

RESPOSTA DA SOJA E DA BIOMASSA DE CARBONO DO SOLO AOS RESÍDUOS DE CINCO GENÓTIPOS DE SORGO⁽¹⁾

C. A. VASCONCELLOS⁽²⁾, D. C. A. CAMPOLINA⁽³⁾, F. G. SANTOS⁽²⁾,
G. V. EXEL PITTA⁽²⁾ & I. E. MARRIEL⁽²⁾

RESUMO

O trabalho teve como objetivo avaliar a influência de resíduos de cinco cultivares de sorgo (*Sorghum bicolor* L.): CMS XS 376, CMS XS 365, BR 304, BR 700 e CMS XS 755 no crescimento e no desenvolvimento da soja. Esses resíduos foram colhidos em três estádios do desenvolvimento reprodutivo do sorgo: florescimento, enchimento de grãos e maturação. Os tratamentos estudados constaram da deposição desses resíduos na superfície do solo ou da sua total incorporação na proporção de 4 g kg⁻¹ de matéria seca no solo (LEd, fase cerrado). Nos tratamentos com planta, mantiveram-se três plantas de soja (cv. Doko) em vasos com capacidade para 3 kg de solo. Nos tratamentos sem planta, o solo foi amostrado semanalmente para avaliação das formas de N. Após a colheita da soja, amostras de planta e de solo, de cada tratamento, foram retiradas para determinar a absorção total de N e a influência desses resíduos no N disponível extraído com KCl 2 mol L⁻¹. Os resultados revelaram que alguns resíduos culturais de sorgo afetaram, independentemente do estágio de colheita, o desenvolvimento da soja, a absorção de N, o peso de nódulos e a biomassa microbiana do solo. Tais efeitos também foram dependentes do método de incorporação do resíduo. O teor de carbono imobilizado pela biomassa foi maior quando os resíduos de sorgo foram distribuídos na superfície do solo.

Termos de indexação: nitrogênio, mineralização, nutrientes disponíveis, *Sorghum bicolor* L.

⁽¹⁾ O presente trabalho contou com o apoio financeiro e incentivo a bolsa de iniciação científica da FAPEMIG. Recebido para publicação em maio e aprovado em novembro de 1998.

⁽²⁾ Engenheiro-Agrônomo, Doutor, Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo. Caixa Postal 151, CEP 35 701-970 Sete Lagoas (MG).

⁽³⁾ Estagiária da FAPEMIG.

SUMMARY: SOYBEAN AND BIOMASS CARBON RESPONSE TO RESIDUES OF FIVE SORGHUM GENOTYPES

The aim of this work was to study the influence of residues of five Sorghum bicolor L. (cv CMS XS 376, CMS XS 365, BR 304, BR 700 and CMS XS 755) on soybean growth. These residues were harvested in three different stages during the sorghum cycle (blooming, milking and physiological maturity) and either spread on the soil surface or totally incorporated in soil, in the proportion of 4 g kg⁻¹ of dry matter in the soil (a Dark Red Oxisol under cerrado vegetation). In the plant treatments, three soybean plants (cv. Doko) were grown in pots with 3 kg of soil up to the blooming stage. In the no-plant treatments, the soil was periodically sampled for N (NO₃, NH₄) forms. The shoots of soybean plants were collected from each treatment, for total N absorption. Afterwards, samples were taken to determine the variation of available N extractable with KCl 2 mol L⁻¹. The main results showed a negative influence of cultural residues on soybean development, N absorption, nodule weight, and microbial biomass. These effects were dependent on sorghum material and residue management. Carbon immobilized by the soil microbial biomass was higher when the sorghum residues were distributed on the soil surface.

Index terms: Nitrogen, mineralization, nutrient availability, Sorghum bicolor L.

INTRODUÇÃO

A incorporação de diferentes resíduos vegetais no solo tem sido uma prática comumente adotada como forma de adubação verde. Vários estudos têm demonstrado que essa incorporação influencia a mineralização e imobilização de N, suas formas no solo e a liberação de nutrientes, após a decomposição desses resíduos (Jenkinson & Ladd, 1981; Wade & Sanchez, 1983; Palm & Sanches, 1991).

Comumente, com estas incorporações, há decréscimo da saturação por alumínio e aumento da eficiência no aproveitamento de nutrientes pelas plantas cultivadas (Igue & Pavan, 1984).

Dentro de sistemas agrícolas que envolvem reciclagem de resíduos vegetais, a rotação de culturas, a adubação verde e os cultivares com características específicas deverão, portanto, favorecer a manutenção da qualidade da matéria orgânica e da fertilidade do solo (Igue & Pavan, 1984), principalmente quando se objetiva a sustentabilidade do sistema produtivo.

É conveniente salientar que a adição de restos culturais pode estimular a decomposição do carbono nativo (Hallan & Bartholomew, 1953; Stewart, 1993). É possível notar efeitos alelopáticos nas culturas subsequentes (Almeida, 1988) e na microbiologia do solo (Powlson et al., 1987; Cardoso & Freitas, 1988), mediante diferentes interações de causas e efeitos, como, por exemplo, as interações de competição, mutualismo, comensalismo, parasitismo, predação e amensalismo que ocorrem na rizosfera das plantas em desenvolvimento, favorecendo ou não os componentes da relação solo-planta-microrganismo.

