



Produtividade do arroz no sistema semeadura direta e atributos químicos e biológicos do solo⁽¹⁾

Luís Fernando Stone⁽²⁾; Sinnara Gomes de Godoy⁽³⁾; Enderson Petrônio de Brito Ferreira⁽⁴⁾; Mábio Chrisley Lacerda⁽⁵⁾; Alexandre Bryan Heinemann⁽⁶⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos da Embrapa.

⁽²⁾ Pesquisador; Embrapa Arroz e Feijão; Santo Antônio de Goiás, Goiás; bolsista do CNPq; luis.stone@embrapa.br; ⁽³⁾ Professor; Universidade Federal de Mato Grosso; sinnaragodoy@gmail.com; ⁽⁴⁾ Pesquisador; Embrapa Arroz e Feijão; enderson.ferreira@embrapa.br; ⁽⁵⁾ Pesquisador; Embrapa Arroz e Feijão; mabio.lacerda@embrapa.br; ⁽⁶⁾ Pesquisador; Embrapa Arroz e Feijão; alexandre.heinemann@embrapa.br.

RESUMO: O cultivo do arroz de terras altas no sistema semeadura direta tem sido de alto risco, apresentando muitas vezes menores produtividades em comparação ao sistema convencional. Informações sobre atributos do solo podem contribuir para determinar as condições de solo adequadas para o seu cultivo nesse sistema. Este trabalho objetivou identificar um conjunto de atributos do solo correlacionados com a produtividade do arroz, visando estabelecer o manejo de solo mais adequado ao cultivo desse cereal em semeadura direta. Em Santo Antônio de Goiás, GO, foi determinada a produtividade do arroz e retiradas amostras de solo na camada de 0,00-0,10 m de um Latossolo Vermelho ácrico, para determinação de atributos químicos e biológicos. Pela análise de regressão linear múltipla, os atributos do solo que melhor explicaram a produtividade foram o pH, os teores de cobre, manganês e carbono da biomassa microbiana, a capacidade de troca de cátions, a atividade da fosfatase ácida e a respiração basal do solo.

Termos de indexação: *Oryza sativa* L., qualidade do solo, Cerrado.

INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos poucos países do mundo onde o arroz de terras altas desempenha papel de fundamental importância no abastecimento interno desse grão para a população, atuando como regulador de preços.

Mesmo com os avanços tecnológicos alcançados nos últimos anos, em muitas regiões o arroz de terras altas continua sendo usado para o cultivo inicial de áreas de Cerrado e posterior substituição por soja ou pastagens, principalmente. Contudo, o sistema mais promissor para essa cultura seria a sua inserção como mais uma opção de rotação com a soja, em semeadura direta. O cultivo desse cereal em semeadura direta, entretanto, tem sido de alto risco. Alguns autores obtiveram menores produtividades nesse sistema quando comparado com o preparo convencional do solo (Santos et al.,

2007), tendo atribuído isso ao maior grau de compactação do solo. Entretanto, já foi demonstrado igual potencial produtivo do sistema convencional e da semeadura direta (Reis et al., 2007).

Informações sobre atributos do solo podem contribuir para determinar as condições de solo adequadas para o cultivo de arroz em semeadura direta. Dessa maneira, buscou-se com este trabalho identificar um conjunto de atributos químicos e biológicos do solo correlacionados com a produtividade do arroz, visando estabelecer o manejo de solo mais adequado ao cultivo desse cereal no sistema de semeadura direta.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido na Fazenda Capivara, da Embrapa Arroz e Feijão, situada no município de Santo Antônio de Goiás, GO, cujas coordenadas geográficas são: latitude 16° 28' 00" S, longitude 49° 17' 00" W e altitude de 823 m. O solo da área estudada é um Latossolo Vermelho ácrico, de textura argilosa, com teores médios de 307 g kg⁻¹ de areia, 153 g kg⁻¹ de silte e 540 g kg⁻¹ de argila, na camada de 0,00-0,10 m. A vegetação original era do tipo Cerradão.

