

Foto: Beáta Emöke Madari



Biomassa Carbonizada como Condicionante de Solo para a Cultura do Arroz de Terras Altas, em Solo Arenoso, no Cerrado: Efeito Imediato para a Fertilidade do Solo e Produtividade das Plantas

Beáta Emöke Madari¹
Fabiano André Petter²
Márcia Thaís de Melo Carvalho³
Diogo Milhomem Machado⁴
Orlai Moreira da Silva⁵
Fernando Cunha Freitas⁶
Rafael de Faria Otoni⁷

Introdução

O arroz, dentre as culturas anuais, ocupa um lugar de destaque no cenário nacional, tendo em vista que seu consumo faz parte da maioria das dietas alimentares da população. No Brasil, o crescimento do consumo de arroz está intimamente ligado ao crescimento populacional, uma vez que, ao lado do feijão, é o principal alimento.

Tanto a produção mundial quanto a do Brasil, aproximadamente 75%, é oriunda de sistemas irrigados por inundação ou de várzeas. Esse tipo de produção de arroz, todavia, vem sendo particularmente vulnerável às legislações ambientais devido ao excessivo uso de água e às altas emissões de gás metano, um importante gás de efeito estufa.

O arroz de terras altas, por outro lado, sempre ficou conhecido por ser a primeira cultura após derrubada da vegetação nativa no Sul e Centro-

Oeste brasileiros. Atualmente, esse tipo de cultivo vem sendo fortemente desestimulado pelos crescentes problemas da conversão de vegetação nativa em uso agropecuário no que concerne à mudança do uso da terra e seus reflexos nas mudanças climáticas globais. O desmatamento seguido de queimadas vem colocando o Brasil como o principal emissor de gás de efeito estufa por meio dessa atividade. Assim, o arroz deverá se inserir em sistemas de cultivo mais sustentáveis e conservacionistas como o Sistema Plantio Direto (SPD) com rotação de culturas. Portanto, o arroz de terras altas passou a ser tratado não mais como cultura de abertura de área, mas sim como cultura principal no contexto de produção de grãos.

Os solos de cerrados predominam na região Centro-Oeste e caracterizam-se por elevada acidez, baixa fertilidade natural, com baixos teores de fósforo, potássio, baixa capacidade de troca catiônica e elevada saturação por alumínio (FAGERIA; SOUZA, 1995)

¹ Engenheira agrônoma, Doutora em Ciência do Solo e Nutrição de Plantas, pesquisadora da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO, madari@cnpaf.embrapa.br

² Engenheiro agrônomo, Doutor em Agronomia, professor da Universidade Federal do Piauí, Bom Jesus, PI, petter@ufpi.edu.br

³ Engenheira agrônoma, Mestre em Agronomia, pesquisadora da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO, marcia@cnpaf.embrapa.br

⁴ Engenheiro agrônomo, estagiário da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO, diogo.milhomem@gmail.com

⁵ Engenheiro agrônomo, estagiário da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO, orlai_ms@hotmail.com

⁶ Graduando em Agronomia, estagiário da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO, fernandocfreitas@hotmail.com

⁷ Graduando em Agronomia, bolsista PIBIC-CNPq-Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO, otoni_7@hotmail.com

além de intempéries climáticas, como a ocorrência de períodos de estiagem (veranicos) durante o período de desenvolvimento das culturas. Diante disso, a cultura do arroz em sistema de sequeiro passou a ser considerada como cultura de risco.

A introdução de técnicas que visam à melhoria das características químicas, físicas e biológicas do solo vem sendo estudada ao longo dos anos. O aumento da matéria orgânica dos solos tem contribuído para a melhoria dessas características, como comprovado por diversos autores, como o aumento da CTC e da ciclagem de nutrientes (TORRES et al., 2005) nas propriedades físicas do solo como a redução da densidade subsuperficial (GUIMARÃES; MOREIRA, 2001), resistência a penetração (CARNEIRO et al., 2009) e o aumento da porosidade (GONÇALVES et al., 2006).

Esse aumento da matéria orgânica nos solos de cerrado se dá principalmente em função da adoção do Sistema Plantio Direto (SPD). Entretanto, o cultivo de arroz de terras altas em SPD tem gerado frustrações de safra devido ao baixo vigor inicial da cultura (STONE et al., 1980; SANTOS et al., 1997).

Com o surgimento da bioenergia, novas formas de subprodutos da geração de energia são produzidas. Um deles é a biomassa carbonizada, que pode ter diferentes usos que agregam valor a ele, como por exemplo, seu uso como alternativa de condicionador de solo visando à melhoria nos atributos do solo. Na combustão incompleta (em ambiente reduzido em oxigênio) da biomassa, como no procedimento da produção de biomassa carbonizada ou em diferentes processos de pirólise, forma-se uma série de compostos genericamente denominados de carbono pirogênico. Esses compostos, pela sua recalcitrância, representam um importante reservatório de carbono estável, incorporado no solo, podendo mitigar o aumento da concentração atmosférica de CO_2 , e também desempenhar importante papel na fertilidade dos solos, especialmente quando química e biologicamente alterados (MADARI et al., 2009).

