resposta até o terceiro corte, indicando presença de nutrientes nas formas orgânicas (N e P), que mineralizaram lentamente, favorecendo o dreno planta em detrimento do dreno solo (Fox et al., 1990; Sharpley et al., 2004).

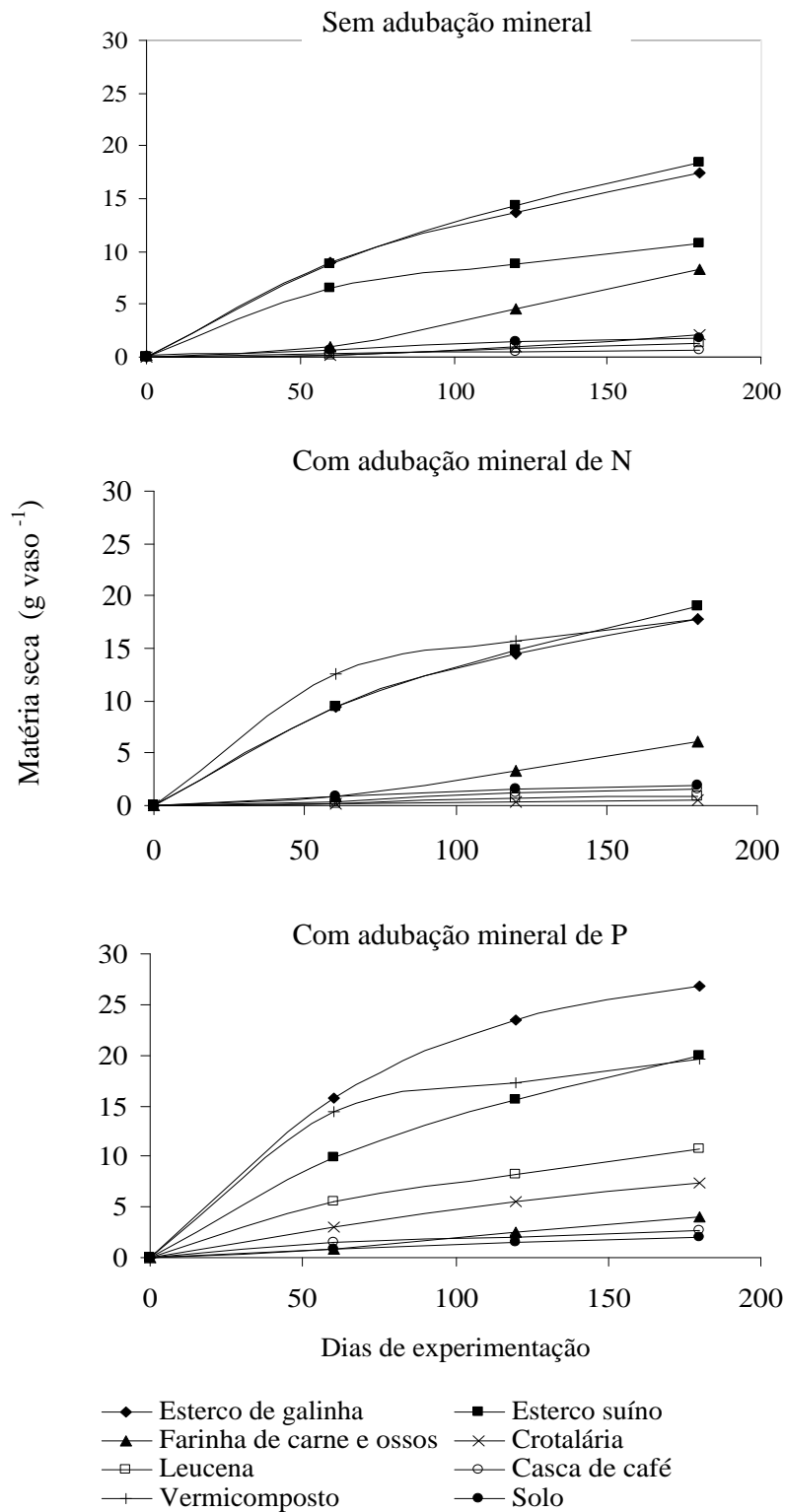


Figura 1. Produção de matéria seca acumulada da parte aérea da braquiária durante o período experimental, sob influência da adição de diferentes materiais orgânicos.

Quadro 4. Equações de regressão da produção de matéria seca acumulada da parte aérea da braquiária durante o período experimental, sob influência da adição de diferentes materiais orgânicos. Produção de matéria seca e incremento ou redução da matéria seca em relação à condição sem adubação mineral

Sem adubação mineral				
Tratamento	Equação	R ²	Matéria seca parte aérea g vaso ⁻¹	
Esterco de galinha	$Y = (148,10 X^{0,66}) / (235,70 + X^{0,66})$	0,99	17,42 a	
Esterco suíno	$Y = (54,35 X^{0,89}) / (204,95 + X^{0,89})$	0,99	18,42 a	
Farinha de carne e ossos	$Y = 0,0002 X^2 + 0,012 X - 0,032$	0,99	8,13 c	
Crotalária	$Y = 0,1 X - 0,24$	0,92	2,07 d	
Leucena	$Y = 0,007 X - 0,10$	0,96	1,29 d	
Casca de café	$Y = 0,004X + 0,02$	0,99	0,72 e	
Vermicomposto	$Y = (76,25 X^{0,51}) / (91,10 + X^{0,51})$	0,99	10,75 b	
Solo	$Y = 0,10 X + 0,06$	0,97	1,75 d	
Com adubação mineral de N				
Tratamento	Equação	R ²	Matéria seca parte aérea (g vaso ⁻¹)	Incremento ou redução da matéria seca (%)
Esterco de galinha	$Y = (31,81 X^{1,10}) / (147,18 + X^{1,10})$	0,99	17,78 a	2
Esterco suíno	$Y = (99,85 X^{0,73}) / (191,31 + X^{0,73})$	0,99	18,96 a	3
Farinha de carne e ossos	$Y = 0,0001 X^2 + 0,0093 X - 0,071$	0,99	6,18 b	-24
Crotalária	$Y = 0,0029 X - 0,019$	0,98	0,51 d	-75
Leucena	$Y = 0,0049 X - 0,026$	0,97	0,83 d	-36
Casca de café	$Y = 0,0090 X - 0,003$	0,96	3,09 c	111
Vermicomposto	$Y = (54,25 X^{0,43}) / (19,48 + X^{0,43})$	0,99	17,73 a	64
Solo	$Y = 0,0101 X + 0,154$	0,95	1,84 c	5
Com adubação mineral de P				
Esterco de galinha	$Y = (33,64 X^{1,37}) / (320,06 + X^{1,37})$	0,99	26,89 a	54
Esterco suíno	$Y = (174,76 X^{0,69}) / (286,82 + X^{0,69})$	0,99	20,00 b	9
Farinha de carne e ossos	$Y = 0,0231 X - 0,2245$	0,98	4,03 e	-50
Crotalária	$Y = (20,30 X^{1,06}) / (445,78 + X^{1,06})$	0,99	7,33 d	253
Leucena	$Y = (133,96 X^{0,64}) / (337,36 + X^{0,64})$	0,99	10,66 c	723
Casca de café	$Y = 0,0145 X + 0,2670$	0,93	2,75 e	282
Vermicomposto	$Y = (88,89 X^{0,34}) / (21,29 + X^{0,34})$	0,99	19,63 b	82
Solo	$Y = 0,0116 X + 0,0770$	0,98	2,08 e	19

Y = matéria seca não acumulada (g vaso⁻¹) e X= tempo (dias). Para todos os materiais os estimadores dos parâmetros foram significativos a 5% pelo teste de t. Na coluna, médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

3.2 3.2 N acumulado na parte aérea

3.2.1 Sem adubação mineral

O N proveniente da biodegradação do esterco de suíno foi acumulado em maior quantidade pela braquiária; o N proveniente do esterco de galinha e da farinha de carne e osso foi acumulado aproximadamente na mesma magnitude, mas com padrões de resposta diferentes (Figura 2). O acúmulo de N proveniente do tratamento com esterco de galinha seguiu uma tendência parabólica (ajustada ao modelo quadrático), sugerindo maior acúmulo durante os primeiros 120 dias; já o N proveniente do tratamento com a farinha de carne e osso mostrou uma tendência crescente (ajustada ao modelo exponencial), apresentando acúmulo crescente até o final dos 180 dias (Quadro 5). Isso indica que a farinha de carne e osso ainda com uma fração de fácil decomposição é um adubo orgânico de liberação lenta de N, quando comparado aos outros materiais. Pouca resposta foi observada no acúmulo de N na planta nos tratamentos com crotalária, leucena e casca de café (ajustada a modelos lineares), que apresentaram baixas taxas de acumulação.