Segundo Einhellig & Souza (1992), alguns cultivares de sorgo podem exsudar uma substância denominada sorgoleone (p-benzoquinona) que reduz o crescimento de raízes em várias espécies de planta.

Na avaliação sobre os efeitos da adubação verde, é importante determinar a biomassa microbiana, principalmente pelo fato de por meio dela ser possível detectar modificações nas características do solo muito antes das alterações na matéria orgânica (Powlson et al., 1987). Essa biomassa microbiana corresponde, normalmente, a valores compreendidos entre 1 e 3,2% da matéria orgânica (Grisi, 1997), sendo estimada num sentido mais relativo do que absoluto, pois a heterogeneidade dos solos impede que seja tratada como uma entidade única e bem definida (Grisi & Gray, 1986).

Os microrganismos do solo são, também, responsáveis pela manutenção de uma série de reações que favorecem maior liberação de nutrientes para as plantas, sendo considerados importante parâmetro ecológico e de sustentabilidade do sistema produtivo. Assim sendo, pode-se mencionar sua importância na decomposição de resíduos, formas de nitrogênio no solo e em reações diversas de solubilização. Para Jenkinson & Ladd (1981), a biomassa microbiana é a fração lábil da matéria orgânica do solo e a fonte principal para disponibilidade de nutrientes. Esses autores mencionam, inclusive, que uma das maneiras de conservar o fertilizante nitrogenado no sistema solo-planta é imobilizá-lo por determinado período, por meio da adição de resíduos vegetais e aguardar sua remineralização pelos microrganismos durante a fase de demanda das culturas.

Este trabalho teve como objetivo avaliar a influência de resíduos de cinco cultivares de sorgo no desenvolvimento de plantas de soja e na biomassa de carbono.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados resíduos de cinco cultivares de sorgo (*Sorghum bicolor* L.): CMS XS 376, CMS XS 365, BR 304, BR 700 e CMS XS 755, colhidos em três estádios distintos do seu desenvolvimento: (a) florescimento, (b) enchimento de grãos e (c) maturação fisiológica.

Após a secagem em estufa em temperatura constante de 75°C, esses resíduos foram reduzidos a fragmentos inferiores a um centímetro, procurando-se manter intacta a estrutura do tecido vegetal, cujas características químicas encontram-se no quadro 1.

O manejo adotado constou da deposição de 4 g kg⁻¹ de matéria seca no solo desses resíduos na superfície de um vaso com 25 cm de diâmetro e capacidade para 3 kg de terra, ou da sua completa incorporação ao solo.

Nos tratamentos com planta, seis sementes de soja foram semeadas por vaso. Em cada vaso foram aplicados 100 mg kg⁻¹ de P (como superfosfato simples), 100 mg kg⁻¹ de K (na forma de cloreto de

potássio), 50 mg kg⁻¹ de FTE BR 12 e 5 mg kg⁻¹ de nitrogênio (NH₄NO₃). O desbaste foi feito quatro dias após a emergência, deixando-se três plântulas por vaso. Quando iniciou a floração (estádio R1, 44 dias após a emergência), as plantas foram colhidas, separando-se a parte aérea, o sistema radicular e os nódulos.). Esses materiais foram levados à estufa numa temperatura de 75°C, determinado-se o peso da matéria seca e o teor de nitrogênio na parte aérea, seguindo método descrito por Sarruge & Haag (1974).

O solo usado foi o Latossolo Vermelho-Escuro distrófico fase cerrado, sem histórico de uso, com as seguintes características químicas iniciais: pH_{água}, 5,2; Al, 0,46 cmol_c dm⁻³; Ca, 2,32 cmol_c dm⁻³; Mg, 0,57 cmol_c dm⁻³; K, 0,09 cmol_c dm⁻³; P, 2 mg dm⁻³; M.O., 39,2 g kg⁻¹. Para corrigir o alumínio trocável, o solo foi incubado por 30 dias com o equivalente a 2,2 t ha⁻¹ de calcário com as seguintes características: CaO, 31,8%; MgO, 11,1%; PN (poder de neutralização), 97,3%. Para esta incubação, usou-se 80% da quantidade de água retida a 0,01 MPa.

O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação com o delineamento experimental de blocos ao acaso em três repetições, com a distribuição dos tratamentos em parcelas subdivididas, sendo o manejo de resíduo mantido nas parcelas e os tipos de resíduo (fatorial composto por cinco cultivares e três épocas de colheita) nas subparcelas. Considerou-se um tratamento-testemunha sem a adição de resíduos de sorgo. Diariamente, os vasos foram

Quadro 1. Matéria seca total (MST), quantidades de N, P, K, Ca, Mg, C e relação C:N observadas em plantas de cinco híbridos de sorgo, colhidos em três estádios de desenvolvimento

