

**ATRIBUTOS DO SOLO EM ÁREAS SOB CULTIVO SUCESSIVO DE
ARROZ DE TERRAS ALTAS EM SEMEADURA DIRETA: EFEITOS
SOBRE A PRODUTIVIDADE**

SINNARA GOMES DE GODOY FRANÇA

Orientador:

Dr. Luís Fernando Stone

Co-orientador:

Dr. Enderson Petrônio de Brito Ferreira

Goiânia, GO – Brasil
2013

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR
VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES E DISSERTAÇÕES
NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG**

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: Dissertação Tese

2. Identificação da Tese ou Dissertação:

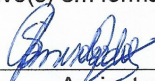
Nome completo do autor: SINNARA GOMES DE GODOY FRANÇA

Título do trabalho: ATRIBUTOS DO SOLO EM ÁREAS SOB CULTIVO SUCESSIVO DE ARROZ DE TERRAS ALTAS EM SEMEADURA DIRETA: EFEITOS SOBRE A PRODUTIVIDADE

3. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO¹

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF da tese ou dissertação.



Assinatura do(a) autor(a)²

Ciente e de acordo:



Assinatura do(a) orientador(a)²

Data: 02 / 12 / 2019

¹ Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

² A assinatura deve ser escaneada.

SINNARA GOMES DE GODOY FRANÇA

**ATRIBUTOS DO SOLO EM ÁREAS SOB CULTIVO SUCESSIVO DE
ARROZ DE TERRAS ALTAS EM SEMEADURA DIRETA: EFEITOS
SOBRE A PRODUTIVIDADE**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Goiás, como requisito parcial à obtenção do título de doutor em Agronomia, área de Concentração: Solo e Água.

Orientador:

Dr. Luís Fernando Stone

Co-orientador:

Dr. Enderson Petrônio de Brito Ferreira

Goiânia, GO – Brasil
2013

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

GPT/BC/UFG

G589	<p>Godoy, Sinnara Gomes de Godoy França. Atributos do solo em áreas sob cultivo sucessivo de arroz de terras altas em semeadura direta [manuscrito] : efeitos sobre a produtividade / Sinnara Gomes de Godoy França. - 2013. 77 f. : il.</p> <p>Orientador: Dr. Luís Fernando Stone. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia, 2013. Bibliografia. Inclui lista de figuras e tabelas</p> <p>1. <i>Oryza sativa</i> - Solo. 2. <i>Oryza sativa</i> – Latossolo – Cerrado. I. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU: 613.445.6:633.18</p>
-------------	--