Já é fato conhecido que a biomassa carbonizada, devido às suas características físico-químicas e moleculares, tem efeito benéfico para as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (LEHMANN et al., 2003). Através desse efeito, a biomassa carbonizada pode proporcionar melhor desenvolvimento para as plantas, o que em muitos

casos resulta em melhor produtividade e maior segurança na produção. A aplicação de biomassa carbonizada no solo é também vista como uma forma de sequestro de C, uma vez que, devido à sua estrutura aromática, é altamente estável no solo.

O objetivo deste trabalho é demonstrar o efeito da biomassa carbonizada (carvão vegetal de eucalipto) na fertilidade do solo e no desenvolvimento e produtividade de arroz de terras altas, cv. BRS Sertaneja.

O experimento

O estudo foi desenvolvido em campo, instalado em Nova Xavantina, Mato Grosso, no bioma Cerrado, em novembro de 2008. A localização geodésica é $14^{\circ} 34' 50''$ de latitude e $52^{\circ} 24' 01''$ de longitude e altitude de 310 m. O solo foi um Plintossolo de textura franco arenosa, contendo 76,3% areia e 17% argila (SANTOS et al., 2006). Antes da implantação, a área do experimento era utilizada como pastagem e se encontrava em estado degradado. A espécie dominante era *Urochloa decumbens* (braquiária).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com quatro repetições, sendo que os tratamentos do experimento, num total de 16, foram compostos pela combinação de quatro doses de adubação de base 0 kg ha^{-1} ; 100 kg ha^{-1} ; 200 kg ha^{-1} e 300 kg ha^{-1} da fórmula 05-25-15 e quatro doses de biomassa carbonizada como fonte de carbono pirogênico 0 Mg ha^{-1} ; 8 Mg ha^{-1} ; 16 Mg ha^{-1} e 32 Mg ha^{-1} . Cada parcela foi composta por nove linhas da cultura com 10 m de comprimento, totalizando $40,50 \text{ m}^2$, sendo a área útil para as avaliações de $25,20 \text{ m}^2$.

A biomassa carbonizada (carvão vegetal de eucalipto (*Eucalyptus sp.*)), foi aplicada ao solo uma única vez, em dezembro de 2008, antes do plantio do arroz e incorporada a uma profundidade de 0 cm - 15 cm, utilizando-se enxada rotativa. Antes da incorporação ao solo, o carvão foi moído para passar em peneira de 2 mm.

A semeadura do arroz, cultivar BRS Sertaneja, foi realizada no dia 08 de janeiro de 2009, sendo distribuídos 100 kg ha^{-1} de sementes, observando-se espaçamento de 0,22 m entre linhas e profundidade de semeadura de 1 cm - 3 cm, sendo nessa mesma operação realizada a aplicação dos

tratamentos de adubação de base. Aos 30 dias após o plantio (DAP), foi realizada adubação nitrogenada em cobertura, utilizando como fonte de N a ureia, em doses combinadas com os tratamentos de adubação de base (0 kg ha⁻¹; 15 kg ha⁻¹; 32 kg ha⁻¹ e 50 kg ha⁻¹ N com 0 kg ha⁻¹; 100 kg ha⁻¹; 200 kg ha⁻¹ e 300 kg ha⁻¹ de adubação de base respectivamente), totalizando 20 kg ha⁻¹, 37 kg ha⁻¹ e 55 kg ha⁻¹ de N nas faixas correspondentes a 100 kg ha⁻¹, 200 kg ha⁻¹ e 300 kg ha⁻¹ de NPK, respectivamente.

O efeito da biomassa carbonizada foi avaliado utilizando dados de produtividade da cultura e de fertilidade do solo.

Por ocasião da colheita do arroz, se avaliou a produtividade de grãos, com posterior padronização da umidade dos grãos em 14%.

Em pleno florescimento do arroz, foram avaliadas as características químicas do solo (pH, Ca, Mg, Al, H + Al, P, K, Cu, Zn, Fe, Mn, M.O.) utilizando métodos descritos por Claessen (1997), sendo as amostras coletadas nas profundidades de 0 cm - 10 cm e 10 cm - 20 cm.

Durante o desenvolvimento da cultura, foram realizados tratamentos fitossanitários, com a aplicação de 241,8 g e.a. ha⁻¹ de 2,4-D, visando o controle de plantas daninhas, do inseticida methamidophos (420 g ha⁻¹) para o controle de pragas e uma aplicação do fungicida Triciclazole (225 g ha⁻¹), visando o controle de doenças.

Os dados de distribuição pluvial e temperatura do ar na área do experimento estão apresentados na Figura 1. Verificam-se períodos significativos de estiagem durante o desenvolvimento do arroz.