Cultivar	MST	Quantidade do elemento						
		N	P	K	Ca	Mg	C	C:N
	g planta ⁻¹	mg planta ⁻¹					%	
Florescimento								
CMSXS 376	45	625	67	386	103	90	37	27
CMSXS 365	40	644	87	450	111	91	40	25
BR 304	33	511	55	319	81	59	40	26
BR 700	40	589	64	377	84	72	41	28
CMSXS 755	44	580	70	431	127	97	40	31
Enchimento de grãos⁽¹⁾								
CMSXS 376	77	866(65)	54(61)	296(19)	102(16)	88(23)	41	39
CMSXS 365	67	830(64)	54(56)	277(25)	88(15)	71(28)	40	30
BR 304	60	906(39)	63(37)	405(9)	118(9)	101(11)	41	33
BR 700	77	750(55)	52(58)	230(23)	85(18)	56(27)	42	38
CMSXS 755	91	1.175(49)	66(55)	313(18)	109(17)	82(26)	44	33
Maturação fisiológica⁽¹⁾								
CMSXS 376	87	603(78)	80(90)	202(59)	50(48)	62(78)	43	48
CMSXS 365	54	845(75)	61(77)	332(27)	74 (22)	73(43)	44	55
BR 304	43	881(60)	100(61)	558(16)	105(16)	115(36)	44	48
BR 700	90	564(85)	65(91)	150(43)	47(30)	46(68)	44	52
CMSXS 755	88	1.049(45)	204(75)	1.046(24)	265(17)	147(61)	43	47

⁽¹⁾ Números entre parênteses indicam a porcentagem de exportação do nutriente pela panícula.

rotacionados, ao acaso, dentro de cada parcela. Durante o experimento, a temperatura ambiente da casa de vegetação variou de 17 a 25°C.

Para avaliar as alterações do nitrogênio e da biomassa de carbono, foram mantidos dois tratamentos-testemunha com os resíduos colocados na superfície do solo e outro com a incorporação ao solo sem o cultivo da soja. Nestes tratamentos sem planta, semanalmente coletou-se uma amostra de solo para a determinação do carbono imobilizado pela biomassa microbiana (biomassa de carbono) e os teores de NH_4^+ e do NO_3^- . Equações ($Y = a + b/x + c/x^2$) foram ajustadas para demonstrar o comportamento do total de N nas formas NH_4^+ e NO_3^- e para a relação entre elas. A comparação estatística entre os modelos foi efetuada por meio do intervalo de confiança, obtido para as equações provenientes do tratamento-testemunha sem resíduo (Steel & Torrie, 1960).

Após a colheita da soja, amostras de solo de cada tratamento foram retiradas para determinar o N disponível extraível com KCl 2 mol L⁻¹. As formas de N foram determinadas por colorimetria de fluxo contínuo.

A biomassa de carbono foi determinada em amostras extraídas com sulfato de potássio 0,25 mol L⁻¹, com e sem fumigação com clorofórmio, segundo método proposto por Ocio & Brookes (1990) e Wu et al. (1990). A determinação do carbono extraído foi efetuada por meio da oxidação catalítica numa temperatura de 680 a 900°C em um analisador de carbono total, Tekmar-Dohrmann DC-190. Os teores de NH_4^+ e do NO_3^- foram determinados por colorimetria nas amostras de solo não fumigadas, segundo método de Kamphake et al. (1967) e Alves et al. (1993).

A avaliação estatística foi efetuada pelo programa estatístico MSTAC da Universidade de Michigan, EUA.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Influência dos resíduos de sorgo na produção de matéria seca da soja

O resíduo cultural do sorgo não apresentou aumentos contínuos nas quantidades de nutrientes acumulados em função da época de amostragem. É possível que tenha havido perdas de nutrientes e da matéria seca após o período de enchimento de grãos, como observado por Tukey Jr. (1970), Sayre (1974) e Andrade et al. (1975).

Na fase de maturação fisiológica, cada cultivar apresentou acúmulo e exportação (quantidade que sai da área cultivada) de nutrientes distintos. Dessa maneira, o cv. CMS XS 755 apresentou um acúmulo de 1.049 mg planta⁻¹ de N e uma exportação de apenas 45% dessa quantidade. O cv. BR 700

apresentou um acúmulo de 564 mg planta⁻¹ de N e uma exportação de 85% dessa quantidade. Tal variabilidade também foi observada para os demais nutrientes. Dessa forma, é possível que haja exigência nutricional distinta entre os cultivares.

A análise estatística dos resultados evidenciou a influência significativa desses resíduos de sorgo no desenvolvimento da soja (Quadro 2). Este efeito dependeu do cultivar de sorgo, do seu manejo (com e sem incorporação ao solo) e da interação do manejo e cultivar.

Houve menor produção de matéria seca da parte aérea das plantas de soja quando o resíduo do sorgo foi incorporado ao solo. Neste caso, o resíduo do cv. BR 304 apresentou menor influência, pois a quantidade de matéria seca da parte aérea da soja foi estatisticamente superior à dos demais tratamentos.

O peso da matéria seca da parte aérea da soja do tratamento-testemunha não diferiu dos tratamentos em que o resíduo foi mantido na superfície do solo (Quadro 2), assim como não se observou efeito significativo entre os cultivares de sorgo. Na média dos manejos, contudo, o resíduo do cv. CMS XS 365 promoveu menor produção de matéria seca da soja do que o cv. BR 304.

A análise estatística para o peso da matéria seca do sistema radicular da soja demonstrou que, com a incorporação do resíduo do cv BR 304, houve maior produção de raízes de soja do que com os resíduos dos demais cultivares de sorgo (Quadro 2). Não houve interação de cultivar e modo de incorporação, porém a não-incorporação promoveu aumentos de 32% no peso de raízes da soja em relação ao tratamento com incorporação. O peso das raízes de soja no tratamento-testemunha não diferiu estatisticamente do peso dos tratamentos sem a incorporação dos resíduos.