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA



ATA DA REUNIÃO DA BANCA EXAMINADORA DA DEFESA DE TESE DE SINNARA GOMES DE GODOY FRANÇA - Aos treze dias do mês de setembro do ano de dois mil e treze (13.09.2013), às 14h00min, reuniram-se os componentes da Banca Examinadora: Dr. Luis Fernando Stone - Orientador/Presidente, Dr. Pedro Marques da Silveira, Prof^ª. Dr^ª. Maria Lucrécia Gerosa Ramos, Prof^ª. Dr^ª. Eliana Paula Fernandes Brasil e Dr. Mábio Chrisley Lacerda, para, em sessão pública realizada no Auditório do PPGA da EA/UFG, procederem à avaliação da defesa de Tese intitulada: **“Atributos do solo em áreas sob cultivo sucessivo de arroz de terras altas em semeadura direta: efeitos sobre a produtividade”**, de autoria de **Sinnara Gomes de Godoy França**, discente do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, na área de concentração em **Solo e Água**, em nível de **Doutorado**, da Universidade Federal de Goiás. A sessão foi aberta pelo presidente da Banca Examinadora, Dr. Luis Fernando Stone, que fez a apresentação formal dos membros da Banca. A palavra, a seguir, foi concedida a autora da Tese que, em 40 minutos, apresentou o seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da Banca arguiu a examinanda, tendo-se adotado o sistema de diálogo sequencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se à avaliação da defesa. De acordo com a Resolução nº 1051, de 09.09.2011 do CEPEC - Conselho de Ensino, Pesquisa, Extensão e Cultura, que regulamenta o Programa de Pós-Graduação em Agronomia, e desde que procedidas às correções recomendadas, a Tese será considerada **APROVADA** pela Banca Examinadora, estando integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **DOUTORA EM AGRONOMIA**, na área de concentração em **SOLO E ÁGUA**, pela Universidade Federal de Goiás. A doutoranda deverá efetuar as modificações sugeridas pela Banca Examinadora e encaminhar a versão definitiva da Tese à Secretaria do PPGA, no prazo máximo de trinta dias após a data da defesa. A conclusão do curso e a emissão do diploma dar-se-ão após o cumprimento do Artigo 69, § 1º e § 2º, da Resolução CEPEC nº 1051, de 09.09.2011. A Banca Examinadora recomenda a publicação de artigo(s) científico(s), oriundo(s) dessa Tese, em periódicos de circulação nacional e, ou, internacional, depois de efetuadas as modificações sugeridas. No caso da discente titulada não providenciar a publicação de seu trabalho final em forma de artigo(s) científico(s) no prazo de seis meses, após a data da defesa, serão aplicados os dispositivos do Artigo 70, § 1º e § 2º, da mesma Resolução. Cumpridas as formalidades de pauta, às 17h00min a presidência da mesa encerrou esta sessão de defesa de Tese e, para constar eu, Welinton Barbosa Mota, Secretário do PPGA, lavrei a presente Ata que depois de lida e aprovada, segue assinada pelos membros da Banca Examinadora, em quatro vias de igual teor.

Dr. Luis Fernando Stone
Presidente da Banca – Embrapa Arroz e Feijão

Dr. Pedro Marques da Silveira
Membro – Embrapa Arroz e Feijão

Prof.ª Dr.ª Eliana Paula Fernandes Brasil
Membro – EA/UFG

Prof.ª Dr.ª Maria Lucrécia Gerosa Ramos
Membro – UnB

Dr. Mábio Chrisley Lacerda
Membro – Embrapa Arroz e Feijão

OFEREÇO

A Deus, por me abençoar na conclusão deste trabalho

DEDICO

Aos meus pais Siney de Fátima Godoy e Eurípedes Amaro de Godoy, meu irmão Saulo Amaro de Godoy e ao meu esposo Theyllor França do Amaral, que tanto me incentivaram, apoiaram e me impulsionaram a seguir em frente; e ao meu filho amado Davi, que é o maior presente de Deus em minha vida.

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Luís Fernando Stone, pela oportunidade de cursar o doutorado sob sua orientação, pelo incentivo, confiança, competência e profissionalismo na realização deste trabalho.

Ao Dr. Enderson Petrônio de Brito Ferreira pela co-orientação e profissionalismo.

À Embrapa Arroz e Feijão pela concessão do laboratório para a realização deste trabalho de pesquisa e a todos seus funcionários.

Ao Dr. Mábio Chrisley Lacerda e ao Dr. Tarcísio Cobucci pela oportunidade no desenvolvimento do projeto de pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de doutorado.

Ao Laboratório de Microbiologia do solo e seus integrantes (Tatiana e Adriano), pela grandiosa ajuda e incentivo.

Ao Laboratório de Física e Química e do solo Laboratório de Análise foliar e seus integrantes (Adilson, Silvio e Roberto, Wesley e Diego) pelas análises realizadas.

A todos do departamento de apoio da Embrapa Arroz e Feijão que tanto me ajudaram na amostragem solo.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA) da Escola de Agronomia pela oportunidade de realizar este curso de doutorado e aos seus docentes, em especial Prof^a. Eliana Paula Fernandes, e discentes.

A todos os meus colegas e amigos do PPGA em especial a Janáina de Moura que tanto contribuiu com incentivo e apoio.

À minha família que tanto me incentivou a cada dia de minha jornada na obtenção do título de doutora em especial aos meus pais Siney e Eurípedes, meu irmão Saulo, vó Sinézia e Madrinha Senir.