3.2.2 Com adubação mineral de P

Determinou-se que a cinética de acumulação de N foi substancialmente influenciada pela presença de P mineral, acarretando maior acúmulo de N (Figura 2). Isso se explica pela condição de maior contato de P com maior volume de raízes, favorecendo a sua maior absorção (Klepker & Anghinoni, 1995), propiciando uma condição ideal para o acúmulo de N, que, em condição tropical, é dependente do suprimento adequado de P (Novais & Smith, 1999). O acúmulo de N correlacionou-se positivamente com a maior produção de biomassa nos diferentes tratamentos ($r = 0,91^{**}$).

O N foi acumulado predominantemente com tendências parabólicas, cujo ponto máximo não tinha sido atingido aos 180 dias de experimentação. Somente o acúmulo de N proveniente dos tratamentos com a farinha de carne e osso e com a casca de café foi ajustado ao modelo linear, indicando padrões de resposta crescente, com maior e menor taxa de acumulação, respectivamente (Quadro 5).

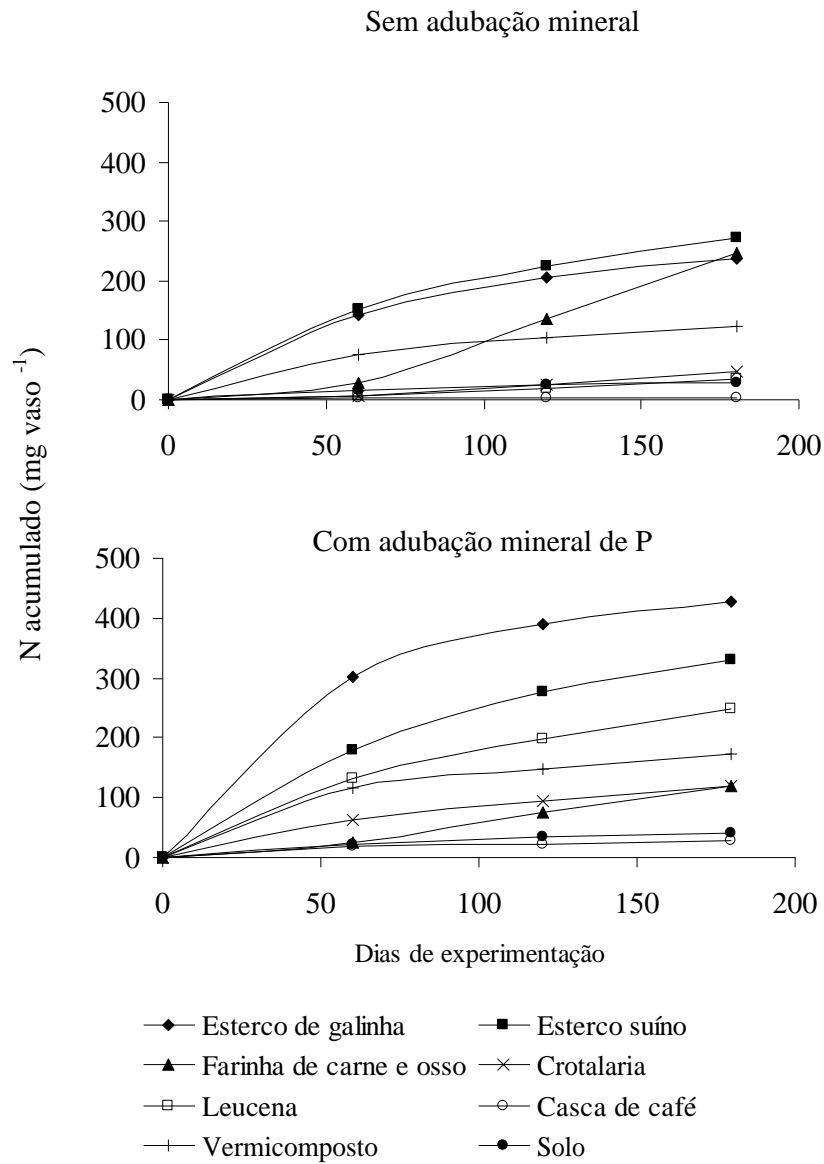


Figura 2. Conteúdo de N na parte aérea da braquiária durante o período experimental, sob influência da adição de diferentes materiais orgânicos.

Quadro 5. Equações de regressão para o conteúdo de N na parte aérea da braquiária, sob influência da adição de diferentes materiais orgânicos, e conteúdo de N recuperado ao final do período experimental

Sem adubação mineral				
Tratamento	Equação		R ²	Conteúdo de N mg vaso ⁻¹
Esterco de galinha	$Y = 2,67X - 0,076X^2 + 1,90$	(2)	0,99	236,67 b
Esterco suíno	$Y = 2,76X - 0,070X^2 + 2,67$	(3)	0,99	272,79 a
Farinha de carne e osso	$Y = 2,52 e^{0,03X}$	(1)	0,90	246,16 b
Crotalária	$Y = 0,26X - 4,23$	(1)	0,95	46,95 d
Leucena	$Y = 0,19X - 3,14$	(1)	0,94	34,44 d
Casca de café	$Y = 0,022X + 0,36$	(1)	0,94	4,09 e
Vermicomposto	$Y = 1,37X - 0,004X^2 + 2,07$	(3)	0,99	124,27 c
Solo	$Y = 0,31X - 0,0084X^2 - 0,077$	(1)	0,99	29,02 d
Com adubação mineral de P				
Esterco de galinha	$Y = 5,59X - 0,018X^2 + 8,33$	(3)	0,98	426,97 a
Esterco suíno	$Y = 3,38X - 0,0187X^2 + 1,90$	(2)	0,99	330,00 b
Farinha de carne e osso	$Y = 0,67X - 5,85$	(1)	0,98	119,35 e
Crotalária	$Y = 1,13X - 0,0027X^2 + 1,24$	(2)	0,99	118,30 e
Leucena	$Y = 2,37X - 0,0057X^2 + 2,23$	(2)	0,99	247,12 c
Casca de café	$Y = 0,14X + 3,80$	(2)	0,88	27,48 f
Vermicomposto	$Y = 2,04X - 0,0062X^2 + 4,07$	(2)	0,98	172,47 d
Solo	$Y = 0,42X - 0,0011X^2 - 0,10$	(1)	0,99	40,00 f

Y = Conteúdo de N (mg vaso⁻¹) e X= tempo (dias). Estimadores dos parâmetros significativos a 1% (1), 5% (2) e 10% (3) pelo teste de t. Na coluna, médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

3.3 P acumulado na parte aérea

3.3.1 Sem adubação mineral

O tratamento com a farinha de carne e osso apresentou o maior conteúdo acumulado de P, seguido pelos tratamentos com esterco de suíno, esterco de galinha e com vermicomposto (Figura 3). A cinética predominante no acúmulo de P na braquiária foi parabólica (ajustada ao modelo quadrático), com exceção do acúmulo de P proveniente do tratamento com a farinha de carne e osso, que mostrou tendência crescente (ajustada ao modelo exponencial), Quadro 6. Isso indica que os tratamentos com esterco de suíno, de galinha e com vermicomposto apresentaram formas de P de

fácil mineralização, refletida pelo maior acúmulo de P na braquiária durante os primeiros 120 dias de experimentação, em comparação com a farinha de carne e osso que é um material rico em formas orgânicas de P (Kiehl, 1985), mas de decomposição lenta (Tedesco et al., 1999). Contudo, o único tratamento com acúmulo crescente de P aos 180 dias de experimentação foi aquele com farinha de carne e osso. Os tratamentos com crotalária, leucena e casca de café apresentaram os menores acúmulos de P, produto de seus menores teores totais de P e altas relações C/P.

3.3.2 Com adubação mineral de N

O acúmulo de P na braquiária foi favorecido principalmente no tratamento com vermicomposto; os tratamentos com esterco de galinha e de suíno apresentaram pouca resposta em relação à condição sem adubação mineral (Figura 3-B). Efeito simétrico da disponibilidade de N, estimulando a absorção e acúmulo de P é apresentada por Miller, (1974). Esse efeito positivo do N sobre a absorção de P tem como uma de suas causas o estímulo ao crescimento de raízes no local em que N se encontra em maior concentração (Drew & Saker, 1975), embora, nas condições de solo com alto fator de capacidade de absorção de P, como a utilizado neste experimento, em geral, o nutriente limitante ao crescimento das plantas seja o P e não o N (Novais & Smith, 1999). O P acumulado na braquiária proveniente do tratamento com esterco de suíno foi absorvido com tendência parabólica (ajustado ao modelo quadrático), enquanto o P proveniente da farinha de carne e osso seguiu uma tendência crescente (ajustada ao modelo exponencial), Quadro 6-B. De maneira geral, a cinética de acumulação do P não foi modificada pela adição de N mineral, porém a ordem de grandeza foi incrementada ou reduzida dependendo da relação C/N dos materiais orgânicos.