O acúmulo de N pela soja dependeu tanto da época de colheita do resíduo como do cultivar de sorgo (Figura 1 e Quadro 2). Assim, o resíduo do cultivar BR 304 apresentou maiores teores de N, quando colhido na maturação fisiológica dos grãos, e menor, por ocasião da floração. Outros cultivares, como o CMS XS 376 e o BR 700, não apresentaram influência da época de colheita no acúmulo de N, pela soja. O cv. CMX XS 365 favoreceu maiores acúmulos de N, quando o resíduo foi amostrado na floração, e menor, quando no enchimento de grãos (Figura 1).

A associação entre teores de nitrogênio acumulados pela soja e as características do sorgo (Quadro 1) demonstrou haver correlação negativa e significativa (-0,945) apenas com a relação C:N dos cultivares de sorgo colhidos por ocasião da floração. Nas demais épocas, não houve associação significativa entre o N acumulado e as referidas características dos cultivares. Tais respostas podem estar relacionadas com o efeito alelopático de algum ácido orgânico ou com a biologia do solo (Almeida, 1988).

Quadro 2. Peso da matéria seca da parte aérea de plantas, do sistema radicular e da quantidade de nitrogênio na parte aérea (C.V. 12,7%) de soja (cv. Doko) cultivada na presença do resíduo cultural de cinco híbridos de sorgo, em três estádios de desenvolvimento, com e sem incorporação ao solo

Cultivar	Manejo do resíduo ⁽¹⁾		
	Incorporada	Não incorporada	Média*
Parte aérea (g vaso⁻¹)			
CMS XS 376	4,7 b	6,6 a	5,7 ab
CMS XS 365	4,4 b	6,8 a	5,6 b
BR 304	5,6 a	6,8 a	6,2 a
BR 700	4,5 b	7,0 a	5,7 ab
CMS XS 755	4,8 b	7,0 a	5,8 ab
Média*	4,8 B	6,8 A	
Testemunha sem resíduo			6,4 A
Sistema radicular (g vaso⁻¹)			
CMS XS 376	2,7 abB	3,4 aA	3,0 a
CMS XS 365	2,2 bB	3,4 aA	2,8 a
BR 304	2,9 aB	3,5 aA	3,2 a
BR 700	2,5 abB	3,1 aA	2,8 a
CMS XS 755	2,3 abB	3,3 aA	2,8 a
Média*	2,5 B	3,3 A	
Testemunha sem resíduo			2,96 A
Nitrogênio total na parte aérea (mg vaso⁻¹)			
CMS XS 376	54,8 bB	69,2 aA	62,0 ab
CMS XS 365	50,5 bB	64,0 aA	57,3 bc
BR 304	67,6 aA	66,2 aA	66,9 a
BR 700	46,6 bB	60,5 aA	53,6 c
CMS XS 755	51,4 bB	65,6 aA	58,5 bc
Média*	54,2 B	65,1 A	
Testemunha sem resíduo			62,6 A

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra não apresentam diferenças estatísticas pelo teste de Tukey a 5%. Letras minúsculas comparam cultivares. Letras maiúsculas comparam manejo do resíduo. O C.V. da análise de variância para o peso da matéria seca da parte aérea foi de 8,8%; do sistema radicular, 17,2%.

A cinética da decomposição de um resíduo vegetal, portanto, depende da sua composição bioquímica, tais como: compostos orgânicos solúveis, conteúdos de celulose e lignina, etc. Nesse caso, tanto a distribuição como o tipo de resíduo são fatores importantes para explicar a variação do N no solo, como definido por Mary et al. (1996).

Os resultados apresentados no quadro 2 mostram que a incorporação dos resíduos de sorgo afetaram o teor de nitrogênio acumulado pela soja com uma redução média de 16,7% de N.

O resíduo do cv. BR 304, com e sem incorporação, não alterou a quantidade de N da soja, explicando o efeito significativo para a interação cultivar e incorporação. Na presença dos resíduos do cv. BR 700, houve menor acúmulo de nitrogênio na parte aérea da soja.

A análise estatística para o peso de nódulos, apesar do coeficiente de variação bastante elevado (C.V. 95%), revelou significância para o manejo dos resíduos de sorgo. Neste caso, o peso de nódulos, quando os resíduos foram distribuídos na superfície do solo, foi significativamente maior (78%), 41 mg vaso⁻¹, quando comparado ao do tratamento sem incorporação, 23 mg vaso⁻¹.

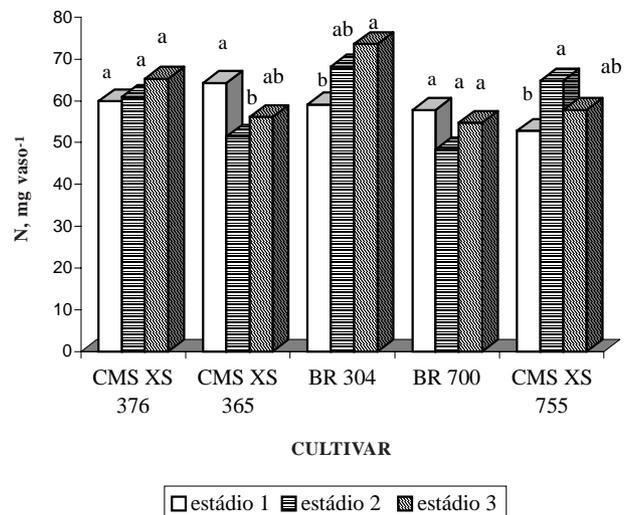


Figura 1. Influência da época de colheita (estádio 1 = florescimento; estágio 2 = enchimento de grãos; estágio 3 = maturação fisiológica) dos resíduos de diferentes cultivares de sorgo no acúmulo de nitrogênio pela soja (cv. Doko). As médias seguidas pela mesma letra não apresentam diferenças significativas entre estádios de colheita pelo Teste de Tukey a 5%.