O arroz foi conduzido em plantio direto sobre a palhada da soja cultivada no ano anterior, após dois anos de pastagem de *Brachiaria brizantha*. A linhagem Primavera CL 431 foi semeada em novembro de 2011, no espaçamento de 0,45 m, após 20 dias da dessecação da palhada com glifosato na dose de 4 L ha⁻¹. A adubação de base foi feita com 400 kg ha⁻¹ da fórmula 5-30-15 + 1% Zn e 13 dias após a semeadura foram aplicados em cobertura 45 kg ha⁻¹ de N, na forma de ureia. Aos 12 dias da semeadura foi aplicado o herbicida imazapyr + imazapic (100 g ha⁻¹ do p.c.) e aos 27 dias foram aplicados o fungicida cresoxim-metil + epoxiconazol (0,7 L ha⁻¹ do p.c.) e o fertilizante foliar organomineral Aminosan (1 L ha⁻¹).

Em fevereiro de 2012 foi realizada a colheita do arroz em uma área de 0,9 m², composta de duas linhas de 1,0 m, para determinação da produtividade. Na mesma ocasião também foi



realizada amostragem de solo para análise química e biológica na camada de 0,00-0,10 m, em 40 pontos na área, com quatro repetições. Procurou-se amostrar locais dentro da área onde a produtividade esperada era a mais divergente possível, na tentativa de se obter maior variabilidade, tanto da produtividade como dos atributos do solo.

Os atributos químicos avaliados foram o pH do solo e os teores de Ca, Mg, Al, H+Al, P, K, Cu, Zn, Fe e Mn, e calculados a capacidade de troca de cátions a pH 7 (CTC) e a saturação por bases (V). O pH foi determinado em água. O Al, Ca e Mg foram extraídos em KCl a 1 mol L⁻¹, sendo o primeiro determinado por titulação com NaOH 0,025 mol L⁻¹ e os dois últimos por titulação de EDTA. A acidez potencial (H+Al) foi determinada por titulometria, usando solução de acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ a pH 7 para sua extração. O P e K foram extraídos com a solução de Mehlich 1 (HCl a 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ a 0,0125 mol L⁻¹) e determinados em colorímetro e fotômetro de chama, respectivamente. Os micronutrientes foram determinados em espectrofotômetro de absorção atômica utilizando o extrator Mehlich 1. As análises laboratoriais foram realizadas de acordo com EMBRAPA (1997).

Os atributos biológicos avaliados foram carbono orgânico total do solo (COT), determinado pelo método de Walkley & Black (EMBRAPA, 1997), carbono (CBM) e nitrogênio (NBM) da biomassa microbiana, determinados, respectivamente, pelo método da fumigação-extração e pelo método de Kjeldhal, respiração basal do solo (RBS), determinada pela quantificação do CO₂ liberado durante a incubação do solo em sistema fechado, quocientes metabólico (qCO₂), obtido pela relação entre RBS e CBM, e microbiano (qMIC), obtido pela relação entre CBM e COT, atividade enzimática total do solo (AET) pelo método de hidrólise do diacetato de fluoresceína, atividades da β-glicosidase (ABG) e da fosfatase ácida (AFA) pelo método da determinação colorimétrica do p-nitrofenol, liberado pelas enzimas, quando o solo é incubado com os substratos específicos p-nitrofenil-beta-D-glicopironosídeo e p-nitrofenil-fosfato, respectivamente.

Para cada atributo estudado e para a produtividade foram calculadas medidas estatísticas descritivas e se determinaram correlações entre eles. Foi realizada também análise de regressão múltipla entre os atributos do solo e a produtividade. Para isso, primeiramente se verificou existência de colinearidade entre os atributos, eliminando-se aqueles que apresentaram correlações maiores que 85%. A análise de regressão múltipla foi aplicada considerando os demais atributos do solo e o resíduo analisado com a finalidade de verificar se a

distribuição era normal, por meio do gráfico “Q-Q plot” e do teste de normalidade de Shapiro-Wilk. Os valores residuais padronizados e os valores observados foram plotados para verificar a ausência de autorregressão e variância de erros constante. Após, aplicou-se o método “stepwise”, tendo adotado como critério o AIC (Akaike Information Criterion). Para executar os procedimentos descritos anteriormente se utilizou o programa estatístico R (R Development Core Team, 2014).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando as médias e as medianas (**Tabela 1**), o teor de alumínio classificou-se como baixo, os valores de pH e de acidez potencial como médios, a CTC como adequada (Freire, 2003) e os teores dos demais nutrientes como adequados ou altos (Souza & Lobato, 2004). O pH e a saturação por bases apresentaram médias de 5,9 e 47,6%, acima dos valores considerados adequados para a cultura do arroz, que são 5,6 e 40% (Fageria, 2001).