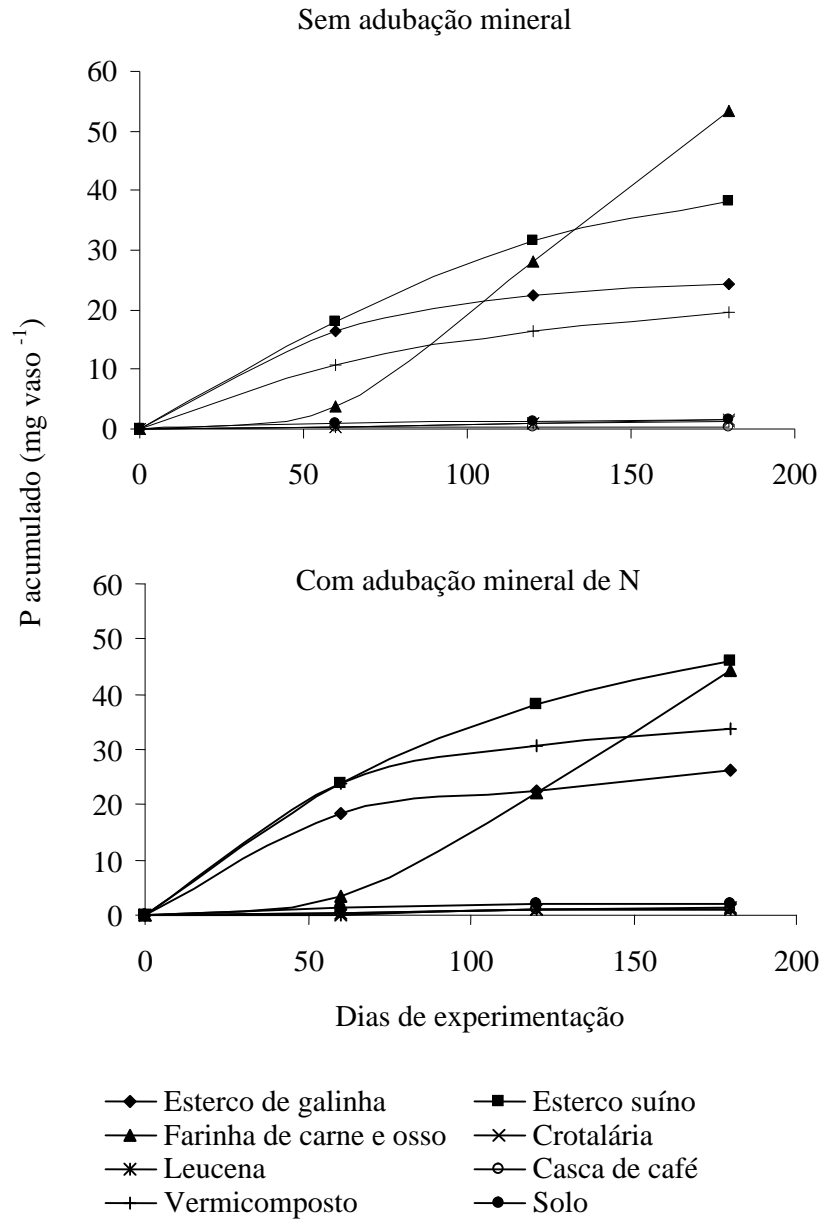


Figura 3. Conteúdo de P na parte aérea da braquiária durante o período experimental, sob influência da adição de diferentes materiais orgânicos

Quadro 6. Equações de regressão para o conteúdo de P na parte aérea da braquiária, sob influência da adição de diferentes materiais orgânicos, e conteúdo de P recuperado ao final do período experimental

A: sem adubação mineral					
Tratamento	Equação		R ²	Conteúdo de P mg vaso ⁻¹	
Esterco de galinha	Y= 0,31X - 0,001X ² + 0,31	(2)	0,99	24,21 c	
Esterco suíno	Y= 0,35X - 0,00073X ² - 0,093	(1)	0,99	38,18 b	
Farinha de carne e osso	Y= 1,30 e ^{0,022X}	(1)	0,96	53,40 a	
Crotalária	Y= 0,0091X - 0,082	(1)	0,98	1,58 e	
Leucena	Y= 0,007X - 0,0092	(1)	0,96	1,18 e	
Casca de café	Y= 0,0017X - 0,066	(2)	0,78	0,32 e	
Vermicomposto	Y= 0,19X - 0,0005X ² + 0,122	(2)	0,99	19,64 d	
Solo	Y= 0,0084X + 0,20	(1)	0,99	1,53 e	
B: com adubação mineral de N					
Esterco de galinha	Y= 0,32X - 0,001X ² + 0,71	(2)	0,97	26,38 c	
Esterco suíno	Y= 0,45X - 0,0010X ² - 0,12	(1)	0,99	46,15 a	
Farinha de carne e osso	Y= 1,10e ^{0,021X}	(1)	0,98	44,19 a	
Crotalária	Y= 0,0076X - 0,021	(1)	0,91	1,23 d	
Leucena	Y= 0,0066X - 0,049	(1)	0,89	1,05 d	
Casca de café	Y= 0,0052X - 0,061	(2)	0,92	0,90 d	
Vermicomposto	Y= 0,43X - 0,0014X ² + 0,64	(3)	0,98	33,58 b	
Solo	Y= 0,011X + 0,84	(2)	0,84	2,12 d	

Y = P acumulado (mg vaso⁻¹) e X = tempo (dias). Estimadores dos parâmetros significativos a 1% (1), 5% (2) e 10% (3) pelo teste de t. Na coluna, médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

Esses experimentos, semelhantemente a outros reportados na literatura (Velthof et al., 2000; Atiyeh et al., 2000; Kwabiah et al., 2003) demonstraram que os materiais orgânicos têm potencial fertilizante capaz de incrementar o crescimento das plantas. Contudo, a biodisponibilidade das formas orgânicas de N e P desses materiais produziu as mais variadas cinéticas de acúmulo de nutrientes e crescimento da braquiária. Essas diferenças em crescimento podem dever-se em parte às diferentes características bioquímicas ou ao estado de decomposição dos materiais (Kihel, 2005), cujo processo de biodegradação é influenciado pelo pH no meio, com valores ótimos entre 5 e 6,5 (Goh & Haynes, 1977), e pela presença de diferentes comunidades de microrganismos (Garland & Mills, 1991), resultando na liberação de nitrogênio inorgânico, predominante na forma de nitrato ou amônio (Kiehl, 1985; Moral et al., 2000) e formas lábeis de P (Souza, 2004). Evidenciou-se também a

disponibilidade de níveis adequados de P, estimulando a absorção de N, e seu simétrico: a disponibilidade de N, estimulando a absorção de P (Novais & Smith, 1999).

3.4 Recuperação de nitrogênio pela braquiária

O conteúdo de N foi recuperado pela braquiária de forma percentual, em maior magnitude na parte aérea (folhas), seguido da raiz e coleto. Esse comportamento foi observado em ambas as condições: sem adubação mineral e com adubação mineral de P.

3.4.1 Sem adubação mineral

O tratamento com esterco de suíno proporcionou a maior percentagem de recuperação de N, seguido daqueles com esterco de galinha e com vermicomposto. As menores percentagens de recuperação corresponderam à casca de café, leucena e crotalária, respectivamente (Quadro 7).

3.4.2 Com adubação mineral de P

O tratamento com esterco de suíno apresentou a maior percentagem de recuperação de N, seguido do tratamento com esterco de galinha. Ambos os tratamentos mostraram relações $C/N < 20$ e $C/P/S < 300$, favorecendo a mineralização e posterior absorção de nutrientes pela planta (Cardoso et al., 1992). Como consequência da adição de P mineral, as percentagens de recuperação de N foram incrementadas principalmente nos tratamentos com baixa relação C/N, mas com alta relação C/P/S (Quadro 7). O tratamento com leucena apresentou incremento na percentagem de recuperação de N de 3 para 22% na presença de P mineral, ao contrário, o tratamento com a farinha de carne e osso rico em formas orgânicas de N e P, mas de difícil degradação, apresentou redução na percentagem de recuperação de N de 13 para 6%, na presença de P mineral. Isso sugeriu saturação de P em um sistema de decomposição lenta, produzindo gastos de energia na adsorção (fixação) e imobilização das formas lábeis do P, resultando em menor recuperação de N (Alves, 1994; Novais & Smith, 1999).