Biomassa de carbono

O teor de carbono imobilizado na biomassa microbiana do solo (biomassa de carbono) foi influenciado pelo resíduo do cultivar e pelo método de incorporação.

Quando os resíduos, colhidos no estágio de enchimento de grãos, foram incorporados ao solo (Figura 2 e Quadro 3), os solos com os cultivares CMS XS 755 e 365 apresentaram variabilidade de biomassa de carbono ao longo do período de incubação. Essa variabilidade demonstra a decomposição em frações de solubilidades diferenciadas, ou seja, a decomposição é rápida no período inicial da incubação, seguindo-se um período de menor decomposição e, posteriormente, um novo período de decomposição rápida. Não se pode, contudo, descartar o efeito alelopático, tanto na biomassa de carbono inicial como na sua forma de crescimento, pois houve adição de fonte energética.

Nos demais cultivares, os resíduos incorporados ao solo promoveram variação linear da biomassa de carbono com o tempo de incubação.

O resíduo do cv. BR 304 distribuído superficialmente favoreceu, inicialmente, acréscimo da biomassa de carbono, pois o intercepto da equação linear apresentada no quadro 3 é estatisticamente superior ao da testemunha.

As populações microbianas atacam, inicialmente, a necromassa facilmente decomponível, daí o aumento da biomassa até o 20º dia de incubação (Figura 2), decrescendo, em seguida, até o 40º dia. A partir deste dia, a microbiota morta pode ser utilizada como substrato pelos microrganismos sobreviventes voltando, então, a biomassa a aumentar.

As equações ajustadas entre a biomassa de carbono e o tempo de incubação com os resíduos do BR 700 e CMS XS 376, incorporados ao solo, não foram significativamente diferentes do tratamento-testemunha. Neste caso, a biomassa desenvolveu-se de modo crescente com o tempo de incubação. É provável que este crescimento esteja associado à matéria morta da biomassa por ocasião do preparo do solo (Grisi, 1997).

Na ausência de resíduo de sorgo, verificou-se variação linear da biomassa com o tempo de incubação. A análise de variância mostrou diferenças altamente significativas entre as regressões para os valores das declividades das retas (b) obtidas como para o intercepto (a). Neste caso, a biomassa apresentou valores iniciais baixos (intercepto) comparativamente aos das testemunhas com e sem incorporação dos resíduos.

O crescimento da biomassa, independentemente do cultivar, foi sempre maior quando os resíduos foram distribuídos na superfície do solo, demonstrando haver fornecimento de energia proveniente da decomposição desses resíduos para o crescimento da biomassa. Neste caso, o maior valor da declividade (b) foi obtido na presença do cv. BR 304. Essa declividade, contudo, foi estatisticamente semelhante às declividades obtidas para os cultivares BR 700 e CMS XS 365 apesar de partirem de interceptos distintos.

Normalmente, um resíduo vegetal contém diferentes compostos orgânicos com solubilidades diferenciadas que, durante o seu processo de decomposição, irão indicar a necessidade de nitrogênio para a manutenção da biomassa microbiana e da própria decomposição (Cochran et al., 1988).

Quadro 3. Equações de regressão linear demonstrando a variação da biomassa de carbono (\hat{y} , $\mu\text{g g}^{-1}$) na presença e ausência da incorporação dos resíduos de cultivares de sorgo em diferentes tempos de incubação (x, dia)

Cultivar	Resíduo	Equação linear	Valor de r
Testemunha	Sem resíduo	$\hat{Y} = 41,57 + 1,00x$	0,938**
CMS XS 376	Com incorporação	$\hat{Y} = 43,4 + 0,67x$	0,836**
	Sem incorporação	$\hat{Y} = -4,9 + 1,79x$	0,903**
BR 304	Com incorporação	$\hat{Y} = 78,71 - 0,45x$	-0,626*
	Sem incorporação	$\hat{Y} = -26,6 + 2,87x$	0,981**
BR 700	Com incorporação	$\hat{Y} = 23,0 + 1,21x$	0,871**
	Sem incorporação	$\hat{Y} = -0,57 + 1,86x$	0,847**
CMS XS 755	Com incorporação	$\hat{Y} = 42,29 + 0,58x$	0,453 ^{ns}
	Sem incorporação	$\hat{Y} = 22,9 + 1,36x$	0,930**
CMS XS 365	Com incorporação	$\hat{Y} = 59,29 + 0,48x$	0,460 ^{ns}
	Sem incorporação	$\hat{Y} = -1,4 + 2,28x$	0,992**

*, ** significativos a 5 e 1%, respectivamente. ^{ns} não-significativo.

