

**Decomposição de Resíduos Vegetais e Efeitos sobre Carbono, Nitrogênio e Fósforo em Latossolo**



ISSN 1676-918X

Novembro, 2008

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Cerrados  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

# ***Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 225***

## **Decomposição de Resíduos Vegetais e Efeitos sobre Carbono, Nitrogênio e Fósforo em Latossolo**

*Arminda Moreira de Carvalho  
Mercedes Maria da Cunha Bustamante  
Flávia Aparecida de Alcântara  
Inês Sabioni Resck  
Sebastião de Souza Lemos*

Planaltina, DF  
2008

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Cerrados**

BR 020, Km 18, Rod. Brasília/Fortaleza

Caixa Postal 08223

CEP 73310-970 Planaltina, DF

Fone: (61) 3388-9898

Fax: (61) 3388-9879

<http://www.cpac.embrapa.br>

[sac@cpac.embrapa.br](mailto:sac@cpac.embrapa.br)

**Comitê de Publicações da Unidade**

Presidente: *José de Ribamar N. dos Anjos*

Secretária-Executiva: *Maria Edilva Nogueira*

Supervisão editorial: *Fernanda Vidigal Cabral de Miranda*

Equipe de revisão: *Fernanda Vidigal Cabral de Miranda*

*Francisca Elijani do Nascimento*

*Jussara Flores de Oliveira Arbués*

Normalização bibliográfica: *Marilaine Schaun Pelufê*

Editoração eletrônica: *Leila Sandra Gomes Alencar*

Capa: *Leila Sandra Gomes Alencar*

Foto(s) da capa: *Arminda Moreira de Carvalho*

Impressão e acabamento: *Divino Batista de Souza*

*Alexandre Moreira Veloso*

Impresso no Serviço Gráfico da Embrapa Cerrados

**1ª edição**

1ª impressão (2008): tiragem 100 exemplares

**Todos os direitos reservados**

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Embrapa Cerrados**

---

C737 Decomposição de resíduos vegetais e efeitos sobre carbono, nitrogênio e fósforo em latossolo / Arminda Moreira de Carvalho... [et al.]. – Planaltina, DF : Embrapa Cerrados, 2008. 24 p. – (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Cerrados, ISSN 1676-918X ; 225).

1. Cerrado. 2. Latossolo. 3. Resíduo vegetal. 4. Solo – matéria orgânica. I. Carvalho, Arminda Moreira de. II. Série.

631.3 - CDD 21

# Sumário

Resumo .....	5
Abstract.....	6
Introdução.....	7
Material e Métodos.....	8
Caracterização da área.....	8
Caracterização da composição química e decomposição de resíduos vegetais .....	10
Amostragens e análises de solo .....	11
Análise estatística .....	12
Resultados e Discussão.....	12
Conclusões.....	20
Referências .....	21

# Decomposição de Resíduos Vegetais e Efeitos sobre Carbono, Nitrogênio e Fósforo em Latossolo

Arminda Moreira de Carvalho<sup>1</sup>; Mercedes Maria da Cunha Bustamante<sup>2</sup>; Flávia Aparecida de Alcântara<sup>3</sup>; Inês Sabioni Resck<sup>4</sup>; Sebastião de Souza Lemos<sup>5</sup>

## Resumo

O objetivo desta pesquisa foi avaliar C, N, razões C/N e C/P em Latossolo sob uso de plantas de cobertura (*Crotalaria juncea*, *Canavalia brasiliensis*, *Cajanus cajan*, *Mucuna pruriens*, *Helianthus annuus*, *Pennisetum glaucum*, *Raphanus sativus* e vegetação espontânea) e milho em sucessão. Amostras de *Crotalaria juncea*, *Canavalia brasiliensis*, *Mucuna pruriens* e *Raphanus sativus* foram analisadas por RMN de <sup>13</sup>C CPMAS. Amostras de solo foram coletadas na seca e chuva de 0 cm a 5 cm e de 5 cm a 10 cm, sob sistema plantio direto e preparo convencional. Maiores estoques de carbono determinados em plantio direto, e de nitrogênio na superfície do solo, devem-se ao acúmulo e à decomposição mais lenta dos resíduos vegetais nessas condições. Os maiores valores da razão C/N e C/P no solo, respectivamente sob *Mucuna pruriens* e *Cajanus cajan*, na seca, resultaram da menor decomposição dos resíduos vegetais com concentração de compostos aromáticos no tecido vegetal. A decomposição mais lenta dos materiais de *Cajanus cajan* e *Mucuna pruriens* resultou em razão C/P mais elevados no solo sob essas leguminosas. Os maiores valores de C/P na superfície devem-se aos elevados teores de P<sub>Mehlich 1</sub> na profundidade de 5 cm a 10 cm e ao acúmulo dos resíduos vegetais nessa camada.

Termos para indexação: Cerrado, plantas de cobertura, taxa de decomposição, matéria orgânica do solo.

<sup>1</sup> Engenheira Agrônoma, D.Sc., Pesquisadora da Embrapa Cerrados, arminda@cpac.embrapa.br

<sup>2</sup> Bióloga, Ph.D., Professora da Universidade de Brasília, mercedes@unb.br.

<sup>3</sup> Engenheira Agrônoma, D.Sc., Pesquisadora da Embrapa Hortaliças, flavia@cnph.embrapa.br.