Tabela 1 - Medidas estatísticas descritivas dos atributos do solo estudado e da produtividade do arroz.

Atributo/ Produtividade ¹	Média	Mediana	Máximo	Mínimo
pH em água	5,9	6,0	6,8	5,1
Ca (mmol _c dm ⁻³)	28,9	31,7	47,5	8,0
Mg (mmol _c dm ⁻³)	12,2	14,0	20,2	2,6
Al (mmol _c dm ⁻³)	0,4	0,0	2,8	0,0
H+Al (mmol _c dm ⁻³)	44,4	45,6	64,0	23,2
P (mg dm ⁻³)	9,7	8,9	27,7	2,6
K (mg dm ⁻³)	73,3	69,2	136,5	38,5
Cu (mg dm ⁻³)	1,8	1,8	2,5	1,2
Zn (mg dm ⁻³)	4,5	4,6	6,2	2,5
Fe (mg dm ⁻³)	34,6	35,9	43,5	22,2
Mn (mg dm ⁻³)	38,8	40,8	74,4	9,2
CTC (mmol _c dm ⁻³)	87,4	88,7	110,0	62,7
V (%)	47,6	51,1	72,6	17,0
COT (g kg ⁻¹)	26,2	27,4	35,5	17,8
CBM (mg kg ⁻¹)	246,2	267,5	363,0	98,7
NBM (mg kg ⁻¹)	34,9	30,8	72,4	19,4
AET	134,2	86,3	354,3	49,7
ABG	34,6	34,0	78,2	9,2
AFA	274,8	265,1	767,0	109,6
RBS	0,9	0,9	1,9	0,4
qCO ₂	4,0	3,8	9,0	1,7
qMIC (%)	0,9	1,0	1,3	0,5
Produtividade	2554,0	2453,6	5858,9	874,2

¹AET em µg FDA g⁻¹ solo seco h⁻¹, ABG e AFA em µg p-nitrofenol g⁻¹ solo seco h⁻¹, RBS em mg C-CO₂ kg⁻¹ h⁻¹, qCO₂ em mg C-CO₂ kg⁻¹ CBM h⁻¹ e produtividade em kg ha⁻¹.

O COT situou-se na classe adequada de acordo com a classificação de Lopes et al. (2013). O CBM e



o NBM apresentaram valores médios de, respectivamente, 246,2 e 34,9 mg kg⁻¹ (**Tabela 1**). De acordo com Lopes et al. (2013), esse valor de CBM se enquadra na classe moderada. Santos et al. (2007) obtiveram produtividades de arroz de terras altas ao redor de 3.000 kg ha⁻¹ com manejos de solo que propiciaram teores de CBM entre 161 e 236 mg kg⁻¹, valores compatíveis com os verificados no presente trabalho. Em solo cultivado com cevada, Coser et al. (2007) obtiveram teores de NBM variando de 11,4 a 38,4 mg kg⁻¹, mesma ordem de valores deste trabalho.

Os valores médios da ABG e AFA foram, respectivamente, 34,6 e 274,8 µg p-nitrofenol g⁻¹ solo seco h⁻¹ (**Tabela 1**), valores enquadrados na classe baixa segundo Lopes et al. (2013). Ferreira et al. (2011), para a mesma classe de solo, no florescimento do milho cultivado sob semeadura direta após sorgo, encontraram valores da mesma ordem de grandeza para esses dois atributos e para a AET, 38,8 e 251,8 µg p-nitrofenol g⁻¹ solo seco h⁻¹ e 156,8 µg FDA g⁻¹ solo seco h⁻¹, respectivamente.

Os valores médios para a RBS e o qCO₂ foram, respectivamente, 0,9 mg C-CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ e 4,0 mg C-CO₂ kg⁻¹ CBM h⁻¹. Esse valor de RBS se enquadra na classe adequada, de acordo com Lopes et al. (2013). Esses valores foram superiores aos observados por Ferreira et al. (2011), indicando ambientes com maior grau de distúrbio ou estresse.

O qMIC, em condições normais, varia de 1 a 4% e valores inferiores a 1% podem ser atribuídos a algum fator limitante à atividade da biomassa microbiana (Jakelaitis et al., 2008). A média foi inferior a 1% (**Tabela 1**), indicando que em algumas situações a atividade dos microrganismos pode ter sido prejudicada.