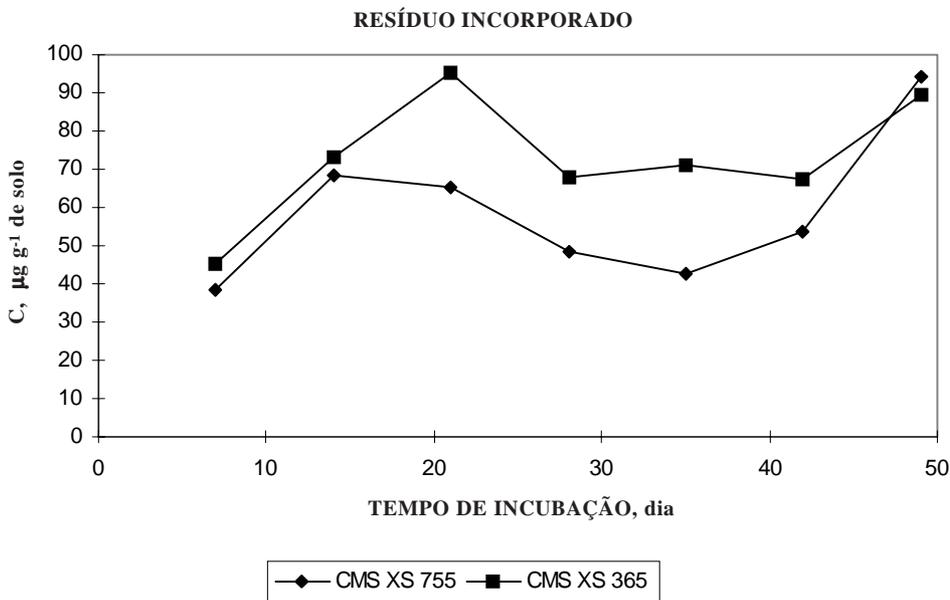


Figura 2. Variação da biomassa de carbono no solo, quando se incorporaram resíduos de dois cultivares de sorgo colhidos na época de enchimento de grãos.

Teores de NH_4^+ e de NO_3^-

No quadro 4, estão apresentadas as equações ajustadas para a variação dos teores de $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$, obtidos durante o tempo de incubação nos vasos sem planta. Essas equações foram ajustadas, tomando-se os valores obtidos após os 21 dias de incubação, pois, como demonstrado na figura 3, estes valores apresentaram pequenas variações entres os tratamentos até este período. A média obtida foi de $11,9 \pm 0,9 \mu\text{g g}^{-1}$, aos 7 dias de incubação; aos 14 dias, esta média foi de $22,6 \pm 4 \mu\text{g g}^{-1}$; aos 21 dias, de $65,8 \pm 20,6 \mu\text{g g}^{-1}$. Esses resultados, portanto, evidenciam imobilização do nitrogênio até este período de incubação. De acordo com Palm & Sanches (1991), os teores de polifenóis solúveis, como ácido tânico, poderiam explicar a variabilidade da mineralização ou da imobilização do N. No caso, quanto maiores os teores de polifenóis, maior a magnitude da imobilização do nitrogênio.

Dessa forma, pode-se afirmar que houve um período de estabilidade relativa até os 21 dias, quando ocorreram a mineralização e a posterior imobilização. Tal comportamento foi observado em todos os tratamentos com e sem resíduo incorporado, até no tratamento-testemunha sem resíduo.

Essa variação do nitrogênio, portanto, pode estar associada à matéria morta da biomassa microbiana, quando houve o preparo do solo (Grisi, 1997). Somente após este período inicial de mineralização é que se detectou o efeito do resíduo de sorgo e do seu manejo (com e sem incorporação).

Assim, ao avaliar o intervalo de confiança da equação obtida para o tratamento-testemunha sem

resíduo ($\pm 9 \mu\text{g g}^{-1}$ aos 21 dias e $\pm 1,6 \mu\text{g g}^{-1}$ aos 49 dias), foi possível verificar que apenas a equação do cultivar BR 304 apresentou distribuição de pontos similares à da testemunha (Quadro 4).

Quando os resíduos foram distribuídos na superfície do solo, obtiveram-se equações significativas apenas para os resíduos dos cultivares BR 700 e CMS XS 365 e com comportamento distinto da testemunha.

A relação $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ apresentou-se decrescente a partir dos sete dias iniciais de incubação. As equações ajustadas para os tratamentos com incorporação estão apresentadas no quadro 5. Portanto, mesmo

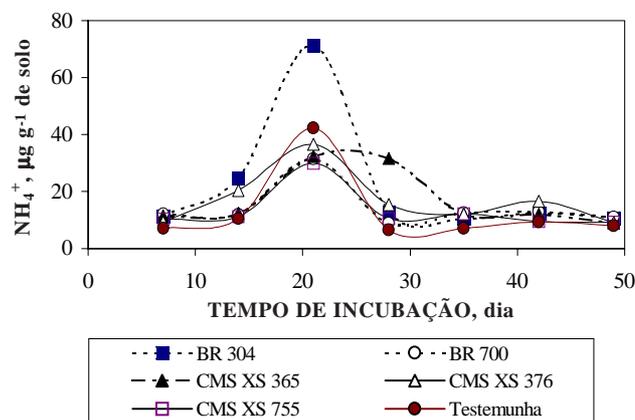


Figura 3. Variação dos teores de NH_4^+ , em Led de Sete Lagoas quando se incorporaram resíduos de cinco cultivares de sorgo colhidos na época de enchimento de grãos.