<sup>4</sup> Química, D.Sc., Professor da Universidade de Brasília, Instituto de Química, isresck@unb.br

<sup>5</sup> Químico, Ph.D., Professor da Universidade de Brasília, Instituto de Química, sslimos@unb.br

# Decomposition of Plant Residues and Effects on Carbon, Nitrogen, and Phosphorus in Oxisoil

---

## Abstract

*The objective of this research was to evaluate C, N, and C/N and C/P ratios in oxisoil under cover plants (Crotalaria juncea, Canavalia brasiliensis, Cajanus cajan, Mucuna pruriens, Helianthus annuus, Penissetum glaucum, Raphanus sativus, and spontaneous vegetation) in rotation with maize under conventional and no-tillage systems. The plant species Crotalaria juncea L., Canavalia brasiliensis, Cajanus cajan L, Mucuna pruriens L. and Raphanus sativus L. had been selected for the study of solid-state CPMAS  $^{13}\text{C}$  NMR spectroscopy. Soil samples were collected during the dry and the rainy seasons, at depths of 0cm to 5cm and of 5cm to 10cm, under no-tillage and conventional tillage systems. Higher levels of carbon and average nitrogen determined in the surface of the soil under no-tillage system, are due to the accumulation and to the slower decomposition of plant residues under these conditions. The increments of the C/N and C/P ratios in the soil, respectively under Mucuna pruriens and Cajanus Cajan, at the dry season, resulted from the lower decomposition of the plant residues with concentration of aromatic compounds in the plant tissue. The slower decomposition of the samples of Cajanus Cajan and Mucuna pruriens resulted in higher C/P ratios in the soil under these legumes. The higher values of C/P ratios in the surface are due to high levels of PMehlich 1 at the depth of 5cm to 10cm and to the accumulation of the plant residues on this soil layer.*

*Index terms: Savanna, cover plants, decomposition rate, organic matter, carbon groups.*

## Introdução

A produção de biomassa e a composição química dos resíduos vegetais controlam o processo de decomposição, conseqüentemente, a formação da matéria orgânica do solo nos ecossistemas terrestres (SCHOLES et al., 1997). A susceptibilidade dos resíduos vegetais à decomposição está associada à sua composição química, principalmente, quanto aos teores de lignina e polifenóis, e às relações entre constituintes como C/N, C/P, lignina/N, polifenóis/N e lignina + polifenóis/N (AITA; GIACOMINI, 2003; ESPINDOLA et al., 2006; CARVALHO et. al., 2008, 2009). Resíduos que contêm baixas concentrações de nitrogênio e de fósforo e altos conteúdos de lignina e polifenóis apresentam baixa taxa de decomposição e liberação lenta de nutrientes (RHEINHEIMER et al., 2000). A decomposição das plantas envolve perda inicial de carboidratos (celulose e hemicelulose), seguida pela lenta transformação de estruturas aromáticas das moléculas de lignina e do carbono altamente recalcitrante (alquilas) (KÖGEL-KNABER, 2000). Essas características que influenciam o processo de decomposição de resíduos vegetais, conseqüentemente, alteram a dinâmica de carbono, nitrogênio e fósforo do solo. Os tipos de manejo dos resíduos vegetais também exercem efeitos relevantes no acúmulo desses nutrientes no solo (CARVALHO, 2005).

Considerando a significativa área, com mais de 5 milhões de hectares, em sistema plantio direto no Cerrado, há necessidade de informações mais precisas sobre o processo de decomposição que refletirá no estabelecimento de cobertura do solo (SODRÉ FILHO et al., 2004), nos estoques de carbono e demais nutrientes, conseqüentemente, na produtividade das culturas. Assim, o objetivo desta pesquisa foi avaliar efeitos da composição química de resíduos vegetais em decomposição sobre estoques de C e N, bem como, razões C/N e C/P de Latossolo, e a produtividade de milho, em sistemas convencional de preparo do solo e plantio direto.

## Material e Métodos

### Caracterização da área

O sistema de cultivo em uso contínuo durante 6 anos foi uma sucessão de milho e plantas de cobertura, na área experimental da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF, em Latossolo Vermelho-Amarelo A moderado, textura argilosa, fase Cerrado, relevo plano (REATTO et al., 1998) e clima Tropical Estacional (Aw). As características granulométricas e químicas do solo, durante a implantação do experimento, estão apresentadas na Tabela 1. Os dados de distribuição das chuvas e temperatura média do ar no ano agrícola 2002/2003 foram coletados na estação meteorológica da Embrapa Cerrados (Fig. 1).

No estabelecimento do experimento (janeiro de 1997), efetuou-se uma adubação mineral a lanço com 180 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de superfosfato simples, 60 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O como cloreto de potássio e 50 kg ha<sup>-1</sup> de micronutrientes por meio do produto FTE BR-10. Aplicaram-se, ainda, 500 kg ha<sup>-1</sup> de gesso agrícola (CaSO<sub>4</sub>) na área.

**Tabela 1.** Composição granulométrica e química (profundidade de 0 cm a 20 cm) de Latossolo Vermelho-Amarelo, ano agrícola 1996/1997, Planaltina, DF.

Características do solo	Latossolo
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	513
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	186
Areia (g kg <sup>-1</sup> )	301
pH <sub>(H2O)</sub>	6,2
Matéria orgânica (g kg <sup>-1</sup> )	23,6
Alumínio trocável (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,01
Acidez potencial (H + Al): (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	3,34
Cátions trocáveis ou valor S: Ca <sup>2+</sup> + Mg <sup>2+</sup> + K <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	3,4
Capacidade de troca catiônica: valor S + (H + Al) (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	6,8
Saturação por bases ou valor V (%)	50
P <sub>Mehlich-1</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	3,4



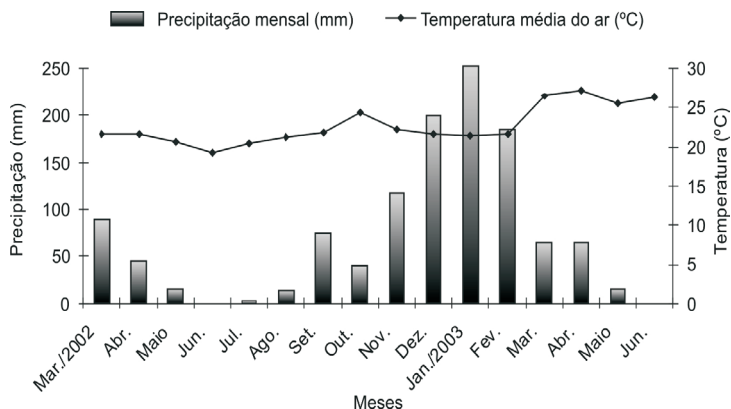


Fig. 1. Distribuição das chuvas e temperatura média do ar, no ano agrícola 2002/2003, Planaltina, DF (estação meteorológica da Embrapa Cerrados).