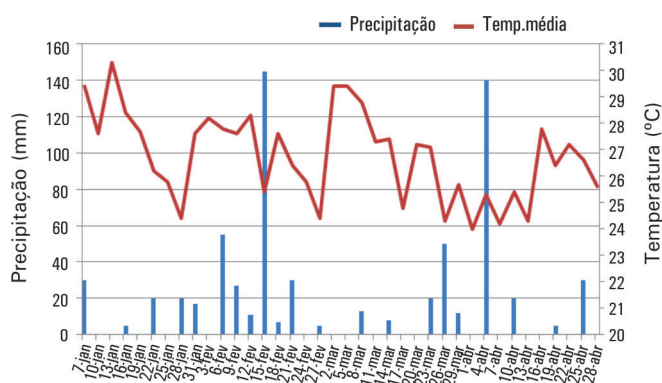


Figura 1. Precipitação (mm) e temperatura média (°C) ocorrida em Nova Xavantina, MT, durante a condução do experimento.

Após a coleta e tabulação dos dados, efetuou-se a análise de variância utilizando o software Sisvar, Versão 5.3, sendo as médias das variáveis significativas agrupadas pelo critério de Tukey a 5% de significância.

Cada data de amostragem refere-se a média de três dias de coleta.

Os dados de temperatura foram coletados na estação experimental do Inmet em Nova Xavantina, MT e a pluviosidade na sede da propriedade onde se realizou o experimento, utilizando-se o pluviômetro tipo cunha HD 306.

Efeito da biomassa carbonizada e da adubação mineral na fertilidade do solo

A fertilidade do solo foi influenciada pela aplicação de carvão, com efeito significativo para pH, P, K, Ca, Al, acidez potencial (H + Al), Zn e C na profundidade de 0 cm - 10 cm (Tabela 1). Já na profundidade de 10 cm - 20 cm, apenas pH e K foram influenciados (Tabela 2). Houve interação significativa entre carvão e adubação mineral apenas na profundidade de 0 cm - 10 cm para K, Mg e acidez potencial (H + Al) (Tabelas 1 e 2).

Tabela 1. Análise de variância (valores de F) para os diferentes efeitos nos atributos químicos do solo na profundidade de 0 cm - 10 cm, safra 2008/2009, em Nova Xavantina, MT.

Causas da variação	pH	N	P	K	Ca	Mg	Al
Adubação	2,04 ^{ns}	5,72 ^{**}	0,63 ^{ns}	4,32*	0,34 ^{ns}	3,28 ^{**}	7,33*
Biomassa carbonizada	23,17*	0,85 ^{ns}	3,73 ^{**}	17,60*	16,12*	2,14 ^{ns}	9,06*
Adubação x carvão	1,90 ^{ns}	0,74 ^{ns}	0,78 ^{ns}	2,50 ^{**}	0,98 ^{ns}	2,59 ^{**}	1,45 ^{ns}
C.V.	2,61	19,61	33,07	13,07	13,70	6,97	80,50
Causas da variação	H + Al	Fe	Cu	Mn	Zn	C	M.O.
Adubação	6,92*	16,13*	0,22 ^{ns}	18,55*	7,55*	0,57 ^{ns}	1,88 ^{ns}
Biomassa carbonizada	27,53*	0,30 ^{ns}	0,68 ^{ns}	1,89 ^{ns}	2,77 ^{**}	10,22*	1,75 ^{ns}
Adubação x carvão	2,76 ^{**}	0,25 ^{ns}	0,57 ^{ns}	0,33 ^{ns}	1,71 ^{ns}	0,74 ^{ns}	1,14 ^{ns}
C.V.	6,95	23,90	25,61	10,92	39,44	62,68	3,96

* e ** significativo a 1 e 5% respectivamente; ^{ns} não significativo. Doses da adubação base: 0, 100, 200, 300 e 400 kg ha⁻¹ NPK (05-25-15). Doses de biomassa carbonizada: 0, 2, 4, 8, 16 Mg ha⁻¹. C.V.: coeficiente de variação.

Tabela 2. Análise de variância (valores de F) para os diferentes efeitos nos atributos químicos do solo na profundidade de 10-20 cm, safra 2008/2009, em Nova Xavantina, MT.