Quadro 7. Percentual de recuperação de N (conteúdo) ao final do período experimental, sob influência da adição de diferentes materiais orgânicos

Tratamento	Solo sem adubação mineral				Solo com adubação mineral de P			
	Folhas	Coletor	Raiz	Total	Folhas	Coletor	Raiz	Total
Esterco de galinha	15,32	0,43	1,28	17 b	27,64	0,61	1,52	30 b
Esterco suíno	34,79	1,03	3,21	39 a	42,08	0,81	2,11	45 a
Farinha de carne e osso	11,31	0,81	1,05	13 d	5,48	0,32	0,54	6 e
Crotalária	5,36	0,48	0,59	6 e	13,51	0,64	1,34	15 d
Leucena	2,82	0,12	0,35	3 f	20,22	0,74	0,95	22 c
Casca de café	1,07	0,09	0,10	1 f	7,15	0,22	0,58	8 e
Vermicomposto	13,3	0,4	1,09	15 cd	18,46	0,66	1,3	20 c
Solo	4,15	0,15	0,33	5 e	6,43	0,18	0,44	7 e

Nas colunas, médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

3.5 Recuperação de fósforo pela braquiária

De maneira geral, o conteúdo de P foi recuperado pela braquiária de forma percentual em maior magnitude nas folhas, raiz e coleto. Com exceção, para os tratamentos com crotalária, leucena e casca de café, na ausência de P mineral; e farinha de carne e osso e crotalária, na presença de P mineral; que apresentaram recuperação de P com maior magnitude nas folhas, coleto e raiz.

3.5.1 Sem adubação mineral

O tratamento com vermicomposto acarretou a maior percentagem de recuperação de P, seguido daqueles com esterco de suíno e de galinha. As menores percentagens de recuperação do P corresponderam aos tratamentos com casca de café, material com alta relação C/P, e com farinha de carne e osso, material de decomposição lenta e rico em formas orgânicas de N e P (Quadro 8).

3.5.1 Com adubação mineral de N

Os mesmos tratamentos obtiveram as maiores percentagens de recuperação de P. De maneira geral, as percentagens de recuperação de P incrementaram naqueles materiais com relações C/N baixas e relações C/P < 200 (esterco de galinha, de suíno e vermicomposto) e diminuíram nos materiais, com maiores teores totais de N e P (farinha de carne e osso) ou alta relação C/P (crotalária e leucena), Quadro 8.

Na condição sem adubação mineral, as percentagens de recuperação de P foram da ordem de 1,35 a 3,35 %, com exceção do vermicomposto (6%). Na condição com adubação mineral de N, as percentagens de recuperação variaram de 1,18 a 5,46%, o vermicomposto apresentou 10,97%. Resultados similares foram mostrados por Souza (2004), para o primeiro cultivo de *Zea mays* (milho), em Latossolo muito argiloso adubado com camas de aviário elaboradas com casca de café (2,96%), sabugo (2,05%), maravalha (3,53%), casca de arroz (2,97%) e *Pennisetum purpureum* (capim napier, 3,13%).

Quadro 8. Percentual de recuperação do P (conteúdo) ao final do período experimental, sob influência da adição de diferentes materiais orgânicos

Tratamento	Solo sem adubação mineral				Solo com adubação mineral de N			
	Folhas	Coletor	Raiz	Total	Folhas	Coletor	Raiz	Total
Esterco de galinha	3,24	0,0026	0,0195	3,26 b	3,56	0,1712	0,3189	4,05 b
Esterco suíno	4,18	0,0027	0,0244	4,21 b	5,06	0,2028	0,2047	5,46 b
Farinha de carne e osso	1,33	0,0001	0,0040	1,34 c	1,10	0,0630	0,0185	1,18 cd
Crotalária	3,26	0,0608	0,0296	3,35 b	2,54	0,3285	0,0131	2,89 c
Leucena	2,09	0,0060	0,0034	2,10 c	1,86	0,0288	0,1176	2,00 c
Casca de café	0,78	0,0009	0,0004	0,78 d	2,15	0,0034	0,0655	2,22 c
Vermicomposto	6,01	0,0090	0,0293	6,05 a	10,28	0,2906	0,3945	10,97 a
Solo	0,23	0,0002	0,0011	0,23 d	0,32	0,0053	0,0203	0,34 d

Nas colunas, médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

4. Conclusões

- Os materiais com maior potencial fertilizante tanto na produção de biomassa como na recuperação de N e P pela braquiária são os esterco de galinha e de suíno, o vermicomposto e a farinha de carne e ossos.
- Na condição sem adubação mineral, os esterco de galinha e de suíno, o vermicomposto e a farinha de carne e ossos apresentam composição bioquímica e relações C/N/P/S que promovem mineralização, favorecendo a absorção de nutrientes e produção de biomassa.
- A adubação mineral de P resulta em incremento significativo do acúmulo de N e produção de biomassa, exceto para a farinha de carne e ossos.
- A adubação mineral de N não produz incremento significativo na produção de biomassa, com exceção dos tratamentos com vermicomposto e casca de café.
- Ao final do período experimental, somente a farinha de carne e ossos apresenta padrões crescentes no acúmulo de N, P e produção de biomassa.
- Evidencia-se a necessidade de realizar misturas (compostos) que forneçam de maneira equilibrada nutrientes para as plantas, considerando que dificilmente apenas um material orgânico suprirá por completo a demanda nutricional da planta.

5. Literatura citada

- ALVES, V. M. Frações de fósforo, de açúcares solúveis e de nitrogênio em quarto híbridos de milho submetidos à omissão e ao re-suprimento de fósforo. Viçosa: UFV., 1994. 106 p. (Tese de Doutorado)
- ATIYEH, R. M.; SUBLER, S.; EDWARDS, C.A.; BACHMAN, G.; METZGER, J. D.; SHUSTER W. Effects of vermicomposts and composts on plant growth in horticultural container media and soil. *Pedo-Biol.*, 44:579-590, 2000.
- CARDOSO, E.J.; TSAI, S.M.; NEVES, M.P. *Microbiologia do solo*. Campinas: Sociedade brasileira de ciências do solo, 1992. 360 p.: il.
- CORDOVIL, C.M.; COUTINHO, J.; GROSS, M.; CABRAL, F. Potentially mineralizable nitrogen from organic materials applied to a sandy soil: fitting the one pool exponential model. *Soil Use Manag.*, 21:65-72, 2005.
- DREW, M. C. & SAKER, L.R. Nutrient supply and the growth of the seminal root system in barley. II. Localized, compensatory increases in lateral root growth and rates of nitrate uptake when nitrate supply is restricted to only part of the root system. *J. Exp. Bot.*, 26:79-90, 1975.
- FOX, R.H.; MYERS, R.J. & VALLIS, I. The nitrogen mineralization rate of legume residues in soil as influenced by their polyphenol, lignin, and nitrogen contents. *Plant Soil*, 129:251-259, 1990.
- GARLAND, J.L. & MILLS, A.L. Classification and characterization of heterotrophic microbial communities on the basis of patterns of community-level sole-carbon-source utilization. *Appl. Environ. Microbiol.*, 57:2351-2359, 1991.
- GOH, K.M. & HAYNES, R.J. Evaluation of potting media for commercial nursery production of container grown plants. *New Zealand J. Agri. Res.*, 20:363-370, 1977.
- GUIMARÃES, P.T.; NOGUEIRA, F.D.; LIMA, P.C.; GUIMARÃES, M.J.; POZZA, A. A. Adubação e nutrição do cafeeiro em sistema orgânico de produção. *Inf. Agropec.*, Belo Horizonte, 214/215:63-81, 2002.
- JANSSEN, B.H. Nitrogen mineralization in relation to C/N ratio and decomposability of organic materials. *Plant Soil*, 181:39-45, 1996.
- KIEHL, E. J. *Fertilizantes orgânicos*. São Paulo: Agronômica CERES, 1985. p. 142-208.
- KIEHL, E. J. *Fertilizantes organominerais*. São Paulo: Agronômica CERES, 1999. p. 19-22.
- KIEHL, E.J. *Adubação orgânica: 500 perguntas & respostas*. Piracicaba: E.J. Kiehl, 2005. 234p. : il.