O milho foi cultivado em sistema plantio direto e com incorporação dos resíduos vegetais, utilizando uma aração e duas gradagens. As espécies vegetais cultivadas em sucessão ao milho, no experimento, foram as seguintes: crotalaria juncea (*Crotalaria juncea* L.), feijão-bravo-do-ceará (*Canavalia brasiliensis* M. e Benth), guandu cv. Caqui (*Cajanus cajan* (L.) Millsp), mucuna-cinza (*Mucuna pruriens* (L.) DC), girasol (*Helianthus annuus* L.), milheto BN-2 (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Brown) e nabo-forrageiro (*Raphanus sativus* L.). A testemunha foi ausência de plantas de cobertura em sucessão ao milho (vegetação espontânea).

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso com parcelas subdivididas em três repetições. As espécies vegetais representaram as parcelas (12 m x 30 m) e os tipos de manejo dos resíduos vegetais, as subparcelas (12 m x 15 m). As plantas de cobertura foram semeadas diretamente sobre os restos culturais do milho.

Antes da semeadura do milho, aplicaram-se 3 L ha<sup>-1</sup> de glifosato na área sob plantio direto para dessecação das plantas daninhas e das plantas de cobertura em sucessão que rebrotaram. Os resíduos vegetais foram incorporados com arado de discos nas subparcelas sob manejo com incorporação.

O milho foi semeado na estação chuvosa (7/11/2002), em espaçamento de 0,90 m e estande final de 55 mil plantas ha<sup>-1</sup>. Aplicaram-se 20 kg ha<sup>-1</sup> de N, 150 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 80 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O no sulco de semeadura, além de 50 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura quando as plantas emitiram a sexta folha. A dose de N em cobertura foi repetida quando a planta apresentou o oitavo par de folhas e na emissão da inflorescência feminina, totalizando 150 kg de ha<sup>-1</sup> N em cobertura.

## **Composição química de plantas de cobertura e decomposição de resíduos vegetais**

A amostragem para matéria seca, análise da composição química e fornecimento de material vegetal ao experimento de decomposição foi realizada com o corte das plantas rentes ao solo (duas repetições de 1 m<sup>2</sup> por subparcela), no período compreendido entre o início e 50 % de floração, quando também foram roçadas. Para obter o peso da matéria seca, o material permaneceu em estufa de ventilação forçada a 65 °C, até alcançar o peso constante, e uma pequena parte foi triturada, mineralizada e analisada.

Para determinar a velocidade de decomposição das plantas de cobertura, 10 g do material vegetal de cada espécie, foram secos em estufa a 65 °C durante 72 horas, pesados e colocados em sacolas de tela de náilon de malha de 2 mm x 2 mm e de dimensões de 20 cm x 20 cm. Cada subparcela recebeu 15 sacolas de serapilheira, as quais foram colocadas na superfície sob uma camada de resíduos da espécie vegetal correspondente. Durante a estação seca, foram efetuadas duas avaliações, a primeira realizada 60 dias depois da colocação das sacolas de serapilheira (9 e 22 de setembro) e a segunda, 90 dias (9 e 22 de outubro) após a colocação das sacolas no campo. Em cada avaliação, foram retiradas três unidades de cada subparcela.

Durante as operações de preparo do solo e de aplicação de herbicida, as sacolas de serapilheira foram retiradas do campo (início de novembro) e mantidas em câmara fria (temperatura de aproximadamente 0 °C). Depois da semeadura do milho, essas sacolas foram reintegradas às respectivas subparcelas (fim de novembro), colocadas em superfície, quando em plantio direto e enterradas a 10 cm de profundidade quando

sob o manejo com incorporação dos resíduos vegetais. A seguir, na estação chuvosa, as sacolas foram retiradas em janeiro (dias 9 e 22), fevereiro (dias 9 e 22) e março (dias 9 e 22).

Amostras de crotalária juncea, de feijão-bravo-do-ceará, de mucuna-cinza e de nabo-forrageiro foram analisadas por RMN de  $^{13}\text{C}$  CPMAS. As integrações dos espectros (ppm) correspondem aos grupos orgânicos: alquilas (0 ppm a 45 ppm), *O*-alquilas (45 ppm a 110 ppm), aromáticos (110 ppm a 160 ppm) e carbonilas/acilas (160 ppm a 230 ppm).

O material retirado das sacolas foi pesado e em seguida colocado em estufa a 65 °C por 72 horas (matéria seca final). O material seco, depois de pesado, foi queimado em mufla a 600 °C por um período mínimo de oito horas para se obter o conteúdo inorgânico final das espécies vegetais e do solo. O cálculo do índice de decomposição em cada época foi efetuado de acordo com Santos e Whitford (1981).

### **Amostragens e análises de solo**

Na estação seca, as amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0 cm a 5 cm, em trincheiras de 45 cm x 3 cm x 5 cm. Na profundidade de 5 cm a 10 cm, as amostras foram retiradas com o trado tipo holandês em três pontos, coletados com base no fundo das trincheiras. As amostras foram compostas da homogeneização de oito subamostras (minitrincheiras) em cada subparcela, sendo que, na profundidade de 5 cm a 10 cm, os três pontos coletados nas 8 trincheiras totalizaram 24 subamostras/subparcela. Na coleta realizada na estação de chuva, as amostras de solo foram retiradas perpendicularmente à linha de semeadura do milho, com esta centralizada na trincheira de 90 cm x 3 cm x 5 cm. As amostras de solo foram secas, moídas e passadas em peneira de 2 mm.

Para determinar a densidade do solo, coletaram-se quatro amostras, em cada parcela, com cilindros de 100 cm<sup>3</sup>, nas profundidades de 0 cm a 5 cm e 5 cm a 10 cm.