Causas da variação	pH	N	P	K	Ca	Mg	Al
Adubação	12,74*	7,60*	8,91*	2,58 ^{***}	1,13 ^{ns}	2,95 ^{**}	5,11 ^{**}
Biomassa carbonizada	2,67 ^{**}	0,56 ^{ns}	1,37 ^{ns}	2,77 ^{**}	1,28 ^{ns}	0,64 ^{ns}	1,33 ^{ns}
Adubação x carvão	1,17 ^{ns}	1,59 ^{ns}	1,32 ^{ns}	0,74 ^{ns}	1,33 ^{ns}	1,06 ^{ns}	1,36 ^{ns}
C.V.	2,89	27,52	20,91	18,84	28,02	10,39	56,70
Causas da variação	H + Al	Fe	Cu	Mn	Zn	C	M.O.
Adubação	8,22 ^{**}	1,75 ^{ns}	2,63 ^{***}	9,18*	13,04*	2,15 ^{ns}	0,58 ^{ns}
Biomassa carbonizada	2,03 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,42 ^{ns}	1,71 ^{ns}	0,54 ^{ns}	1,71 ^{ns}	1,85 ^{ns}
Adubação x carvão	1,10 ^{ns}	0,93 ^{ns}	0,67 ^{ns}	1,19 ^{ns}	0,40 ^{ns}	1,10 ^{ns}	1,58 ^{ns}
C.V.	10,69	26,06	24,40	17,17	102,34	39,47	5,75

*, ** e *** significativo a 1, 5 e 10% respectivamente; ^{ns} não significativo. Doses da adubação base: 0, 100, 200, 300 e 400 kg ha⁻¹ NPK (05-25-15). Doses de biomassa carbonizada: 0, 2, 4, 8, 16 Mg ha⁻¹. C.V.: coeficiente de variação.

Na profundidade de 0 cm - 10 cm, o pH foi influenciado pela aplicação de carvão em todos os níveis, sendo que não houve diferença entre o efeito das doses de 8 Mg ha⁻¹ e 16 Mg ha⁻¹, entretanto a dose de 32 Mg ha⁻¹ efetuou um maior aumento no pH (Tabela 3). Na camada de 10 cm - 20 cm somente a dose de 32 Mg ha⁻¹ influenciou significativamente o pH em relação à testemunha (Tabela 4). A redução da acidez está associada ao aumento de bases trocáveis (Ca e K) e à redução dos teores de Al.

O efeito do carvão na disponibilidade do P foi verificado somente na camada de 0 cm - 10 cm para a dose de 32 Mg ha⁻¹ (Tabela 3), aumentando em 42% sua disponibilidade em relação à testemunha.

A disponibilidade de K nas profundidades de 0 cm - 10 cm e 10 cm - 20 cm foi significativamente influenciada com a aplicação de 32 Mg ha⁻¹ de carvão (Tabelas 3 e 4).

Houve interação significativa na camada de 0 cm - 10 cm para os fatores doses de carvão e adubação de base, sendo os teores e K aumentados com a aplicação de 32 Mg ha⁻¹ de carvão em todos os níveis de adubação de base (Tabela 5). De maneira geral, o maior efeito do carvão é verificado quando aplicados 100 kg ha⁻¹ de adubo de base, em que a maior dose de carvão proporcionou aumento de 78% na disponibilidade de K.

O Ca teve os teores no solo aumentado com a aplicação de 16 Mg ha⁻¹ e 32 Mg ha⁻¹ de carvão, apenas na profundidade de 0 cm - 10 cm (Tabela 3) e não houve interação entre as doses de carvão e adubo mineral quanto à sua disponibilidade que aumentou com 36% quando utilizado 32 Mg ha⁻¹ em relação a testemunha.

Todas as doses de carvão reduziram os teores de Al na camada de 0 cm - 10 cm (Tabela 3), todavia não se verificou efeito na camada de 10 cm - 20 cm.

Tabela 3. Atributos químicos do solo na profundidade de 0 cm - 10 cm em função das doses de carvão aplicadas, safra 2008/2009, em Nova Xavantina, MT.

Carvão (Mg ha ⁻¹)	pH (H ₂ O)	N %	P			K			Ca		Mg		Al	
			mg dm ⁻³			mg dm ⁻³			cmolc dm ⁻³		cmolc dm ⁻³			
0	5,74	A	0,13	A	6,53	A	100	A	0,76	A	0,65	A	0,11	B
8	5,93	B	0,13	A	6,95	AB	112	A	0,82	AB	0,64	A	0,05	A
16	5,97	B	0,13	A	7,99	AB	112	A	0,88	B	0,66	A	0,05	A
32	6,20	C	0,14	A	9,29	B	137	B	1,04	C	0,68	A	0,02	A
	H + Al cmolc dm ⁻³		Fe		Cu		Mn		Zn		C (%)		M.O. (g dm ⁻³)	
0	2,25	B	32,25	A	0,58	A	22,37	A	18,90	A	1,12	A	14,06	A
8	2,16	B	30,06	A	0,62	A	23,81	A	17,76	A	1,27	A	14,18	A
16	1,96	A	31,75	A	0,61	A	23,18	A	13,35	A	1,54	A	14,18	A
32	1,83	A	32,25	A	0,55	A	24,43	A	14,41	A	3,02	B	14,50	A

Médias seguidas por letras iguais nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 4. Atributos químicos do solo na profundidade de 10 cm - 20 cm em função das doses de carvão aplicadas, safra 2008/2009, em Nova Xavantina, MT.