A produtividade média foi de 2.554 kg ha⁻¹ (**Tabela 1**), acima da média de Goiás no ano de 2012, que foi de 2.125 kg ha⁻¹ (EMBRAPA, 2014).

Considerando todos os atributos do solo, os que melhor explicaram de maneira conjunta a produtividade do arroz (PROD) foram o pH, os teores de Cu, Mn e CBM, a CTC, a AFA e a RBS, sendo ajustada a seguinte equação de regressão linear múltipla, com R² de 0,67**:

$$\text{PROD} = 6294,1^* - 1219,9 \text{ pH}^{**} + 1468,1 \text{ Cu}^{**} + 36,4 \text{ Mn}^* + 5,8 \text{ CBM}^* - 50,3 \text{ CTC}^{**} + 4,3 \text{ AFA}^{**} + 1424,2 \text{ RBS}^{**}$$

A produtividade das culturas pode ser influenciada por vários fatores que não estão relacionados com a qualidade do solo, tais como clima, genótipo e ocorrência de pragas (Lopes et al., 2013). Assim, a obtenção de um conjunto de atributos do solo que explique 67% da produtividade pode ser considerada altamente satisfatória e

atribuída à escolha de áreas e locais com alta variabilidade nos atributos e na produtividade.

A correlação negativa da produtividade com o pH pode estar relacionada com o valor intrínseco desse atributo; o arroz de terras altas produz mais em pH medianamente ácido, ao redor de 5,4-5,6 (Fageria, 2001), ou ao seu efeito em outros atributos. A correlação entre o pH e o teor de Cu disponível foi negativa ($r = -0,44$; $p < 0,01$) e Godoy et al. (2015) constataram correlação positiva entre esse micronutriente e a produtividade do arroz. Além disso, quanto maior o pH maior a saturação por bases ($r = 0,98$; $p < 0,01$) e, como já mencionado, o arroz produz mais em saturação por bases menores, ao redor de 40% (Fageria, 2001). A CTC, pela sua correlação positiva com o pH ($r = 0,65$; $p < 0,01$), afetou os atributos mencionados de forma semelhante.

As correlações positivas da produtividade com os teores de Cu e Mn podem ser devidas ao fato do glifosato afetar a absorção desses micronutrientes pela formação de compostos insolúveis (Coutinho & Mazo, 2005) ou por alterar a comunidade microbiana (Zilli et al., 2008), assim, quanto maior o seu teor no solo, maior a disponibilidade para absorção pelo arroz. Johal & Huber (2009) constataram que o glifosato causou decréscimo na população de organismos redutores e aumento na de oxidantes de Mn na rizosfera. A maior população de organismos oxidantes favoreceu a transformação do Mn²⁺, forma ativa, absorvível pelas plantas, em Mn⁴⁺, forma inativa, não absorvível pelas plantas. Ogunremi et al. (1986) verificaram que altas produtividades de arroz de terras altas estavam associadas com a maior absorção de Cu e Mn nos estádios de máximo perfilhamento e floração.

A correlação da produtividade com o CBM pode ser explicada pelo fato de que maior quantidade de CBM reflete a presença de maior quantidade de matéria orgânica ativa no solo, capaz de manter elevada taxa de decomposição de restos vegetais e, portanto, de reciclar mais nutrientes. A correlação positiva entre CBM e produtividade também foi observada por Yusuf et al. (2009), para milho, e Lopes et al. (2013), para soja e milho.

A presença da AFA na equação pode ser devida a que, em algumas situações, a sua atuação mais efetiva na ciclagem do P orgânico tenha contribuído de forma relevante para a nutrição fosfatada do arroz, uma vez que os teores de P no solo variaram de muito baixo a alto. A AFA também apresentou correlação positiva com o CBM ($r = 0,36$; $p < 0,05$), o que é coerente, uma vez que as fosfatases originam-se predominantemente da biomassa microbiana. Lopes et al. (2013), considerando experimentos sobre manejo do P, verificaram



correlação positiva entre a AFA e a produtividade acumulada relativa de soja e milho.