Aos membros desta banca examinadora que aceitaram tão gentilmente o convite.

A todos de que de alguma forma contribuíram para a conclusão deste trabalho.

Ao meu esposo Theyllor França que sempre está ao meu lado me incentivando a seguir em frente.

*Ao meu filho amado, **DAVI GODOY DO AMARAL**, que todos os dias me incentiva com sorrisos e abraços, dizendo que ama a mamãe. Que é símbolo de vida e representação de um amor infinito.*

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	9
LISTA DE FIGURAS	10
GLOSSÁRIO	11
RESUMO	12
ABSTRACT	13
1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1 A CULTURA DO ARROZ	16
2.2 O SISTEMA DE SEMEADURA DIRETA	18
2.3 ATRIBUTOS DO SOLO.....	20
2.3.1 Atributos físicos	22
2.3.2 Atributos químicos	23
2.3.3 Atributos biológicos	26
3 MATERIAL E MÉTODOS	31
3.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS EXPERIMENTAIS	31
3.1.1 Amostragem de solo	33
3.1.2 Análise dos atributos físicos do solo	35
3.1.3 Análise dos atributos químicos do solo	35
3.1.4 Análise dos atributos biológicos do solo	36
3.1.5 Análise estatística dos dados	36
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1 COMPARAÇÃO ENTRE ÁREAS	38
4.1.1 Análise do primeiro componente principal	38
4.1.2 Análise do segundo componente principal	46
4.2 CORRELAÇÃO COM A PRODUTIVIDADE	49
5 CONCLUSÕES	61
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
ANEXO	75

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Histórico de semeadura do arroz de terras altas no Latossolo Vermelho ácido estudado. 32
- Tabela 2.** Valores médios iniciais dos atributos químicos do solo do Latossolo Vermelho ácido estudado na camada de 0,0 – 0,10 m..... 32
- Tabela 3.** Correlação entre cada componente principal e os atributos físicos, químicos e biológicos da camada de 0-0,10 m em três áreas sob cultivo sucessivo de arroz de terras altas sob sistema de semeadura direta do Latossolo Vermelho ácido submetido a diversos usos..... 39
- Tabela 4.** Média e desvio-padrão dos atributos físicos na camada de 0-0,10 m em três áreas sob cultivo sucessivo de arroz de terras altas sob sistema de semeadura direta do Latossolo Vermelho ácido submetido a diversos usos (n = 39). 40
- Tabela 5.** Média e desvio-padrão dos atributos químicos na camada de 0-0,10 m em três áreas sob cultivo sucessivo de arroz de terras altas sob sistema de semeadura direta do Latossolo Vermelho ácido submetido a diversos usos (n = 39). 42
- Tabela 6.** Média e desvio-padrão dos atributos biológicos na camada de 0-0,10 m em três áreas sob cultivo sucessivo de arroz de terras altas sob sistema de semeadura direta do Latossolo Vermelho ácido submetido a diversos usos (n = 39). 44
- Tabela 7.** Medidas estatísticas descritivas de três áreas sob cultivo sucessivo de arroz de terras altas sob sistema de semeadura direta dos atributos físicos do Latossolo Vermelho ácido estudado (n = 39)..... 50
- Tabela 8.** Medidas estatísticas descritivas de três áreas sob cultivo sucessivo de arroz de terras altas sob sistema de semeadura direta dos atributos químicos do Latossolo Vermelho ácido estudado (n = 39). 52
- Tabela 9.** Medidas estatísticas descritivas de três áreas sob cultivo sucessivo de arroz de terras altas sob sistema de semeadura direta dos atributos biológicos do Latossolo Vermelho ácido estudado e da produtividade do arroz (n = 39). 54
- Tabela 10.** Correlação de Pearson entre os atributos do solo e a produtividade do arroz de terras altas em três áreas sob sistema de semeadura direta (n = 39). 56