O teor de carbono orgânico no solo foi avaliado pelo método da oxidação por via úmida (WALKLEY; BLACK, 1934). O nitrogênio total do

solo foi determinado por digestão sulfúrica, utilizando a técnica Kjeldahl por destilação a vapor, enquanto o fósforo assimilável foi determinado pelo método de Mehlich 1 (HCl 0,05 N e  $H_2SO_4$  0,025 N), descritos no Manual de Métodos de Análise de Solo da Embrapa (CLAESSEN, 1997). Calcularam-se a razão C/N e a razão C/P no solo. Os cálculos de estoques foram efetuados multiplicando os teores de carbono e de nitrogênio obtidos nas análises pela densidade do solo e pela espessura da camada de solo considerada (0 cm a 5 cm e 5 cm a 10 cm).

Quatro linhas de 4 m de comprimento de milho foram colhidas em cada subparcela para avaliar o rendimento de grãos, corrigindo-se a umidade para 13 %.

### **Análise estatística**

Análise de variância foi aplicada para avaliar os efeitos das espécies vegetais (parcelas), dos tipos de manejo do solo (subparcelas), do período de decomposição (subsubparcelas) e da interação entre os três fatores, ao experimento com dados repetidos ao longo do tempo (VIVALDI, 1999). No caso dos dados obtidos de análises por RMN de  $^{13}C$  com CP/MAS, aplicou-se também análise de variância para testar efeitos das espécies vegetais (parcelas) do período de decomposição (subparcelas) e a interação entre esses dois fatores.

Com base nos dados da porcentagem de decomposição, obteve-se a taxa de resíduos vegetais remanescentes no solo pela diferença entre a quantidade total inicial dos resíduos (100 %) e cada um dos índices de decomposição. Esses dados foram ajustados ao modelo exponencial, com a taxa de resíduos remanescentes em função do tempo ( $TR = 100 * e^{k*(t)}$ ). Com base na constante (k) da equação exponencial ( $TR = 100 * e^{k*(t)}$ ), calcularam-se a meia-vida do ( $h = \ln 2/k$ ) e o tempo de reciclagem ( $\tau = 1/k$ ) do material vegetal.

## **Resultados e Discussão**

As menores proporções relativas dos grupos orgânicos aromáticos e alquilas, de mais difícil decomposição, no material de crotalária

juncea, feijão-bravo-do-ceará e nabo-forrageiro (Tabela 2) podem ter contribuído para a decomposição mais acelerada dos seus resíduos vegetais (BALDOCK et al., 1992; KÖGEL-KNABER, 1997; MAHIEU et al., 1999). Essas espécies apresentaram índices de decomposição em torno de 90 % no final do período de avaliações, principalmente, sob manejo com incorporação dos resíduos no solo (Fig. 2). O tempo necessário para decomposição de 50 % dos resíduos de guandu e de mucuna-cinza, com incorporação e em plantio direto e de milho com incorporação no solo, foi superior às demais espécies, confirmando que os resíduos de guandu, mucuna-cinza e milho reciclam-se mais lentamente. O tempo de reciclagem dos resíduos vegetais, no sistema plantio direto, também, foi superior em relação ao sistema com incorporação no solo (Tabela 3).

Apesar da razão C/N dos resíduos de mucuna-cinza (15,5) ser menor em relação aos resíduos de guandu (24,7) (CARVALHO et al., 1996), a composição química dessas leguminosas, em especial em relação à região dos grupos orgânicos aromáticos, é significativamente semelhante, corroborando a relação entre composição dos compostos de carbono e decomposição do material vegetal (PARR; PAPENDICK, 1979; PRESTON, 1991; BALDOCK et al., 1992; KÖGEL-KNABER, 1997; ZECH et al., 1997; RANDAL et al., 1997). Segundo Carvalho et al. (2009), a razão C/N individualmente não representa bem o processo de decomposição dos materiais orgânicos, enquanto a composição química semiquantificada pela técnica de RMN de  $^{13}\text{C}$  CPMAS determina a contribuição relativa dos principais grupos de C presentes no material vegetal, ou seja, a qualidade do carbono.

A menor proporção de polissacarídeos do material vegetal de guandu, e sua maior porcentagem de compostos aromáticos, juntamente com mucuna-cinza (Tabela 2), reflete a menor velocidade de decomposição dessas leguminosas (Fig. 2). O guandu apresentou decomposição mais lenta porque seus compostos, mais facilmente decomponíveis (polissacarídeos), ocorrem em menor proporção em relação ao material lignificado que contém grupos aromáticos e carbonos recalcitrantes da região alquila.

**Tabela 2.** Porcentagem relativa dos grupos orgânicos do material e dos resíduos vegetais aos 60 e 90 dias do início do experimento de decomposição, por meio de RMN de  $^{13}\text{C}$  CPMAS.

Espécies vegetais	Porcentagem em relação aos grupos orgânicos											
	Carbonila/acila			Aromático			<i>O</i> -alquila			Alquila		
	0 d	60 d	90 d	0 d	60 d	90 d	0 d	60 d	90 d	0 d	60 d	90 d
<i>C. juncea</i>	7,5 (a)AB	10,6 (a)A	4,1 (a)B	9,9 (ab)A	8,3 (b)A	5,3 (b)A	69,2 (a)A	61,8 (a)B	70,1 (a)A	13,4 (b)B	19,3 (b)A	20,5 (a)A
Feijão-bravo	11,0 (a)A	6,8 (a)AB	5,9 (a)B	7,5 (bc)A	5,9 (b)A	6,2 (b)A	65,5 (a)A	68,4 (a)A	68,1 (a)A	16,0 (bc)B	18,9 (b)A	19,8 (a)A
Guandu	11,4 (a)A	7,8 (a)AB	4,7 (a)B	11,7 (a)A	11,4 (a)A	11,9 (a)A	56,4 (b)B	54,5 (b)B	64,3 (b)A	20,5 (a)B	26,3 (a)A	19,2 (a)B
<i>Mucuna-cinza</i>	6,7 (a)AB	7,5 (a)A	2,3 (a)AB	12,1 (a)A	13,1 (a)A	10,1 (a)A	67,5 (a)A	62,3 (a)A	67,0 (a)A	13,7 (b)B	18,9 (b)A	20,6 (a)A
<i>N. forrageiro</i>	10,5 (a)A	7,8 (a)A	2,9 (a)B	5,7 (c)A	7,5 (b)A	7,7 (b)A	65,9 (a)B	67,1 (a)AB	74,1 (a)A	17,9 (ac)A	17,6 (b)A	15,3 (b)A

Médias seguidas de letras diferentes, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem pelo teste de Tukey a 5 %.