Carvão (Mg ha ⁻¹)	pH (H ₂ O)	N %	P			K			Ca		Mg		Al	
			mg dm ⁻³			mg dm ⁻³			cmolc dm ⁻³		cmolc dm ⁻³			
0	5,75	A	0,09	A	5,40	A	102	A	0,75	A	0,57	A	0,15	A
8	5,79	AB	0,08	A	5,56	A	113	A	0,69	A	0,55	A	0,13	A
16	5,81	AB	0,09	A	5,88	A	110	A	0,66	A	0,55	A	0,13	A
32	5,91	B	0,09	A	6,20	A	123	B	0,62	A	0,56	A	0,10	A
	H + Al cmolc dm ⁻³		Fe		Cu		Mn		Zn		C (%)		M.O. (g dm ⁻³)	
0	2,08	A	36,68	A	0,67	A	21,93	A	23,70	A	1,21	A	10,68	A
8	2,11	A	35,81	A	0,71	A	22,62	A	22,98	A	1,12	A	10,93	A
16	1,99	A	35,31	A	0,65	A	19,81	A	15,38	A	1,12	A	11,18	A
32	1,94	A	33,81	A	0,70	A	21,81	A	19,23	A	1,46	A	10,81	A

Médias seguidas por letras iguais nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 5. Atributos químicos do solo na profundidade de 0 cm - 10 cm em função das doses de carvão e níveis de adubação de base aplicada, safra 2008-2009, em Nova Xavantina, MT.

Carvão (Mg ha ⁻¹)	Adubação base (kg ha ⁻¹)			
	0	100	200	300
	K (mg dm ⁻³)			
0	115 A	74 A	91 A	120 A
8	109 A	112 B	119 AB	108 A
16	116 A	116 B	103 AB	116 AB
32	148 B	132 B	123 B	148 B
	Mg (cmolc dm ⁻³)			
0	0,73 A	0,61 A	0,65 A	0,62 A
8	0,65 A	0,66 AB	0,60 A	0,66 A
16	0,67 A	0,70 B	0,64 A	0,63 A
32	0,68 A	0,72 B	0,65 A	0,70 A
	H + Al (cmolc dm ⁻³)			
0	2,41 A	2,44 A	2,06 A	2,10 A
8	2,27 A	2,15 AB	2,17 AB	2,04 AB
16	1,89 B	2,00 B	2,13 AB	1,83 B
32	1,93 B	1,81 C	1,90 B	1,69 B

Médias seguidas por letras iguais nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Comportamento semelhante foi verificado para a acidez potencial (H + Al), que foi reduzida na camada de 0 cm - 10 cm com a adição de 16 Mg ha⁻¹ e 32 Mg ha⁻¹ (Tabela 3). Houve interação significativa entre os fatores doses de carvão e adubo de base para o mesmo parâmetro (Tabela 5), sendo que as doses de 16 Mg ha⁻¹ e 32 Mg ha⁻¹ reduziram a acidez potencial em todos os níveis de adubação de base.

Os teores de Mg foram significativamente influenciados pela interação doses de carvão e adubo de base na camada de 0 cm - 10 cm (Tabela 5). A interação que resultou em efeito foi verificada com a aplicação de 16 Mg ha⁻¹ e 32 Mg ha⁻¹ de carvão combinadas com 100 kg ha⁻¹ de adubo de base.

Efeito da biomassa carbonizada na produtividade do arroz

A produtividade foi significativamente influenciada pela aplicação de biomassa carbonizada (Tabela 6), e, como já esperado, também pela adubação mineral.

Tabela 6. Análise de variância (valores de F) para os diferentes efeitos na produtividade do arroz, safra 2008/2009, em Nova Xavantina, MT.

Causas da variação	Produtividade
Adubação	6,45*
Biomassa carbonizada	133,48*
Adubação x carvão	5,76*
C.V.	10,73

DAP: dias após plantio. C.V.: coeficiente de variância (%). * significativo a 1%.

Houve também interação significativa entre os fatores doses de carvão e adubo mineral para produtividade (Tabela 7). Observa-se efeito significativo das doses de carvão em todos os níveis de adubação de base. Esses dados assemelham-se com os obtidos por Steiner et al. (2007), os quais verificaram o efeito sinérgico do carvão aplicado juntamente com fertilizantes. Diversos trabalhos (OGUNTUNDE et al., 2004; STEINER et al., 2007; VAN ZWIETEN et al., 2010) demonstram o efeito sinérgico da aplicação de carvão e fertilizantes, onde a maioria dos autores atribui o efeito à capacidade do carvão em reter os nutrientes em função de sua alta CTC, que com o tempo tende a aumentar à medida que as bordas das estruturas aromáticas são oxidadas. Mesmo que a oxidação das estruturas aromáticas demande um tempo para ocorrer, naturalmente o carvão já apresenta elevada superfície específica (KISHIMOTO; SUGIURA, 1985) e, conseqüentemente, elevada CTC. Esse efeito se torna mais evidente em solos arenosos, como reportado por Glaser et al. (2002), em que, devido sua mineralogia naturalmente apresenta baixa CTC.