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Áreas cultivadas com arroz de terras altas em sistema de semeadura direta com alta (A), média (B) e baixa (C) produtividade esperada..... 33
- Figura 2.** Esquema de coleta de amostras de solo (ponto de 1 a 4) e linhas de cultivo do arroz de terras altas (A e B) sob sistema de semeadura direta. 34
- Figura 3.** Dendograma de agrupamento dos tratamentos construídos a partir da matriz de distâncias euclidianas médias. 49

GLOSSÁRIO

Al^{3+} - Alumínio ou Acidez trocável

Mn - Manganês disponível

Ca^{2+} - Cálcio trocável

Mg^{2+} - Magnésio trocável

S – Enxofre

P - fósforo disponível

H – Hidrogênio

O – Oxigênio

K^{+} - Potássio disponível

Fe - Ferro disponível

Mn - Manganês disponível

Cu - Cobre disponível

Zn - Zinco disponível

MO - Matéria Orgânica

BM - Biomassa Microbiana

C-BM - Carbono da Biomassa Microbiana do solo

N-BM - Nitrogênio da Biomassa Microbiana do solo

q_{MIC} - Quociente microbiano

COT - Carbono Total do Solo

Nt - Nitrogênio total

N-BM:Nt - Relação entre Nitrogênio da Biomassa Microbiana do solo e Nitrogênio total

DAF - Diacetato de fluoresceína

H + Al - Acidez potencial

CTC - Capacidade de Troca Catiônica

RP - Resistência à Penetração

V% - Saturação de bases

q_{CO_2} - Quociente metabólico do solo

RBS - Respiração Basal do Solo

AET - Atividade Enzimática Total do solo

ABG - Atividades da β -glicosidase

AFA - Atividades da Fosfatase Ácida

Fe - Ferro disponível

DMP - Diâmetro Médio Ponderado

PROD – Produtividade

RESUMO

SINNARA, G. G. F. **Atributos do solo em áreas sob cultivo sucessivo de arroz de terras altas em semeadura direta: efeitos sobre a produtividade.** 2013. 77f. Tese (Doutorado em Agronomia: Solo e Água)–Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013¹.

O cultivo do arroz de terras altas em semeadura direta tem apresentado baixa produtividade quando comparado ao sistema convencional, necessitando ainda de ajustes tecnológicos. Este trabalho objetivou identificar quais atributos do Latossolo Vermelho de Cerrado são mais impactados por cultivos sucessivos de arroz sob semeadura direta e qual o conjunto desses atributos que se correlaciona com a produtividade do arroz, a fim de se estabelecer condições de solo mais adequadas a essa cultura. Em fevereiro de 2011, em áreas cultivadas, respectivamente, por um, dois e três anos com arroz 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 do Latossolo Vermelho ácrico, para determinação de atributos físicos, químicos e biológicos. Aplicaram-se técnicas de análise multivariada dos dados obtidos demonstrando que os cultivos de arroz provocam alterações em todos os atributos, quando comparados à mata, com exceção dos teores de potássio e cobre, quocientes metabólico e microbiano ($qMIC$) e relação N da biomassa microbiana:N total (N-BM:N). Esses atributos e o teor de Mn são responsáveis por discriminar as áreas de cultivo sucessivo de arroz. Os atributos físicos possuem valores semelhantes entre as áreas. Os teores de Cu e Mn são maiores na área com um ano de cultivo de arroz, assim como $qMIC$ e N-BM:N. O quociente metabólico aumenta com os anos de cultivo de arroz, o que indica aumento da condição de estresse ou distúrbio na microbiota do solo. A produtividade apresenta correlação positiva com os teores de nitrogênio total, cobre, ferro, manganês, carbono e nitrogênio da biomassa microbiana, atividade enzimática total e da fosfatase ácida, quociente microbiano e relação N-BM:N, e negativa com a microporosidade e quociente metabólico. Pela análise de regressão linear múltipla, os atributos do solo que melhor explicam de maneira conjunta a produtividade foram os teores de cobre, ferro e nitrogênio da biomassa microbiana e a atividade da fosfatase ácida.