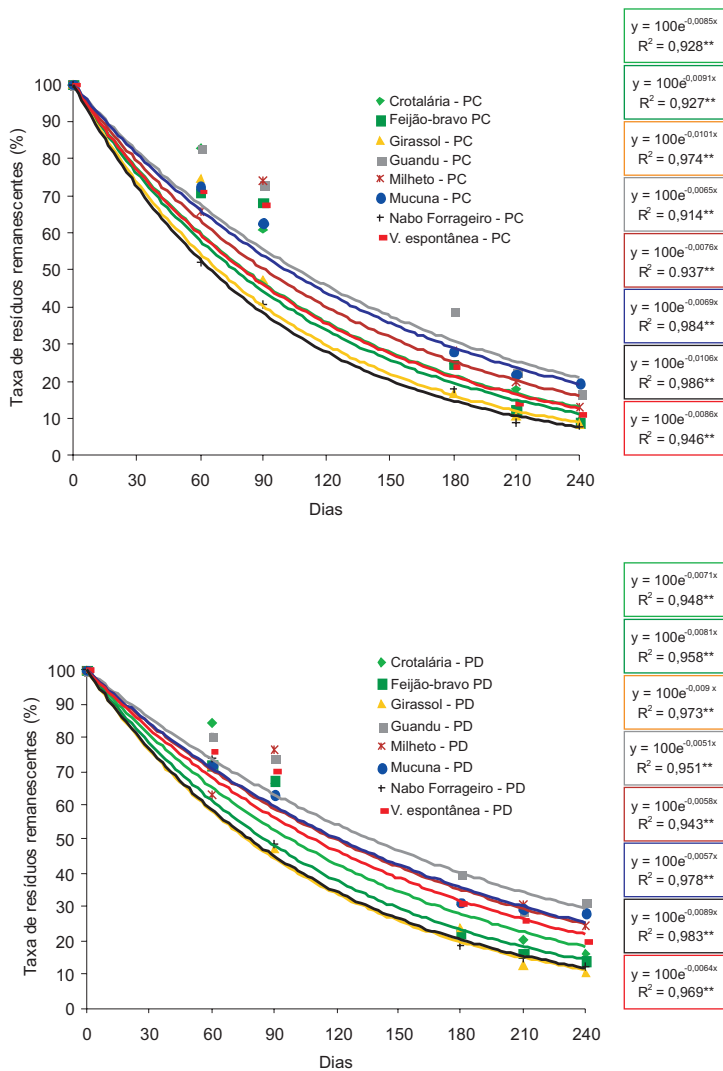


Fig. 2. Taxa de resíduos vegetais remanescentes no solo em função do período de decomposição nos manejos com incorporação e em plantio direto.

**Tabela 3.** Tempo necessário para decomposição de 50 % e tempo de reciclagem de resíduos vegetais, em Plantio Direto (PD) e Preparo Convencional (PC).

Espécies vegetais	Meia-vida (h)*		Tempo de reciclagem ( $\tau$ )**	
	PD	PC	PD	PC
	(Dias)			
Crotalária juncea	97	81	141	118
Feijão-bravo-do-ceará	86	76	123	110
Girassol	77	69	111	99
Guandu	136	107	196	154
Milheto	119	91	172	132
Mucuna-cinza	122	100	175	145
Nabo-forrageiro	78	65	112	94
V. espontânea	108	81	156	116

\* ( $h = \ln 2/k$ ); \*\* ( $\tau = 1/k$ ): em que  $k$  é coeficiente da equação exponencial ( $TR = 100 * e^{k*(t)}$ ).

As proporções dos compostos do tipo *O*-alquilas e alquilas no material vegetal (guandu, mucuna-cinza e crotalária juncea) que apresentaram diferenças significativas ao longo do tempo, entre 60 e 90 dias (Tabela 2), não seguem o comportamento de incrementos nos grupos dos alquilas e redução dos *O*-alquilas com a decomposição (GOLCHIN et al., 1997; GREGORICH et al., 1996; PRESTON, 1996; BALDOCK et al., 1997; KÖGEL-KNABER, 1997; NIEROP et al., 2001). Provavelmente, a rápida biodegradação da maioria dos compostos hidrossolúveis e polissacarídeos dessa região já tivesse ocorrido nos 60 dias iniciais. A partir desse período, predominou o ataque dos compostos estruturais, com a lenta redução de hidrossolúveis fenólicos e hemiceluloses, e aumento relativo do conteúdo de ligninas e proteínas que pode perdurar por anos, dependendo da natureza do material e da presença dos grupos especializados de microrganismos (CORREIA; ANDRADE, 1999).

Uma hipótese para o “não-incremento no grupo dos alquilas e redução no grupo dos *O*-alquilas” com a decomposição é que a ação microbiana sobre a lignina, os polifenóis e algumas biomacromoléculas alifáticas relativamente resistentes à quebra (ZECH et al., 1997) poderia estar alterando a relação alquilas/*O*-alquilas. Os microrganismos quebrariam seletivamente essas moléculas mais resistentes e os “fragmentos” – moléculas menores e de mais fácil decomposição – aumentariam



a proporção de *O*-alquilas com o tempo (BALDOCK et al., 1992). O material microbiano constituído, principalmente de carboidratos, também pode estar sendo adicionado no decorrer do tempo ao material de algumas espécies vegetais, sobretudo aquelas de mais difícil decomposição como o guandu, aumentando a concentração de *O*-alquilas. Gregorich et al. (1996) atribuíram o acúmulo de alquilas e não de *O*-alquilas às estruturas microbianas ou aos seus metabólitos. Entretanto, Gregorich et al. (1996) analisaram a fração leve da matéria orgânica do solo sob cultivo de milho e não o material vegetal, como no presente estudo.