- KLEPKER, D. & ANGHINONI, I. Crescimento radicular e aéreo do milho em vasos em função do nível de fósforo no solo e da localização do adubo fosfatado. R. Bras. Ci. Solo, 19:403-408, 1995.
- KWABIAH A. B.; STOSKOPF, N.C.; PALM, C.A.; VORONEY, R.P. Soil P availability as affected by the chemical composition of plant materials: implications for P-limiting agriculture in tropical Africa. Agric. Ecosyst. Environ., 100:53-61, 2003.
- MAGALHÃES, J. V. Absorção e translocação de nitrogênio por plantas de milho (*Zea mays*, L.) submetidas a períodos crescentes de omissão de fósforo em solução nutritiva. Viçosa, UFV., 1996. 76 p. (Tese de Mestrado)
- MILLER, M.H. Effects of nitrogen on phosphorus absorption by plants. In CARSON, E.W. ed. The plant root and its environment. Charlottesville: University Press of Virginia, 1974. p. 643-668.
- MURPHY, J. & RILEY, J.P. A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. Anal. Chim. Acta, 27:31-36, 1962.
- MORAL, R.; MORENO C. J.; PEREZ M. M.; PEREZ E. A.; RUFETE, B.; PAREDES, C. Characterization of the organic matter pool in manures. Biores. Technol., 96: 153-158, 2005.
- NOVAIS, R.F. Utilização de fosfatos naturais de baixa reatividade. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T. & ALVAREZ, V.H. Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes para o estado de Minas Gerais: 5ª aproximação. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 62-64.
- NOVAIS, R.F.; LIMA, J.C.; BARROS, N.F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A.J. et al. Métodos de pesquisa em fertilidade do solo. Brasília: EMBRAPA-SEA, 1991. p. 189-254.
- NOVAIS, R.F. & SMITH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa: UFV, 1999. 399 p.:il.
- PALM, C.A. & SANCHEZ, P.A. Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents. Soil Biol. Biochem., 23: 83-88, 1991.
- PAUL, E. A. & CLARK, F. E. Dynamics of residue decomposition and soil organic matter turnover. In: PAUL, E. A. & CLARK, F. E. Soil microbiology and biochemistry. 2nd ed. San Diego: Academic, 1996. p. 158-179.
- PRATT, P.F. & CASTELLANOS, J.Z. Available nitrogen from animal manures. Berkeley: California Agric., 35:24, 1981.

- QUEMADA, M. & CABRERA, M.L. Temperature and moisture effects on C and N mineralization from surface applied clover residue. *Plant Soil.*, 189:127-137, 1997.
- RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃEZ, P.T. & ALVAREZ, V.H. Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes para o estado de Minas Gerais: 5ª aproximação. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359 p.:il.
- SHARPLEY, A.N.; McDOWELL, R.W. & KLEINMAN, P.J. Amounts, forms, and solubility of phosphorus in soils receiving manure. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 68:2048-2057, 2004.
- SIQUEIRA, O.J. Recomendações de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 3ed. Passo fundo: EMBRAPA,CNPT, 1994. p.52-60.
- SOUZA, C.R. Biodisponibilidade e transformações de formas de fósforo em camadas de aviário por meio de fracionamento químico e ressonância magnética nuclear do ³¹P. Viçosa: UFV., 2004. 76 p. (Tese de Mestrado)
- STEVENSON, F.J. & COLE, M.A. Cycles of soil: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients. New York: John Willey & Sons. 1999 p. 66-68.
- TEDESCO, M. J.;GIANELLO,C.;ANGHINONI, I.;BISSANI, C. A.;CAMARGO, F. A.O.;WIETHOLTER, S. Manual de Adubação e de Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 10. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 2004. 400 p.
- TEDESCO, M.J.; SELBACH, P.A.; GIANELLO, C. & CAMARGO, F.A. Resíduos orgânicos no solo e os impactos no ambiente. In: SANTOS, G. de A. & CAMARGO, F.A. Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Gênese. 1999. p 159-192.
- TISDALE, S.L.; NELSON, W.L.; BEATON, J.D. Soil fertility and fertilizers. 4th ed. Macmillan: New York. 1985. 754 p.:il.
- VELTHOF, G.L.; VAN BEUSICHEM, M.L.; RAIJMAKERS, W.M.F.; JANSSEN, B.H. Relationship between availability indices and plant uptake of nitrogen and phosphorus from organic products. *Plant Soil*, 200: 215-226, 2000.
- YEOMANS, J.C. & BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 19:1467-1476, 1988.

CAPÍTULO 6

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os nutrientes contidos nos fertilizantes orgânicos (materiais orgânicos), exceto o potássio, encontram-se predominantemente na forma orgânica. Assim para serem absorvidos pelas plantas há necessidade da transformação para a forma mineral através do processo de mineralização. A qualidade dos materiais orgânicos é o fator mais importante para explicar o processo de mineralização e, portanto a ciclagem de carbono e liberação de nutrientes (principalmente N e P). Sendo a composição bioquímica (teor de lignina, polifenóis e capacidade dos polifenóis em complexar proteína) o indicador que determina a taxa de mineralização cuja magnitude é influenciada pelos fatores edáficos e ambientais.

Com base nos resultados dos experimentos descritos anteriormente conclui-se que os materiais que apresentam maior decomposição em ambiente controlado são os esterco de galinha e de suíno, farinha de carne e ossos, torta de filtro, *Crotalaria juncea*, *Brachiaria decumbens*, composto de mucilagem com chorume e casca de café e casca de café sem compostar. Aportando maior teor de N inorgânico os esterco de galinha e de suíno, lodo de esgoto, lixo domiciliar, *Amaranthus spinosus*, *Crotalaria juncea*, vermicomposto e composto de casca de café com chorume e mucilagem de café. Não existindo sincronia entre a mineralização de N e P, os materiais com maior aporte de P inorgânico ao solo são os esterco de suíno e de galinha, farinha de carne e ossos, lodo de esgoto, *Amaranthus spinosus*, *Brachiaria decumbens*, vermicomposto e composto de mucilagem com chorume e casca de café.

Nas plantações de café, *Amaranthus spinosus* e *Stizolobium aterrimum* são materiais de decomposição rápida, o *Calopogonium muconoides*, *Crotalaria juncea*, *Cajanus cajan* e *Leucaena leucocephala*, intermediária, e a *Brachiaria decumbens* e *Inga edulis*, lenta.

Tanto no laboratório, como no campo, a relação lignina+polifenóis/nitrogênio e a capacidade dos polifenóis em complexar proteína são indicadores do processo de perda percentual de matéria seca e mineralização de N. O teor inicial de P orgânico e a relação C/P são os indicadores do processo de mineralização de P.

Em casa de vegetação os esterco de galinha e de suíno, vermicomposto e a farinha de carne e ossos mostram maior potencial fertilizante, confirmado pela maior produção de biomassa e pelo acúmulo de N e P na parte aérea de *Brachiaria decumbens*. O P é fator limitante na eficiência do aproveitamento do N, aconselhando que para aqueles materiais com potencial fertilizante de N, se realize acompanhamento com adubação fosfatada (termofosfatos e fosfatos de rocha *in natura*).

Evidencia-se a necessidade de realizar misturas de materiais orgânicos (compostos) que forneçam de maneira equilibrada nutrientes para as plantas, já que dificilmente um material isolado suprirá por completo a demanda nutricional das plantas de *Brachiaria decumbens*.