Quadro 4. Equações demonstrando a variação dos teores totais das formas NH_4^+ e NO_3^- (\hat{Y} , $\mu\text{g g}^{-1}$) em função do tempo (x, dia) quando houve incorporação dos resíduos de cultivares de sorgo no solo, na ausência da soja

Cultivar	Resíduo	Equação ajustada ⁽¹⁾	Valor de R ²
Testemunha	Sem resíduo	$\hat{Y} = 160,21 - 11.526/x + 216.600/x^2$	0,90**
CMS XS 376	Com incorporação	$\hat{Y} = 68,8 - 43,23/x + 83.736/x^2$	0,89*
	Sem incorporação	$\hat{Y} = 104,8 - 582,7/x + 109.890/x^2$	0,45 ^{ns}
BR 304	Com incorporação	$\hat{Y} = 163,58 - 109,40/x + 205.290/x^2$	0,79 ^Δ
	Sem incorporação	$\hat{Y} = 151,5 - 743,6/x + 117.410/x^2$	0,45 ^{ns}
BR 700	Com incorporação	$\hat{Y} = 59,21 - 3.308/x + 58.936/x^2$	0,87*
	Sem incorporação	$\hat{Y} = 182,1 - 11.111/x + 194.830/x^2$	0,75*
CMS XS 755	Com incorporação	$\hat{Y} = 75,2 - 4.934/x + 98.557/x^2$	0,87*
	Sem incorporação	$\hat{Y} = 169,50 - 9.560,9/x + 164.080/x^2$	0,54 ^{ns}
CMS XS 365	Com incorporação	$\hat{Y} = 16,41 - 810/x + 33.914/x^2$	0,89*
	Sem incorporação	$\hat{Y} = 228,9 - 1.398,4/x + 237.240/x^2$	0,88*

⁽¹⁾ Equações ajustadas após 21 dias de incubação. ^Δ, *, ** significativos a 10, 5, 1%, respectivamente; ^{ns} não-significativo.

Quadro 5. Equações demonstrando a variação da relação $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ (\hat{Y}) em função do tempo (x, dia) quando houve incorporação dos resíduos de cultivares de sorgo no solo, na ausência da soja

Cultivar	Equação	R ²
Testemunha	$\hat{Y} = 2,31 - 4,18/x + 22,8/x^2$	0,67*
CMS XS 376	$\hat{Y} = 8,77 - 26,41/x + 2.909,6/x^2$	0,92**
BR 304	$\hat{Y} = 1,02 - 5,22/x + 1.644,6/x^2$	0,998**
BR 700	$\hat{Y} = 8,29 - 19,8/x + 1.992,6/x^2$	0,764*
CMS XS 755	$\hat{Y} = 3,46 - 7,42/x + 58/x^2$	0,701*
CMS XS 365	$\hat{Y} = 6,36 - 13,3/x + 1.294,0/x^2$	0,48 ^{ns}

*, ** significativos a 5, 1%, respectivamente. ^{ns} não-significativo.

durante o período de estabilidade relativa (entre os 7 e 14 dias), houve alteração nas formas de N.

No tratamento-testemunha, embora a equação apresente ajuste significativo, os dados dessa relação ficaram praticamente inalterados durante o tempo de incubação, período em que essa relação variou de 0,5 a 1,3.

Nos tratamentos com resíduo na superfície do solo, apesar de apresentarem resultados variáveis entre os resíduos, a maior variação observada foi de 2,7 a 0,3 (BR 700). Como não se obteve ajuste significativo para a regressão desses dados, pode-se concluir que não houve variabilidade durante o período de incubação.

Nos tratamentos com resíduo incorporado, esta relação apresentou variação máxima de 29,3 a 2,2 para o cultivar CMS XS 376 e variação mínima de 4,5 a 1,7 para o cultivar CMS XS 755. Todas as equações ajustadas foram diferenciadas da equação

obtida para o tratamento-testemunha, pois não se enquadraram dentro do seu intervalo de confiança.

Não houve ajustamento para os dados obtidos quando os resíduos foram distribuídos na superfície do solo.

A correlação entre os teores de N absorvidos pela soja (\hat{Y}) e os dados do intercepto das equações ajustadas para a variação do total do N ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$) (x) foi significativa tanto para os tratamentos com resíduo incorporado ($\hat{Y} = 0,12x + 44,3$, $R^2 = 0,81$) como para os tratamentos com resíduo na superfície ($-2,25x^2 + 282,8x - 8.708$, $R^2 = 0,65$).

Os dados de nitrogênio extraído com KCl 2 mol L⁻¹, ao final do ciclo da soja, não apresentaram efeito do manejo (Quadro 6). Todavia, apresentaram diferenças

Quadro 6. Quantidade residual de NH_4^+ e NO_3^- extraído com KCl 2 mol L⁻¹ após a colheita das plantas de soja na presença e na ausência de incorporação dos resíduos de cultivares de sorgo no solo

Cultivar	Teor final de N			
	NH_4^+	NO_3^-	Total	$\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$
	— $\mu\text{g g}^{-1}$ —			
CMS XS 376	7,1 ab	11,9 b	18,9 bc	0,6 a
CMS XS 365	7,1 ab	12,8 b	19,9 b	0,6 a
BR 304	5,8 b	8,0 c	13,8 c	0,7 a
BR 700	7,1 ab	11,3 bc	18,4 bc	0,6 a
CMS XS 755C	7,4 ab	10,6 bc	17,9 bc	0,7 a
Testemunha	8,6 a	24,0 a	32,6 a	0,4 b
C.V. (%)	26,7	33	22	13,3

Dentro de colunas, as médias seguidas pela mesma letra não apresentam diferenças significativas pelo teste de Duncan a 5%.

para o tipo de resíduo. Os menores valores foram observados com o resíduo do cultivar BR 304, justificando a maior absorção pela soja. O tratamento-testemunha sem resíduo apresentou valores superiores do N residual ao final do ciclo da soja e quantidades semelhantes de N absorvido pela cultura.