Os estoques de carbono mais elevados na camada superficial do solo, em plantio direto, e de nitrogênio na superfície devem-se ao acúmulo e à decomposição mais lenta dos resíduos vegetais nessas condições (Tabelas 4 e 5). Os incrementos significativos da razão C/N (Tabela 6) no solo sob uso de *Mucuna pruriens*, bem como da razão C/P (Tabela 7) no solo sob *Cajanus cajan*, na estação seca, resultaram da decomposição mais lenta dos resíduos vegetais devido à maior concentração de compostos recalcitrantes (aromáticos) no tecido vegetal dessas leguminosas. Por sua vez, o uso de guandu, incluído no grupo das espécies com maior concentração de compostos de mais difícil decomposição (aromáticos e alquilas), não resultou em maior razão C/N do solo, possivelmente pela sua menor produção de biomassa e de palha de milho nas parcelas com uso dessa leguminosa. A decomposição mais lenta do material de *Cajanus cajan* e de *Mucuna pruriens*, principalmente em decorrência de menor proporção de polissacarídeos em relação aos compostos aromáticos (material lignificado), de mais difícil decomposição (CARVALHO et al., 2009), pode ter resultado nos valores de C/P mais elevados encontrados no solo sob essas leguminosas, na profundidade de 0 cm a 5 cm, na época seca. Os maiores valores C/P na camada de solo de 0 cm a 5 cm em relação à de 5 cm a 10 cm devem-se aos menores teores de  $P_{\text{Mehlich 1}}$  na profundidade de 0 cm a 5 cm ( $13 \text{ mg kg}^{-1}$ ) em relação à 5 cm a 10 cm ( $25 \text{ mg kg}^{-1}$ ) e à concentração de C bem mais elevada na superfície do solo pelo acúmulo dos resíduos vegetais, sobretudo, da palha do milho (CARVALHO, 2005).

**Tabela 4.** Estoques de carbono no solo sob uso de plantas de cobertura, em preparo convencional e plantio direto, nos períodos de seca e chuva, considerando as profundidades de 0 cm a 5 cm e de 5 cm a 10 cm, ano agrícola 2002/2003, Planaltina, DF.

Plantas de cobertura	Estoque de Carbono (Mg ha <sup>-1</sup> )			
	0 cm a 5 cm		5 cm a 10 cm	
	Seca	Chuva	Seca	Chuva
Crotalária juncea	7,2 (a)B	8,7 (a)A	7,0 (a)A	7,5 (a)A
Feijão-bravo-do-ceará	7,5 (a)A	7,9 (a)A	7,3 (a)A	7,8 (a)A
Guandu	7,4 (a)A	8,4 (a)A	6,8 (a)A	7,8 (a)A
Milheto	7,4 (a)B	8,7 (a)A	6,9 (a)B	7,5 (a)A
Mucuna-cinza	8,1 (a)A	8,5 (a)A	7,0 (a)B	7,7 (a)A
Nabo-forrageiro	8,0 (a)A	7,9 (a)A	6,8 (a)B	8,2 (a)A
Vegetação espontânea	7,4 (a)A	8,4 (a)A	6,7 (a)A	7,3 (a)A
<b>Tipos de manejo</b>				
Convencional	7,4 (a)	7,8 (b)	7,2 (a)	7,9 (a)
Plantio direto	7,7 (a)	8,9 (a)	6,6 (b)	7,5 (a)

Médias seguidas de letras diferentes, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de significância.

**Tabela 5.** Estoques de nitrogênio no solo sob preparo convencional e plantio direto, nas profundidades de 0 cm a 5 cm e de 5 cm a 10 cm, e nos períodos de seca e chuva, ano agrícola 2002/2003, Planaltina, DF.

Sistemas de manejo	Estoque de Nitrogênio (Mg ha <sup>-1</sup> )			
	0 cm a 5 cm	5 cm a 10 cm	Seca	Chuva
Convencional	0,8	0,8	0,8	0,8
Plantio direto	0,9	0,7	0,8	0,9

**Tabela 6.** Razão C/N do solo sob uso de plantas de cobertura, nas profundidades de 0 cm a 5 cm e de 5 cm a 10 cm, considerando os períodos de seca e chuva, ano agrícola 2002/2003, Planaltina, DF.

Plantas de cobertura	Razão C/N			
	Seca		Chuva	
	0 cm a 5 cm	5 cm a 10 cm	0 cm a 5 cm	5 cm a 10 cm
Crotalária juncea	9,5 (b)A	10,0 (a)A	10,4 (a)A	9,8 (a)A
Feijão-bravo-do-ceará	9,1 (b)A	10,5 (a)A	10,1 (a)A	9,9 (a)A
Guandu	9,9 (b)A	9,5 (a)A	10,9 (a)A	9,8 (a)A

Continua...

**Tabela 6.** Continuação.

Plantas de cobertura	Razão C/N			
	Seca		Chuva	
	0 cm a 5 cm	5 cm a 10 cm	0 cm a 5 cm	5 cm a 10 cm
Milheto	9,3 (b)A	9,9 (a)A	9,4 (a)A	9,4 (a)A
Mucuna-cinza	18,0 (a)A	9,9 (a)B	11,0 (a)A	9,4 (a)A
Nabo-forrageiro	10,3 (b)A	9,5 (a)A	9,8 (a)A	10,4 (a)A
Vegetação espontânea	9,4 (b)A	10,0 (a)A	10,2 (a)A	8,6 (a)A

Médias seguidas de letras diferentes, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha em cada estação, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de significância.