APÊNDICE 1

1.1 Valores observados acumulados de C-CO₂ (mg C-CO₂/100 g de solo) para diferentes esterco

Dias	Tratamentos				Solo
	Esterco bovino	Esterco suíno	Esterco de galinha	Esterco de coelho	
0	0	0	0	0	0
2	19,35	23,55	38,85	25,17	19,35
4	43,02	51,30	80,40	55,92	43,02
6	65,22	79,35	117,60	85,62	65,22
8	86,28	106,8	152,55	112,32	86,28
10	106,53	133,05	185,70	134,97	106,53
12	125,22	158,55	217,20	155,07	125,22
14	142,02	182,55	248,40	173,97	142,02
17	158,22	205,65	277,80	191,37	158,22
20	173,97	227,10	306,15	208,62	173,97
23	189,57	247,50	332,55	225,72	189,57
26	205,17	267,00	356,85	241,92	205,17
29	220,47	286,50	380,25	257,82	220,47

1.2 Valores observados acumulados de C-CO₂ (mg C-CO₂/100 g de solo) para diferentes resíduos agroindustriais e urbanos

Dias	Tratamentos				Solo
	Farinha de carne e ossos	Lixo domiciliar	Torta de filtro	Lodo de esgoto	
0	0	0	0	0	0
2	46,32	17,28	9,12	19,92	19,35
4	102,48	27,84	19,68	36,24	43,02
6	145,68	34,32	30,96	45,12	65,22
8	186,12	39,36	43,20	52,56	86,28
10	225,72	43,44	56,40	59,28	106,53
12	252,84	47,04	69,60	65,52	125,22
14	277,80	50,40	84,96	71,52	142,02
17	305,00	53,28	99,84	77,28	158,22
20	327,00	55,92	112,56	82,56	173,97
23	343,00	58,44	123,60	87,60	189,57
26	345,00	60,84	133,44	92,64	205,17
29	348,00	63,24	143,04	97,44	220,47

1.3 Valores observados acumulados de C-CO₂ (mg C-CO₂/100 g de solo) para diferentes resíduos vegetais

Dias	Tratamentos				
	Braquiária	Caruru	Leucena	Crotalária	Solo
0	0	0	0	0	0
2	32,88	8,40	43,80	37,32	19,35
4	70,08	40,56	81,96	75,84	43,02
6	112,32	88,92	123,48	117,12	65,22
8	155,04	141,72	157,44	159,24	86,28
10	199,44	187,44	188,28	200,88	106,53
12	238,68	224,64	214,68	243,96	125,22
14	275,52	253,44	236,88	282,24	142,02
17	314,04	279,84	258,00	319,80	158,22
20	348,36	304,08	277,68	355,80	173,97
23	378,48	328,44	296,64	387,12	189,57
26	403,92	352,20	314,04	415,32	205,17
29	425,76	372,24	328,80	439,80	220,47

1.4 Valores observados acumulados de C-CO₂ (mg C-CO₂/100 g de solo) para diferentes compostos

Dias	Tratamentos				Solo
	Vermi - composto	Casca de café	Mucilagem + chorume + casca de café	Esterco bovino + casca de café	
0	0	0	0	0	0
2	7,56	23,64	30,00	8,04	19,35
4	13,56	46,80	62,76	15,54	43,02
6	18,36	68,88	93,76	22,54	65,22
8	22,36	88,84	121,76	28,66	86,28
10	25,36	106,36	147,60	34,46	106,53
12	28,16	122,36	169,73	39,76	125,22
14	30,76	137,36	191,69	44,92	142,02
17	32,86	151,36	211,99	49,92	158,22
20	34,78	164,86	231,43	54,64	173,97
23	36,58	177,46	250,75	59,14	189,57
26	38,18	188,98	269,95	63,46	205,17
29	39,58	199,48	288,91	67,46	220,47

APÊNDICE 2

2,1 Teores acumulados de nitrato e de amônio (mg kg⁻¹) para diferentes esterco

Semanas	Tratamentos				Solo
	Esterco bovino	Esterco suíno	Esterco de galinha	Esterco de coelho	
Teores de amônio					
0	6,34	1,35	18,78	20,45	7,45
1	9,56	2,45	23,45	25,65	11,38
2	17,89	20,45	48,75	35,67	26,53
3	35,67	45,67	98,56	87,43	44,75
4	75,67	75,67	180,45	125,67	69,85
5	125,78	137,87	300,45	267,76	103,51
6	189,56	198,56	430,56	345,67	140,29
7	278,56	267,34	590,45	456,78	179,71
8	367,43	356,65	800,45	598,45	223,80
Teores de nitrato					
0	9,82	3,10	9,22	38,05	14,99
1	11,99	3,49	11,67	52,35	18,54
2	20,97	27,79	31,43	64,56	31,16
3	40,67	64,44	51,73	113,02	62,10
4	99,56	124,54	80,00	234,56	118,76
5	174,67	162,24	149,80	312,36	155,96
6	240,56	201,87	219,78	454,67	206,66
7	321,67	282,92	309,78	593,43	258,67
8	432,79	331,91	400,00	801,89	311,34
Somatória (Nitrogênio inorgânico)					
0	16,16	4,45	28,00	58,50	22,44
1	21,55	5,94	35,12	78,00	29,92
2	38,86	48,24	80,18	100,23	57,69
3	76,34	110,11	150,29	200,45	106,86
4	175,23	200,21	260,45	360,23	188,61
5	300,45	300,11	450,25	580,12	259,47
6	430,12	400,43	650,34	800,34	346,95
7	600,23	550,26	900,23	1050,21	438,38
8	800,22	688,56	1200,45	1400,34	535,14

2,2 Teores acumulados de nitrato e de amônio (mg kg^{-1}) para diferentes resíduos agroindustriais e urbanos

Semanas	Tratamentos				Solo
	Farinha de carne e ossos	Lixo domiciliar	Torta de filtro	Lodo de esgoto	
Teores de amônio					
0	2,45	175,57	24,73	20,46	7,45
1	4,26	217,81	26,03	22,50	11,38
2	8,15	405,99	39,34	31,76	26,53
3	12,70	594,60	53,21	67,75	44,75
4	25,20	786,45	77,26	102,93	69,85
5	32,22	1025,64	96,87	128,74	103,51
6	36,81	1201,04	114,40	156,18	140,29
7	40,81	1459,39	128,30	181,14	179,71
8	47,44	1696,17	142,58	198,84	223,80
Teores de nitrato					
0	7,55	4,23	7,56	189,45	14,99
1	8,25	6,95	14,33	397,31	18,54
2	26,63	26,82	30,57	868,24	31,16
3	60,38	60,26	46,95	1322,25	62,10
4	95,99	100,30	64,00	1797,07	118,76
5	144,67	144,36	81,34	2371,26	155,96
6	199,43	188,96	99,22	2893,82	206,66
7	261,47	240,61	118,41	3518,86	258,67
8	337,74	303,83	138,51	4301,16	311,34
Somatória (Nitrogênio inorgânico)					
0	10,00	179,80	32,29	209,91	22,44
1	12,51	224,76	40,37	419,82	29,92
2	34,79	432,82	69,90	900,00	57,69
3	73,08	654,86	100,16	1390,00	106,86
4	121,19	886,75	141,26	1900,00	188,61
5	176,88	1170,00	178,21	2500,00	259,47
6	236,23	1390,00	213,61	3050,00	346,95
7	302,29	1700,00	246,70	3700,00	438,38
8	385,18	2000,00	281,09	4500,00	535,14

2.3 Teores acumulados de nitrato e de amônio (mg kg^{-1}) para diferentes resíduos vegetais

Semanas	Tratamentos				
	Braquiária	Caruru	Leucena	Crotalaria	Solo
Teores de amônio					
0	6,60	82,46	8,34	30,15	7,45
1	11,28	111,91	10,45	43,58	11,38
2	23,08	224,70	18,56	46,68	26,53
3	37,5	321,07	22,45	56,78	44,75
4	40,36	449,55	35,78	100,89	69,85
5	67,31	596,18	48,67	131,46	103,51
6	98,60	773,99	62,45	169,57	140,29
7	111,20	933,57	80,45	205,98	179,71
8	123,22	1090,42	100,34	241,28	223,80
Teores de Nitrato					
0	20,00	43,54	19,66	38,78	14,99
1	26,72	68,10	29,55	54,90	18,54
2	56,92	48,04	31,44	119,20	31,16
3	82,5	93,32	42,55	153,22	62,10
4	139,64	133,75	49,36	185,24	118,76
5	182,70	177,16	61,33	246,55	155,96
6	229,36	236,82	87,55	330,60	206,66
7	325,53	423,25	99,55	415,42	258,67
8	421,70	609,68	139,66	550,95	311,34
Somatória (N inorgânico)					
0	26,60	126	28	68,94	22,44
1	38,00	180	40	98,48	29,92
2	80,00	272,74	50	155,00	57,69
3	120,00	414,40	65	210,00	106,86
4	180,00	583,30	85,14	286,12	188,61
5	250,00	773,34	110	378,01	259,47
6	327,96	1010,81	150	500,20	346,95
7	436,73	1356,82	180	621,40	438,38
8	544,92	1700,10	240	792,23	535,14