Tabela 7. Produtividade do arroz em função das doses de carvão e níveis de adubação de base aplicadas, safra 2008/2009, em Nova Xavantina, MT.

Carvão (Mg ha ⁻¹)	Adubação base (kg ha ⁻¹)			
	0	100	200	300
	Produtividade (kg ha ⁻¹)			
0	425 A	440 A	567 A	558 A
8	516 A	702 B	841 B	619 A
16	911 B	775 B	880 B	697 A
32	1.092 C	954 C	1049 C	1.118 B

Médias seguidas pelas mesmas letras iguais nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Essa resposta pode estar associada a um possível efeito eletrofisiológico da biomassa carbonizada para as plantas, fenômeno similar ao observado para as substâncias húmicas (NARDI et al., 2002), que diminuiria a energia necessária gasta pelas plantas para a absorção da quantidade necessária de nutrientes. Outro fato pode estar relacionado com o aumento na absorção de nutrientes, uma vez que alguns nutrientes tinham sua disponibilidade no solo aumentada como P, K e Ca. Vale ressaltar que a redução de forma significativa dos teores de Al no solo também pode ter contribuído para diminuir o efeito fitotóxico às raízes, aumentando assim a absorção de nutrientes.

As baixas produtividades (Tabela 8) observadas são em função de períodos de estiagem nessa safra,

que ocorreram no período que coincidiu com o início do desenvolvimento da cultura e no florescimento (Figura 1). A cultura do arroz é altamente sensível ao déficit hídrico na fase reprodutiva, especialmente na floração.

Tabela 8. Produtividade do arroz, safra 2008/2009, em Nova Xavantina, MT.

Carvão (Mg ha ⁻¹)	Produtividade (kg ha ⁻¹)
0	497 A
8	670 B
16	816 C
32	1053 D

Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Embora tenha se observado interação entre as doses de biomassa carbonizada e de adubação mineral para a produtividade do arroz, vale ressaltar que, examinando os efeitos separados desses fatores, a biomassa carbonizada mostrou um efeito maior do que a adubação mineral (Tabela 6). A Figura 2 mostra uma alta correlação linear entre a aplicação de biomassa carbonizada e produtividade do arroz, ou seja, à medida que se aumentam as doses de carvão aplicado, aumenta-se a produtividade, numa maneira bastante previsível.

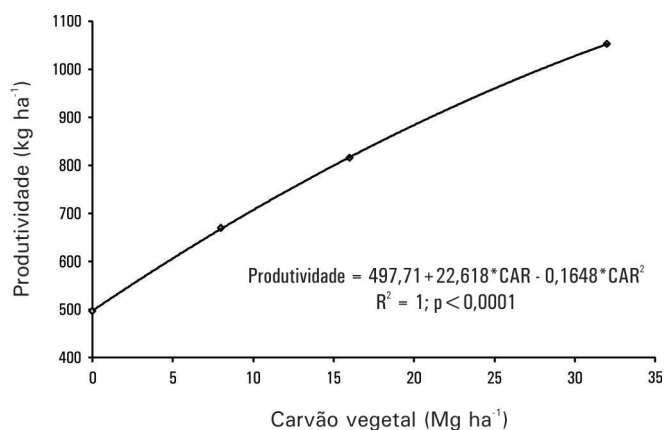


Figura 2. Produtividade do arroz em função de diferentes doses de carvão vegetal (CAR), safra 2008/2009, em Nova Xavantina-MT.

Eficiência agrônômica do uso do nitrogênio, fósforo e potássio

A eficiência agrônômica visa entrever o efeito da quantidade aplicada de nutrientes sobre a produtividade, e, neste caso, verificou-se que a biomassa carbonizada influenciou na eficiência dos fertilizantes inorgânicos. A biomassa carbonizada funciona nesse caso como um otimizador da eficiência nutricional, que, segundo Baligar et al. (2001) e Fageria e Baligar (2001), é fundamental para aumentar a produtividade e reduzir os custos de produção. De acordo com Fageria (2001), a

otimização da eficiência nutricional pode ser obtida com o manejo integrado de nutrientes (MIN), que segundo o autor nada mais é que um “pacote de práticas que manipulam o meio de crescimento das plantas para suprimento de nutrientes essenciais na quantidade e nas proporções adequadas visando altas produtividades sem danos ao meio ambiente”.

Tabela 9. Análise de variância (valores de F) para os diferentes efeitos na eficiência agrônômica de utilização de nutrientes, safra 2008/2009, em Nova Xavantina, MT.