CONCLUSÕES

1. Os resíduos culturais de sorgo afetam, independentemente do estágio de colheita, o desenvolvimento da soja e da biomassa microbiana. Este efeito depende do cultivar e do método de incorporação do resíduo cultural. O resíduo do cultivar BR 304, quando incorporado ao solo, apresenta menor influência sobre o desenvolvimento da soja.

2. O teor de carbono imobilizado pela biomassa de carbono é maior quando os resíduos de sorgo são distribuídos na superfície do solo.

3. A disponibilidade do nitrogênio e o tempo de imobilização após adição de resíduo cultural ficam alterados em função da qualidade desses resíduos e do manejo de solo.

4. As alterações nas formas de N no solo, NH_4^+ e NO_3^- dependem do tipo de resíduo e do seu manejo.

LITERATURA CITADA

- ANDRADE, A.G.; HAAG, H.P.; OLIVEIRA, G.D. & SARRUGE, J.R. Acumulação diferencial de nutrientes por cinco cultivares de milho (*Zea mays*, L.) Acúmulo de Macronutrientes. An. ESALQ, 32:115-49, 1975.
- ALMEIDA, F.S. Alelopatia e as plantas. Londrina: IAPAR, 1988. 60p. (IAPAR, Circular, 53)
- ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M. & URQUIAGA, S.S. Rapid and sensitive flow injection technique for the analysis of ammonium in soil extracts. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 24:277-284, 1993.
- CARDOSO E.J.N. & FREITAS S.S. Microbiologia da rizosfera. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 21., Campinas, 1988. A resposta social e a ciência do solo. Campinas, SBCS, 1988. p.299-410.
- COCHRAN, V.L.; HORTON, K.A. & COLE, C.V. An estimation of microbial death rate and limitations of N or C during wheat straw decomposition. Soil Bio. Biochem., 20:293-298, 1988.
- EINHELLIG, F.A. & SOUZA, F.I. Phytotoxicity of sorgoleone found in grain sorghum root exudates. J. Chem. Ecol., 18:1-11, 1992.
- GRISI, M.B. Temperature increase and its effect on microbial biomass and activity of tropical and temperate soils. R. Microb., 28:5-10, 1997.
- GRISI, B.M. & GRAY, T.R.G. Comparação dos métodos de fumigação, taxa de respiração em resposta a adição de glucose e conteúdo de ATP para estimar a biomassa microbiana do solo. R. Bras. Ci. Solo, 10:109-115, 1986.
- HALLAN, M.J. & BARTHOLOMEW, W.V. Influence of rate of plant residue addition in accelerating the decomposition of soil organic matter. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 2:365-368, 1953.
- IGUE, K. & PAVAN, M.A. Uso eficiente de adubos orgânicos. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Brasília, 1984. Anais. Brasília, EMBRAPA-DEP, 1984. p.338-418.
- JENKINSON, D.S. & LADD, J.N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: PAUL, E.A. & LADD, J.N., eds. Soil biochemistry. New York, Marcel Dekker, 1981. v.5. p.415-471.
- KAMPHAKE, L.J.; HANNAH, S.A. & COHEN, J.M. Automated analysis for nitrate by hydrazine reduction. Water Res., 7:205-216, 1967.
- MARY, B.; RECOUS, S.; DARWIS, D. & ROBIN, D. Interactions between decomposition of plant residues and nitrogen cycling in soil. Plant Soil, 181:71-82, 1996.
- OCIO, J.A. & BROOKES, P.C. An evaluation of methods for measuring the microbial biomass in soils following recent additions of wheat straw and the characterization of the biomass that develops. Soil Biol. Biochem., 22:685-694, 1990.
- PALM, C.A. & SANCHES, 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.
- POWLSON, D.S.; BROOKES, P.C. & CHRISTENSEN .B.T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. Soil Biol. Biochem., 19:159-164, 1987.
- SAYRE, J.D. Mineral accumulation in corn. Plant Physiol., 23:267-81, 1974.
- SARRUGE, J.R. & HAAG, H.P. Análises químicas em plantas. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1974. 56p
- STEEL, R.G.D. & TORRIE, J.H. Principles and procedures of statistics. New York, McGraw-Hill Book, Inc. 1960. 481p.
- STEWART, B.A. Managing crop residues for the retention of carbon. Water, Air Soil Pollut., 70:373-380, 1993.
- TUKEY Jr., H.B. The leaching of substances from plants. Ann. Rev. Planta Physiol. 21:305-24, 1970.
- WADE, M.K. & SANCHEZ, P.A. Mulching and green manuring application for continuous crop production in Amazon Basin. Agron. J., 75:39-45, 1983.
- WU, J.; JOERGENSEN, R.G.; POMMERENING, B.; CHAUSSOD, R. & BROOKES, P.C. Measurements of soil microbial biomass C by fumigation-extraction-an automated procedure. Soil Biol Biochem., 22:1167-1169, 1990.