2.4 Teores acumulados de nitrato e de amônio (mg kg⁻¹) para diferentes compostos

Semanas	Tratamentos				Solo
	Vermi - composto	Casca de café	Mucilagem + chorume + casca de café	Esterco bovino + casca de café	
Teores de amônio					
0	84,45	3,78	18,25	3,25	7,45
1	146,85	14,33	22,72	6,45	11,38
2	200,45	26,43	40,62	24,16	26,53
3	285,53	36,09	52,50	34,41	44,75
4	384,64	49,95	74,34	56,91	69,85
5	505,93	61,95	97,81	75,49	103,51
6	601,96	71,26	128,40	92,76	140,29
7	709,43	82,64	152,58	112,50	179,71
8	816,89	94,02	176,76	132,23	223,80
Teores de nitrato					
0	102,28	6,95	30,57	5,43	14,99
1	164,38	12,51	98,11	15,27	18,54
2	250,22	42,64	189,83	61,05	31,16
3	349,93	109,45	327,95	103,94	62,10
4	418,38	173,47	464,31	156,72	118,76
5	483,64	258,05	603,51	249,07	155,96
6	558,26	328,74	715,51	341,80	206,66
7	683,38	417,36	850,70	454,84	258,67
8	808,50	505,98	985,90	592,33	311,34
Extração com bicarbonato					
0	186,74	10,74	48,33	8,69	22,44
1	311,23	26,84	120,82	21,72	29,92
2	450,67	69,07	230,45	85,21	57,69
3	635,46	145,55	380,45	138,35	106,86
4	803,02	223,42	538,65	213,63	188,61
5	989,57	320,00	701,32	324,56	259,47
6	1160,23	400,00	843,91	434,56	346,95
7	1392,81	500,00	1003,29	567,34	438,38
8	1625,40	600,00	1162,66	724,56	535,14

APÊNDICE 3

3.1 Extração sequencial de fósforo inorgânico (P inorgânico mg kg⁻¹), para diferentes esterco

Semanas	Tratamentos				Solo
	Esterco bovino	Esterco suíno	Esterco de galinha	Esterco de coelho	
Extração com água					
0	0,14	16,35	10,29	3,48	0,06
1	0,23	27,24	17,14	5,80	0,07
2	0,51	23,26	15,32	6,53	0,05
3	0,66	21,34	13,07	5,81	0,02
4	0,54	18,82	10,33	4,55	0,02
6	0,48	16,94	9,30	3,02	0,01
Extração com resina					
0	4,42	12,53	12,58	5,22	0,95
1	7,36	20,88	20,97	8,71	1,10
2	11,33	32,12	32,27	13,39	1,16
3	8,76	29,45	36,78	17,28	0,86
4	7,83	28,16	34,56	19,33	0,78
6	6,50	23,37	31,58	16,04	0,73
Extração com bicarbonato					
0	9,70	39,01	28,34	18,34	1,00
1	12,93	52,02	37,79	24,46	1,19
2	16,17	65,02	47,24	30,57	1,36
3	19,93	59,36	45,94	35,38	1,12
4	16,12	50,68	41,80	33,82	1,10
6	13,80	42,24	38,24	29,36	1,06
Somatória					
0	14,25	67,89	51,21	27,05	2,01
1	20,52	100,14	75,91	38,97	2,37
2	28,00	120,41	94,83	50,50	2,57
3	29,35	110,15	95,79	58,47	2,00
4	24,49	97,66	86,69	57,70	1,90
6	20,78	82,55	79,12	48,42	1,80
Somatória acumulada					
0	14,25	67,89	51,21	27,05	2,01
1	34,77	168,03	127,12	66,02	4,38
2	62,78	288,44	221,95	116,51	6,95
3	92,12	398,59	317,74	174,98	8,95
4	116,61	496,25	404,43	232,69	10,85
6	137,39	578,80	483,56	281,11	12,65

3.2 Extração sequencial de fósforo total (P total mg kg⁻¹) para diferentes esterco

Semanas	Tratamentos				Solo
	Esterco bovino	Esterco suíno	Esterco de galinha	Esterco de coelho	
Extração com água					
0	13,17	67,45	51,86	14,70	6,22
1	9,40	48,18	37,04	10,50	4,44
2	4,80	31,08	22,96	9,23	3,40
3	3,29	30,06	21,16	8,34	2,70
4	3,12	28,08	18,86	6,90	1,75
6	3,92	23,87	16,41	5,87	1,49
Extração com resina					
0	106,34	320,12	357,02	156,61	12,34
1	75,96	228,66	255,02	111,86	10,45
2	46,04	200,00	154,56	67,80	8,56
3	31,67	190,01	82,51	61,25	7,56
4	20,94	178,32	52,07	52,07	6,57
6	17,38	164,61	43,22	43,22	5,67
Extração com bicarbonato					
0	54,80	360,54	384,41	144,54	14,81
1	45,67	300,45	320,34	120,45	12,34
2	38,90	265,45	245,66	99,72	9,07
3	30,79	244,56	214,34	90,67	11,44
4	30,41	213,84	197,45	95,06	9,08
6	27,97	196,73	181,66	87,46	8,35
Somatória					
0	174,32	748,10	793,29	315,85	33,36
1	131,04	577,28	612,40	242,81	27,23
2	89,74	496,53	423,17	176,74	21,03
3	65,75	464,63	318,01	160,26	21,70
4	54,47	420,23	268,38	154,03	17,40
6	49,27	385,20	241,28	136,54	15,51
Somatória acumulada					
0	174,32	748,104	793,293	315,851	33,36
1	305,35	1325,39	1.405,69	558,67	60,59
2	395,09	1821,91	1.828,87	735,41	81,62
3	460,84	2.286,54	2.146,88	895,66	103,32
4	515,30	2.706,78	2.415,26	1.049,69	120,71
6	564,57	3.091,98	2.656,54	1.186,23	136,22

3.3 Extração seqüencial de fósforo inorgânico (P inorgânico mg kg⁻¹), para diferentes resíduos agroindustriais e urbanos

Semanas	Tratamentos				Solo
	Farinha de carne e ossos	Lixo domiciliar	Torta de filtro	Lodo de esgoto	
Extração com água					
0	4,25	0,18	1,44	0,15	0,06
1	6,54	0,28	2,21	0,23	0,07
2	7,21	0,90	2,56	0,51	0,05
3	6,11	0,82	1,98	0,50	0,02
4	5,87	0,67	1,48	0,48	0,02
6	5,23	0,55	1,21	0,47	0,01
Extração com resina					
0	4,89	2,79	2,36	1,56	0,95
1	6,27	3,58	3,03	3,00	1,10
2	11,91	4,63	5,35	3,57	1,16
3	10,03	3,78	4,78	3,36	0,86
4	9,22	3,00	3,76	2,97	0,78
6	8,64	2,90	3,46	2,11	0,73
Extração com bicarbonato					
0	115,19	16,94	9,82	22,08	1,00
1	153,58	22,59	13,10	29,44	1,19
2	224,77	30,12	17,47	39,25	1,36
3	198,56	26,45	15,67	35,45	1,12
4	185,67	21,09	12,56	32,02	1,10
6	180,54	18,98	11,04	28,82	1,06
Somatória					
0	124,33	19,92	13,62	23,78	2,01
1	166,40	26,45	18,34	32,66	2,37
2	243,90	35,65	25,37	43,33	2,57
3	214,70	31,05	22,43	39,31	2,00
4	200,76	24,76	17,80	35,47	1,90
6	194,41	22,43	15,71	31,40	1,80
Somatória acumulada					
0	124,33	19,92	13,62	23,78	2,01
1	290,73	46,36	31,96	56,44	4,38
2	534,63	82,01	57,34	99,78	6,95
3	749,33	113,06	79,76	139,08	8,95
4	950,09	137,83	97,56	174,55	10,85
6	1.144,50	160,26	113,28	205,95	12,65

3.4 Extração seqüencial de fósforo total (P total mg kg⁻¹), para diferentes resíduos agroindustriais e urbanos

Semanas	Tratamentos				Solo
	Farinha de carne e ossos	Lixo domiciliar	Torta de filtro	Lodo de esgoto	
Extração com água					
0	35,23	4,77	9,81	6,23	6,22
1	23,14	3,82	6,84	4,98	4,44
2	10,41	3,76	4,27	4,23	3,40
3	9,76	3,05	3,54	3,89	2,70
4	9,58	2,55	3,35	3,54	1,75
6	9,19	2,24	3,21	3,12	1,49
Extração com resina					
0	123,72	63,45	40,45	36,50	12,34
1	102,45	52,56	38,00	33,42	10,45
2	93,64	44,77	36,00	26,66	8,56
3	92,52	37,09	32,00	23,34	7,56
4	90,00	34,15	30,00	22,08	6,57
6	87,05	31,42	28,00	20,32	5,67
Extração com bicarbonato					
0	524,22	68,72	45,45	67,76	14,81
1	426,20	55,87	40,67	55,09	12,34
2	388,67	50,34	38,56	52,34	9,07
3	328,55	45,67	37,54	50,56	11,44
4	300,56	38,71	35,78	49,53	9,08
6	290,89	34,84	30,56	44,57	8,35
Somatória					
0	683,17	136,94	95,71	110,50	33,36
1	551,79	112,24	85,51	93,49	27,23
2	492,72	98,87	78,83	83,23	21,03
3	430,83	85,81	73,08	77,79	21,70
4	400,14	75,41	69,13	75,15	17,40
6	387,13	68,50	61,77	68,01	15,51
Somatória acumulada					
0	683,17	136,94	95,71	110,50	33,36
1	1234,96	249,18	181,22	203,99	60,59
2	1727,68	348,05	260,05	287,22	81,62
3	2158,51	433,87	333,13	365,01	103,32
4	2558,65	509,27	402,26	440,16	120,71
6	2945,78	577,77	464,03	508,17	136,22