**Tabela 7.** Razão C/ P<sub>Mehlich-1</sub> do solo sob uso de plantas de cobertura, em preparo convencional e plantio direto, nas profundidades de 0 cm a 5 cm e de 5 cm a 10 cm, considerando os períodos de seca e chuva, ano agrícola 2002/2003, Planaltina, DF.

Plantas de cobertura	Razão C/ P <sub>Mehlich-1</sub>			
	Seca		Chuva	
	0 cm a 5 cm	5 cm a 10 cm	0 cm a 5 cm	5 cm a 10 cm
Crotalaria juncea	1197 (bc)A	1953 (ab)A	2882 (a)A	505 (a)B
Feijão-bravo-do-ceará	1723 (abc)A	1291 (b)A	1714 (c)A	761 (a)B
Guandu	2146 (a)A	1879 (ab)A	2341 (ab)A	574 (a)B
Milheto	1659 (abc)A	2382 (a)A	2415 (ab)A	449 (a)B
Mucuna-cinza	2022 (ab)A	1478 (b)A	2666 (ab)A	650 (a)B
Nabo-forrageiro	1540 (abc)A	1429 (b)A	2051 (bc)A	947 (a)B
Vegetação espontânea	1103 (c)A	1190 (bc)A	1997 (bc)A	474 (a)B
<b>Tipos de manejo</b>				
Convencional	1662 (a)A	1891 (a)A	2173 (a)A	741 (a)B
Plantio direto	1593 (a)A	1424 (a)A	2437 (a)A	505 (a)B

Médias seguidas de letras diferentes, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha por estação, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de significância.

No ano agrícola desta pesquisa, as maiores produtividades do milho (Tabela 8) não foram obtidas em áreas sob uso do guandu e da mucuna-cinza, que apresentaram decomposição mais lenta dos resíduos vegetais. Esse comportamento corrobora resultados positivos da incorporação de resíduos vegetais sobre parâmetros de fertilidade, os quais são atribuídos à decomposição mais acelerada,

conseqüentemente, à liberação mais rápida de nutrientes (DE-POLLI; CHADA, 1989; ALCÂNTARA et al., 2000), sobretudo, o nitrogênio e o fósforo limitantes nos solos de Cerrado (CARVALHO et al., 1995).

**Tabela 8.** Rendimento de milho cultivado em sucessão às plantas de cobertura, ano agrícola 2002/2003, Planaltina, DF.

Espécies vegetais	Rendimento (kg ha <sup>-1</sup> )	
Crotalária juncea	7537 (ab)	
Feijão-bravo-do-ceará	7906 (a)	
Girassol	7296 (ab)	
Guandu	7296 (ab)	
Milheto	7234 (ab)	
Mucuna-cinza	7426 (ab)	
Nabo-forrageiro	6489 (b)	
Vegetação espontânea	7193 (ab)	
Tipos de manejo	Preparo convencional	Plantio direto
	7222 A	7285 A

Médias seguidas de letras diferentes, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de significância.

Porém, no sistema plantio direto, plantas como guandu, milheto e mucuna-cinza são indicadas para cobertura do solo. Para reciclagem de nutrientes, recomenda-se o feijão-bravo-do-ceará, que apresentou maiores rendimentos de biomassa, decomposição acelerada e quantidades mais altas de nitrogênio e fósforo (CARVALHO et al, 2008).

## Conclusões

As plantas de cobertura, guandu e mucuna-cinza, com decomposição mais lenta, resultaram em C/N e C/P mais elevadas na superfície do solo. A aplicação de fósforo localizada na profundidade de 5 cm a 10 cm e a concentração de C na superfície do solo determinaram C/P mais elevada nessa camada de solo. O feijão-bravo-do-ceará, com produção mais elevada de biomassa e decomposição mais rápida, resultou em rendimento mais elevado de milho.

## Referências

- AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 27, p. 601-612, 2003.
- ALCÂNTARA, F. A. de; BUURMAN, P.; CURI, N.; FURTINI NETO, A. E.; VAN LAGEN, E. L. M.; Changes in soil organic matter composition after introduction of riparian vegetation on shores of hydroelectric reservoirs (Southeast of Brazil). **Soil Biology & Biochemistry**, v. 36, p. 1497-1508, 2004.
- ALCÂNTARA, F. A. de.; FURTINI NETO, A. E.; PAULA, M. B. de; MESQUITA, H. A. de; MUNIZ, J. A. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo Vermelho-Escuro degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, p. 277-288, 2000.
- BALDOCK, J. A.; OADES, J. M.; NELSON, P. N.; SKENE, T. M.; GOLCHIN, A.; CLARKE, P. Assessing the extent of decomposition of natural organic materials using solid-state  $^{13}\text{C}$  NMR spectroscopy. **Australian Journal of Soil Research**, v. 35, p. 1067-1083, 1997.
- BALDOCK, J. A.; OADES, J. M.; WATERS, A. G.; PENG, X.; VASSALO, A. M.; WILSON, M. A. Aspects of the chemical structure of soil organic materials as revealed by solid-state  $^{13}\text{C}$  NMR spectroscopy. **Biogeochemistry**, v. 16, p. 1-42, 1992.
- CARVALHO, A. M. de. **Uso de plantas condicionadoras com incorporação e sem incorporação no solo: composição química e decomposição dos resíduos vegetais; disponibilidade de fósforo e emissão de gases.** 2005. 199 f. Tese (Doutorado em Ecologia) – Programa de Pós-graduação em Ecologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2005.
- CARVALHO, A. M. de; AMABILE, R. F. Plantas condicionadora de solo: interações edafoclimáticas, uso e manejo. In: CARVALHO, A. M. de; AMABILE, R. F. (Ed.). **Cerrado: adubação verde.** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2006. p. 143 – 170.
- CARVALHO, A. M. de; BUSTAMANTE, M. M. C.; ALCÂNTARA, F. A de; RESCK, I. S.; LEMOS, S. S. Characterization by solid-state CPMAS  $^{13}\text{C}$  NMR spectroscopy of decomposing plant residues in conventional and no-tillage systems in Central Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 102, n. 1, p. 144-150, jan. 2009.
- CARVALHO, A. M. de; BUSTAMANTE, M. M. C.; GERALDO JUNIOR, J.; VIVALDI, L. J. Decomposição de resíduos vegetais em latossolo sob cultivo de

milho e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2831-2838, out./dez. 2008. Número especial.