No plantio direto, o acúmulo de matéria orgânica rica em frações lábeis na superfície do solo aumenta a biomassa microbiana e sua atividade e, conseqüentemente, aumenta a liberação de CO₂ (Santos et al., 2007), o que pode significar liberação de nutrientes para as plantas, justificando a correlação positiva da produtividade do arroz com a RBS.

Manejes que aportem matéria orgânica de boa qualidade e favoreçam a quantidade e a atividade dos microrganismos do solo provavelmente resultarão em maior produtividade do arroz. A presença de maior quantidade de matéria orgânica ativa no solo, capaz de manter elevada taxa de decomposição de restos vegetais e, portanto, de reciclar mais nutrientes refletirá em sua maior disponibilidade para o arroz. De acordo com Lopes et al. (2013), solos altamente produtivos apresentam altos níveis de biomassa e atividade microbiana, os quais, com o incremento do teor de matéria orgânica do solo, resultam em solos de alta qualidade.

CONCLUSÕES

O pH, os teores de Cu, Mn e CBM, a CTC, a AFA e a RBS são os atributos do solo que apresentam, conjuntamente, maior correlação com a produtividade do arroz.

REFERÊNCIAS

COSER, T. R.; RAMOS, M. L. G.; AMABILE, R. F. et al. Nitrogênio da biomassa microbiana em solo de Cerrado com aplicação de fertilizante nitrogenado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42:399-406, 2007.

COUTINHO, C. F. B. & MAZO, L. H. Complexos metálicos com o herbicida glifosato: revisão. *Química Nova*, 28:1038-1045, 2005.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solos. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa CNPS, 1997. 212p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Socioeconomia. Disponível em <<http://www.cnpaf.embrapa.br/socioeconomia/index.htm>>. Acesso em 23 set. 2014.

FAGERIA, N. K. Resposta de arroz de terras altas, feijão, milho e soja à saturação por base em solo de cerrado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 5:416-424, 2001.

FERREIRA, E. P. B.; WENDLAND, A. & DIDONET, A. D. Microbial biomass and enzyme activity of a Cerrado

Oxisol under agroecological production system. *Bragantia*, 70:899-907, 2011.

FREIRE, F. M. Interpretação de resultados de análise de solo. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 4p. Comunicado técnico, 82.

GODOY, S. G. de; STONE, L.F.; FERREIRA, E. P. de B. et al. Correlação entre produtividade do arroz no sistema semeadura direta e atributos do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19:119-125, 2015.

JAKELAITIS, A.; SILVA, A. A. da; SANTOS, J. B. dos et al. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 38:118-127, 2008.

JOHAL, G. S. & HUBER, D. M. Glyphosate effects on diseases of plants. *European Journal of Agronomy*, 31:144-152, 2009.

LOPES, A. A. de C.; SOUSA, D. M. G. de; CHAER, G. M. et al. Interpretation of microbial soil indicators as a function of crop yield and organic carbon. *Soil Science Society of America Journal*, 77:461-472, 2013.

OGUNREMI, L. T.; LAL, R. & BABALOLA, O. Effects of tillage and seeding methods on soil physical properties and yield of upland rice for an Ultisol in southeast Nigeria. *Soil & Tillage Research*, 6:305-324, 1986.

R Development Core Team. R: A language and environment for statistical computing. Vienna: R foundation for statistical computing, 2014. Disponível em <<http://www.R-project.org>>. Acesso em 25 jan. 2014.

REIS, M. de S.; SOARES, A. A.; CORNÉLIO, V. M. de O. et al. Comportamento de genótipos de arroz de terras altas sob sistemas de plantio direto e convencional. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 37:227-232, 2007.

SANTOS, T. E. B. dos; NAKAYAMA, F. T.; ARF, O. et al. Variáveis microbiológicas e produtividade do arroz sob diferentes manejos do solo e água. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 29:355-366, 2007.

SOUZA, D. M. G. & LOBATO, E. (ed.). Cerrado: Correção do solo e adubação. 2.ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416p.

YUSUF, A. A.; ABAIDOO, R. C.; IWUAFOR, E. N. et al. Rotation effects of grain legumes and fallow on maize yield, microbial biomass and chemical properties of an Alfisol in the Nigerian savanna. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 129:325-331, 2009.

ZILLI, J. E.; BOTELHO, G. R.; NEVES, M. C. P. et al. Efeito de glyphosate e imazaquin na comunidade bacteriana do rizoplane de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) e em características microbiológicas do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32:633-642, 2008.