Causas da variação	N	P	K
Adubação	50,48*	55,89*	55,86*
Biomassa carbonizada	23,11*	21,83*	21,84*
Adubação x carvão	1,07 ^{ns}	1,24 ^{ns}	1,24 ^{ns}
C.V.	31,45	32,01	32,01

* e significativo a 1 e; ^{ns} - não significativo.

A eficiência agrônômica do nitrogênio foi aumentada com a aplicação de 32 Mg ha⁻¹ de biomassa carbonizada (Tabela 9). Observam-se as maiores eficiências no uso do nitrogênio em doses menores de aplicação dos mesmos, ou seja, quanto maior a dose de nitrogênio aplicada menor sua eficiência em função da aplicação do carvão. Comportamento semelhante ocorre para fósforo e potássio (Tabela 10).

Tabela 10. Eficiência agrônômica da utilização de N, P e K em função das doses de carvão aplicadas, safra 2008/2009, em Nova Xavantina, MT.

Carvão (Mg ha ⁻¹)	Nitrogênio (kg ha ⁻¹)		
	20	37	55
8	13,11 A	7,41 A	1,10 A
16	16,76 A	8,47 A	2,53 A
32	25,67 B	13,04 A	10,17 B
	Fósforo (kg ha ⁻¹)		
	10,91	21,83	32,75
8	24,03 A	12,56 A	1,85 A
16	30,72 A	14,36 A	4,25 A
32	47,06 B	22,10 A	17,08 B
	Potássio (kg ha ⁻¹)		
	12,45	24,90	37,35
8	21,06 A	11,01 A	1,62 A
16	26,92 A	12,59 A	3,72 A
32	41,24 B	19,37 A	14,97 B

Médias seguidas por letras iguais nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Eficiência agrônômica (EA) = $(PG_{f_i} - PG_{f_0}) / (QN_i)$, em kg kg⁻¹; onde: PG_{f_i} = produtividade de grãos com fertilizante nitrogenado, PG_{f₀} = produtividade de grãos sem fertilizante nitrogenado e QN_i = quantidade do nutriente aplicado, em kg.

Trabalhos clássicos conduzidos no início do século e citados por Westerman e Tucker (1987) já apontavam para uma menor influência de determinado nutriente conforme se aumentava a dose aplicada. De acordo com Fageria (2006), esses trabalhos levaram ao desenvolvimento da lei dos “incrementos decrescentes”, ou seja, ao aplicar quantidades

sucedidas de um determinado nutriente, o maior incremento em produção é obtido com a primeira aplicação e que o incremento de produção é cada vez menor quanto mais se aplica um determinado nutriente.

Portanto, doses elevadas de fertilizantes suprem a necessidade das plantas e mascaram o efeito benéfico da biomassa carbonizada, ou seja, as melhorias nos atributos químicos do solo com a aplicação de carvão passam a não mais fazer efeito sobre a produtividade de grãos uma vez que com a aplicação de doses elevadas dos fertilizantes, os nutrientes já estão disponíveis em quantidades satisfatórias para as plantas. Vale ressaltar ainda que, em função dos períodos de estiagem ocorridos durante o ciclo da cultura, seu potencial produtivo foi reduzido significativamente em função do menor número de panículas e grãos (drenos) e, conseqüentemente, a necessidade de nutrientes. Esse fato reforça a hipótese de que baixas quantidades de nutrientes foram suficientes para a produção estabelecida no presente trabalho. Entretanto, caso o desenvolvimento da cultura fosse normal, quantidades maiores de nutrientes se fariam necessárias, o que poderia ter aumentado o efeito do carvão na aplicação de doses mais elevadas de fertilizantes.

Considerações finais

Como efeito imediato (de curto prazo), logo após incorporação em solo arenoso, a biomassa carbonizada melhorou as propriedades de fertilidade do solo, que pode ser, parcialmente, devido à adição de nutrientes ao solo junto com a biomassa carbonizada (carvão vegetal de eucalipto). A biomassa carbonizada também teve efeito positivo na produtividade do arroz e melhorou a eficiência de uso da fertilizante mineral.