3.5 Extração seqüencial de fósforo inorgânico (P inorgânico mg kg⁻¹), para diferentes resíduos vegetais

Semanas	Tratamentos				
	Braquiária	Caruru	Leucena	Crotalária	Solo
Extração com água					
0	0,45	0,72	0,67	0,73	0,06
1	0,57	0,92	0,86	0,94	0,07
2	0,70	1,23	0,90	1,03	0,05
3	0,64	1,37	0,75	0,95	0,02
4	0,62	1,00	0,68	0,90	0,02
6	0,51	0,93	0,60	0,81	0,01
Extração com resina					
0	1,74	2,26	2,03	2,03	0,95
1	2,32	3,01	2,71	2,71	1,10
2	2,44	4,32	3,26	2,57	1,16
3	2,16	2,46	1,78	2,10	0,86
4	1,62	1,84	1,34	1,58	0,78
6	1,46	1,66	1,20	1,42	0,73
Extração com bicarbonato					
0	6,98	9,67	4,18	1,92	1,00
1	8,67	10,67	5,35	2,47	1,19
2	10,34	12,45	7,14	3,29	1,36
3	9,03	10,87	8,38	3,28	1,12
4	8,19	10,46	9,21	3,03	1,10
6	6,76	9,00	7,92	2,70	1,06
Somatória					
0	9,17	12,65	6,88	4,69	2,01
1	11,56	14,60	8,92	6,12	2,37
2	13,48	18,00	11,29	6,88	2,57
3	11,83	14,70	10,91	6,33	2,00
4	10,43	13,31	11,23	5,51	1,90
6	8,73	11,59	9,73	4,93	1,80
Somatória acumulada					
0	9,17	12,6468	6,87813	4,68841	2,01
1	20,73	27,25	15,80	10,80	4,38
2	34,21	45,24	27,10	17,69	6,95
3	46,04	59,94	38,01	24,02	8,95
4	56,47	73,25	49,24	29,53	10,85
6	65,20	84,84	58,96	34,46	12,65

3.6 Extração seqüencial de fósforo total (P total mg kg⁻¹), para diferentes resíduos vegetais

Semanas	Tratamentos				
	Braquiária	Caruru	Leucena	Crotalária	Solo
Extração com água					
0	6,02	12,03	11,33	4,33	6,22
1	5,02	10,03	9,44	4,03	4,44
2	4,17	6,23	8,00	3,90	3,40
3	3,25	3,03	6,23	2,67	2,70
4	3,00	2,78	5,55	2,41	1,75
6	2,79	2,59	5,16	2,01	1,49
Extração com resina					
0	15,63	18,67	13,74	32,09	12,34
1	10,02	15,87	8,80	20,57	10,45
2	9,26	12,77	7,20	19,75	8,56
3	8,57	10,82	5,70	18,00	7,56
4	7,72	9,67	4,23	17,00	6,57
6	6,95	8,45	3,81	16,00	5,67
Extração com bicarbonato					
0	52,28	63,45	72,79	77,97	14,81
1	39,16	49,56	54,32	58,19	12,34
2	23,45	41,81	57,31	54,34	9,07
3	19,62	34,56	54,33	48,76	11,44
4	19,31	23,06	47,35	37,77	9,08
6	12,97	21,21	43,57	16,35	8,35
Somatória					
0	73,92	94,15	97,86	114,40	33,36
1	54,19	75,46	72,57	82,79	27,23
2	36,88	60,81	72,51	78,00	21,03
3	31,44	48,41	66,26	69,43	21,70
4	30,03	35,51	57,14	57,18	17,40
6	22,70	32,25	52,54	34,36	15,51
Somatória acumulada					
0	73,91	94,15	97,85	114,39	33,36
1	128,11	169,61	170,43	197,19	60,59
2	164,99	230,43	242,93	275,18	81,62
3	196,43	278,84	309,19	344,61	103,32
4	226,46	314,34	366,33	401,79	120,71
6	249,17	346,59	418,87	436,15	136,22

3.7 Extração sequencial de fósforo inorgânico (P inorgânico mg kg⁻¹), para diferentes compostos

Semanas	Tratamentos				Solo
	Vermi - composto	Casca de café	Mucilagem + chorume + casca de café	Esterco bovino + casca de café	
Extração com água					
0	2,03	0,09	0,65	0,13	0,06
1	2,54	0,12	0,81	0,16	0,07
2	3,43	0,28	0,68	0,61	0,05
3	3,00	0,24	0,53	0,36	0,02
4	2,96	0,18	0,50	0,25	0,02
6	2,66	0,16	0,45	0,23	0,01
Extração com resina					
0	2,96	1,30	2,31	1,30	0,95
1	3,70	1,62	2,89	1,62	1,10
2	4,99	2,16	3,85	2,16	1,16
3	7,63	2,81	4,98	2,52	0,86
4	6,93	3,16	2,96	3,66	0,78
6	5,89	2,68	2,52	3,11	0,73
Extração com bicarbonato					
0	8,18	3,88	8,25	1,92	1,00
1	10,48	4,98	10,58	2,47	1,19
2	13,98	6,64	14,11	3,29	1,36
3	18,51	7,31	16,58	4,89	1,12
4	22,50	8,73	25,65	4,55	1,10
6	27,08	8,03	27,14	4,18	1,06
Somatória					
0	13,17	5,27	11,22	3,35	2,01
1	16,72	6,72	14,28	4,25	2,37
2	22,40	9,08	18,65	6,06	2,57
3	29,14	10,36	22,10	7,77	2,00
4	32,38	12,07	29,11	8,46	1,90
6	35,63	10,88	30,11	7,52	1,80
Somatória acumulada					
0	13,17	5,27	11,22	3,35	2,01
1	29,89	11,99	25,50	7,59	4,38
2	52,29	21,07	44,15	13,66	6,95
3	81,43	31,43	66,25	21,43	8,95
4	113,82	43,50	95,35	29,88	10,85
6	149,44	54,38	125,46	37,40	12,65

3.8 Extração seqüencial de fósforo total (P total mg kg⁻¹), para diferentes compostos

Semanas	Tratamentos				Solo
	Vermi - composto	Casca de café	Mucilagem + chorume + casca de café	Esterco bovino + casca de café	
Extração com água					
0	13,10	3,77	10,79	11,202	6,22
1	10,48	3,21	8,63	8,962	4,44
2	6,45	2,87	3,67	4,340	3,40
3	4,20	2,35	2,23	1,720	2,70
4	3,90	1,92	1,39	1,430	1,75
6	3,40	1,77	1,28	1,150	1,49
Extração com resina					
0	74,63	10,20	48,53	12,18	12,34
1	57,41	9,45	34,66	8,70	10,45
2	50,58	8,54	32,93	10,96	8,56
3	53,32	8,34	35,55	12,54	7,56
4	48,45	7,96	32,82	13,21	6,57
6	41,34	6,77	27,90	11,23	5,67
Extração com bicarbonato					
0	210,04	65,59	69,59	65,59	14,81
1	150,03	50,45	65,07	50,457	12,34
2	118,49	29,84	58,94	23,34	9,07
3	95,20	13,04	54,34	11,44	11,44
4	96,99	14,61	52,34	14,61	9,08
6	82,44	13,15	48,00	13,15	8,35
Somatória					
0	297,79	79,56	128,92	88,98	33,36
1	217,93	63,12	108,37	68,12	27,23
2	175,53	41,27	95,56	38,65	21,03
3	152,74	23,74	92,13	25,70	21,70
4	149,34	24,51	86,56	29,26	17,40
6	127,18	21,70	77,19	25,53	15,51
Somatória acumulada					
0	297,78	79,56	128,92	88,98	33,36
1	515,72	142,69	237,29	157,11	60,59
2	691,25	183,96	332,85	195,75	81,62
3	843,99	207,70	424,98	221,46	103,32
4	993,33	232,20	511,54	250,71	120,71
6	1120,51	253,90	588,73	276,25	136,22