CARVALHO, A. M. de; CORREIA, J. R.; BLANCANEUX, P.; FREITAS, L. R. S. da; MENEZES, H. A.; PEREIRA, J.; AMABILE, R. F. Caracterização de espécies de adubos verdes para milho em Latossolo Vermelho-Escuro originalmente sob cerrado. In: SIMPOSIO SOBRE O CERRADO, 8., INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TROPICAL SAVANNAS, 1., 1996, Brasília, DF. **Biodiversidade e produção sustentável de alimentos e fibras nos Cerrados: anais...** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 1996. p. 384-388.

CARVALHO, A. M. de; FAGERIA, N. K.; KINJO, T.; PEREIRA, I. P. de. Resposta do feijoeiro à aplicação de fósforo em solos dos Cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, p. 61-67, 1995.

CLAESSEN, M. E. C. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. rev. atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1).

CORREIA, M. E. F.; ANDRADE, A. G. de Formação de serrapilheira e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. de A.; CAMARGO, F. A. de O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 197-225.

DE-POLLI, H.; CHADA, S. S. Adubação verde incorporada ou em cobertura na produção de milho em solos de baixo potencial de produtividade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 13, p. 287-293, 1989.

ESPINDOLA, J. A. A.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L. de; TEIXEIRA, M. G.; URQUIAGA, S. Decomposição e liberação de nutrientes acumulados em leguminosas herbáceas perenes consorciadas com bananeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 321-328, 2006.

GOLCHIN, A.; OADES, J. M.; SKJEMSTAD, J. O.; CLARKE, P. Structural and dynamic properties of soil organic matter as reflected by  $^{13}\text{C}$  natural abundance, pyrolysis mass spectrometry and solid-state  $^{13}\text{C}$  NMR spectroscopy in density fractions of an Oxisol under forest and pasture. **Australian Journal Soil Research**, v. 33, n.1, p. 59-76, 1997.

GREGORICH, E. G.; MONREAL, C. M.; SCHNITZER, M.; SCHULTEN, H. R. Transformation of plant residues into soil organic matter: chemical characterization of plant tissue, isolated soil fractions, and whole soils. **Soil Science**, v. 161, p. 680-693, 1996.

KÖGEL-KNABER, I.  $^{13}\text{C}$  and  $^{15}\text{N}$  NMR spectroscopy as a tool in soil organic matter studies. **Geoderma**, v. 80, p. 243-270, 1997.

KÖGEL-KNABER, I. Analytical approaches for characterizing soil organic matter. **Organic Geochemistry**, v. 31, p. 609-625, 2000.

MAHIEU, N.; POWLSON, D. S.; RANDALL, E. W. Statistical analysis of published carbon-13 CPMAS NMR spectra of soil organic matter. **Soil Science Society of America Journal**, v. 63, p. 307-319, 1999.

NIEROP, K. G. J.; VAN LAGEN, B.; BUURMAN, P. Composition of plant tissues and soil organic matter in the first stages of a vegetation succession. **Geoderma**, v. 100, p. 1-24, 2001.

PARR, J. F.; PAPENDICK, R. I. Factors affecting the decomposition of crop residues by microorganisms. In: OSCHWALD, W. R. (Ed.). **Crop residue management systems**. Madison: American Society of Agronomy; Crop Science Society of America; Soil Science Society of America, 1979. p. 147-163.

PRESTON, C. M. Using NMR to characterize the development of soil organic matter with varying climate and vegetation. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON USE OF STABLE ISOTOPES IN PLANT NUTRITION, SOIL FERTILITY AND ENVIRONMENTAL STUDIES, 1990, Vienna. **Proceedings...** Vienna: International Atomic Energy Agency, 1991. p. 27-36.

PRESTON, C. M. Applications of NMR to soil organic matter analysis: history and prospects. **Soil Science**, v. 161, p. 144-166, 1996.

RANDAL, E. W.; MAHIEU, N.; IVANOVA, G. I. NMR studies of soil, soil organic matter and nutrients: spectroscopy and imaging. **Geoderma**, v. 80, p. 307-325, 1997.

REATTO, A.; CORREIA, J. R.; SPERA, S. T. Solos do bioma Cerrado In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S.P. (Ed.) **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 1998. p. 47-86.

RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I.; KAMINSKI, J. Depleção do fósforo inorgânico de diferentes frações provocada pela extração sucessiva com resina em diferentes solos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 345-354, 2000.

SANTOS, P. F.; WHITFORD, W. G. The effects of microarthropods on litter decomposition in a Chihuahuan ecosystem. **Ecology**, v. 62, p. 654-663, 1981.

SAS Institute. **SAS/STAT: user's guide**, version 8.1. Cary, 1999-2000. v. 1. 943 p.

SCHOLES, M. C.; POWLSON, D.; TIAN, G. Input control of organic matter dynamics. **Geoderma**, v. 79, p. 25-47, 1997.

SODRÉ FILHO, J.; CARDOSO, A. N.; CARMONA, R.; CARVALHO, A. M. de. Fitomassa e cobertura do solo de culturas de sucessão ao milho na Região do

Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 327-334, 2004.

VIVALDI, L. J. **Análise de experimentos com dados repetidos ao longo do tempo ou espaço**. Planaltina, DF: Embrapa-CPAC, 1999. 52 p. (Embrapa-CPAC. Documentos, 8).

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of the degtyareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the cromic titration method. **Soil Science**, v. 37, p. 29-38, 1934.

ZECH, W.; SENESI, N.; GUGGENBERGER, G.; KAISER, K.; LEHMANN, J.; MIANO, M. T.; MILTNER, A.; SCHROTH, G. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. **Geoderma**, v. 79, p. 117-161, 1997.