Referências

- BALIGAR, V. C.; FAGERIA, N. K.; HE, Z. L. Nutrient use efficiency in plants. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 32, n.7/8, p. 921-950, 2001.
- CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D. de; REIS, E. F. dos; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. de. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, n. 1, p. 147-157, jan./fev. 2009.
- CLAESSEN, M. E. C. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPq, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPq. Documentos, 1).
- FAGERIA, N. K. Adubação e calagem. In: SANTOS, A. B. dos; STONE, L. F.; VIEIRA, N. R. de A. (Ed.). **A cultura do arroz no Brasil**. 2. ed. Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. p. 425-450.
- FAGERIA, N. K. Nutrient management for improving upland rice productivity and sustainability. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 32, n. 15/16, p. 2603-2629, 2001.
- FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Improving nutrient use efficiency of annual crops in Brazilian acid soils for sustainable crop production. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 32, n. 7/8, p. 1303-1319, 2001.
- FAGERIA, N. K.; SOUZA, N. P. de. Respostas das culturas de arroz e feijão em sucessão à adubação em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 30, n. 3, p. 359-368, mar. 1995.
- GLASER, B.; LEHMANN, J.; ZECH, W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soil in the tropic with charcoal – a review. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 35, n. 4, p. 219-230, Jun. 2002.
- GONÇALVES, W. G.; JIMENEZ, R. L.; ARAÚJO FILHO, J. V. de; ASSIS, R. L. de; SILVA, G. P.; PIRES, F. R. Sistema radicular de plantas de cobertura sob compactação de solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 67-75, jan./abr. 2006.
- GUIMARÃES, C. M.; MOREIRA, J. A. A. Compactação do solo na cultura do arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 4, p. 703-707, abr. 2001.
- KISHIMOTO, S.; SUGIURA, G. Charcoal as a soil condition. In: SYMPOSIUM ON FOREST PRODUCTS RESEARCH INTERNATIONAL: ACHIEVEMENTS AND THE FUTURE, 1985, Pretoria. **Proceedings...** Pretoria: National Timber Research Institute, 1985, v. 5, p. 22-26.
- LEHMANN, J.; SILVA, J. P. da; STEINER, C.; NEHLS, T.; ZECH, W.; GLASER, B. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. **Plant and Soil**, The Hague, v. 249, n. 2, p. 343-357, Feb. 2003.

MADARI, B. E.; CUNHA, T. J. F.; NOVOTNY, E. H.; MILORI, D. M. B. P.; MARTIN NETO, L.; BENITES, V. M.; COELHO, M. R.; SANTOS, G. A. Matéria orgânica dos solos antrópicos da Amazônia (terra preta de índio): suas características e papel na sustentabilidade da fertilidade do solo. In: TEIXEIRA, W. G.; KERN, D. C.; MADARI, B. E.; LIMA, E. N.; WOODS, W. I. **As terras pretas de índio da Amazônia**: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2009. p. 172-188.

NARDI, S.; PIZZEGHELLO, D.; MUSCOLO, A.; VIANELLO, A. Physiological effects of humic substances on higher plants. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 34, n. 11, p. 1527-1536, Nov. 2002.

OGUNTUNDE, P. G.; FOSU, M.; AJAYI, A. E.; GIESEN, N. V. Effects of charcoal production on maize yield, chemical properties and texture of soil. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 39, n. 4, p. 296-299, Mar. 2004.

SANTOS, A. B. dos; SILVA, O. F. da; FERREIRA, E. Avaliação de práticas culturais em um sistema agrícola irrigado por aspersão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 32, n. 3, p. 317-327, mar. 1997.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; OLIVEIRA, J. B. de; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

STEINER, C.; TEIXEIRA, W. G.; LEHMANN, J.; NEHLS, T.; MACÊDO, J. J. V. de; BLUM, W. E. H.; ZECH, W. Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil. **Plant and Soil**, The Hague, v. 291, n. 1/2, p. 275-290, Feb. 2007.

STONE, L. F.; SANTOS, A. B. dos; STEINMETZ, S. Influência de práticas culturais na capacidade de retenção de água do solo e no rendimento do arroz-de-sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 15, n. 1, p. 63-68, 1980.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; ANDRIOLI, I.; POLIDORO, J. C.; FABIAN, A. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n. 4, p. 609-618, jul./ago. 2005.

VAN ZWIETEN, L.; KIMBER, S.; MORRIS, S.; CHAN, K. Y.; DOWNIE, A.; RUST, J.; JOSEPH, S.; COWIE, A. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. **Plant and Soil**, The Hague, v. 327, n. 1/2, p. 235-246, Feb. 2010.

WESTERMAN, R. J.; TUCKER, T. C. Soil fertility concepts: past, present, and future. In: BOERSMA, L. L. (Ed.). **Future development in soil science research**. Madison: Soil Science Society of America, 1987. p. 169-179.

Comunicado Técnico, 197

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:
Embrapa Arroz e Feijão
Rod. GO 462 Km 12 Zona Rural Caixa Postal 179
75375-000 Santo Antônio de Goiás, GO
Fone: (62) 3533 2123
Fax: (62) 3533 2100
E-mail: sac@cnpaf.embrapa.br



Ministério da Agricultura,
Pecuária e Abastecimento



1ª edição
Versão online (2010)

Comitê de publicações

Presidente: Luís Fernando Stone
Secretário-Executivo: Luiz Roberto R. da Silva
Membro: Pedro Marques da Silveira

Expediente

Supervisão editorial: Camilla Souza de Oliveira
Revisão de texto: Camilla Souza de Oliveira
Normalização bibliográfica: Ana Lúcia D. de Faria
Tratamento das ilustrações: Fabiano Severino
Editoração eletrônica: Fabiano Severino