Palavras-chave: *Oryza sativa*; atributos físicos, químicos e biológicos; latossolo; Cerrado.

¹Orientador: Dr. Luís Fernando Stone. Embrapa Arroz e Feijão.

Co-Orientador: Dr. Enderson Petrônio de Brito Ferreira. Embrapa Arroz e Feijão.

ABSTRACT

SINNARA, G. G. F. **Soil attributes in areas under successive cultivation of upland rice under no-tillage: effects on productivity.** 2013. 77f. Thesis (Doctorate in Agronomy: Soil and Water)–Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013¹.

Upland rice cultivation under no-tillage has shown low productivity when compared to conventional tillage, requiring further technological adjustments. This study aimed to identify which attributes of an Oxisol of the Cerrado are most affected by successive rice crops under no-tillage and which is the set of these attributes that correlates to rice yield, in order to establish the most suitable soil conditions for this crop. In February 2011, in areas cropped with upland rice under no-tillage system by one, two and three years, respectively, at Santo Antônio de Goiás, GO, rice grain yield was determined and soil samples were taken from soil layer of 0.00 - 0.10 m of an Acric Red Latosol to determine soil physical, chemical and biological attributes. Multivariate analysis techniques were applied on data obtained and it showed that rice crops cause changes in all soil attributes compared to the forest, with the exception of K and Cu contents, metabolic and microbial ($qMIC$) quotients and microbial biomass N: total N relationship (MBN:N). These attributes and Mn content are responsible for discriminating the areas under successive rice crops. The physical attributes are very similar among areas. Cu and Mn contents are higher in the area with one year of rice cultivation, as well as $qMIC$ and MBN:N. The metabolic quotient increases with the years of rice cultivation, which indicates an increase in stress or disorder condition in the soil microbiota. Rice grain yield is positively correlated with total nitrogen, copper, iron, manganese, microbial biomass carbon and nitrogen contents, total enzymatic and acid phosphatase activities, microbial quotient and MBN:N relationship, and negatively correlated with microporosity and metabolic quotient. Based on multiple linear regression analysis, the soil attributes that together better explain the grain yield were copper, iron and microbial biomass nitrogen contents and acid phosphatase activity.

Key words: *Oryza sativa*; physical, chemical and biological attributes; latosol; Cerrado.

¹Adviser: Dr. Luís Fernando Stone. Embrapa Arroz e Feijão.

Co-Adviser: Dr. Enderson Petrônio de Brito Ferreira. Embrapa Arroz e Feijão.

1 INTRODUÇÃO

O cultivo do arroz (*Oryza sativa* L.) de terras altas assumiu papel importante como cultura pioneira no processo de ocupação agrícola do Cerrado, iniciado na década de 1960, precedendo à formação de pastagens ou durante o período de correção do solo para o plantio de outras espécies (Yokoyama, 1998). Com a progressiva redução das áreas de abertura, em meados da década de 1980, a área cultivada com arroz sob o sistema de sequeiro foi sendo gradativamente reduzida (Pinheiro et al., 2006).

Ao longo dos anos houve um decréscimo em 61 % da área semeada com arroz de terras altas, passando de 3,1 milhões de hectares em 1990 para 1,2 milhão de hectares em 2011 (Embrapa, 2013). O aumento verificado na produtividade (949 para 1982 kg ha⁻¹) não foi suficiente para compensar a perda na produção em razão da redução da área cultivada. Além disso, 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.

Contudo, mesmo com os avanços tecnológicos alcançados nos últimos anos, em muitas regiões o arroz de terras altas continua sendo usado para a domesticação da terra e posterior substituição por soja ou pastagens, principalmente. Neste contexto, o sistema mais promissor para essa cultura seria a sua inserção como mais uma opção de rotação com a soja, em semeadura direta. O sistema de semeadura direta tem se destacado como uma importante alternativa na produção de grãos com redução de impactos negativos ao ambiente, proporcionando maior preservação dos recursos solo e água (Moura Neto et al., 2001).

Entretanto, para a cultura do arroz de terras altas, ainda não se pode recomendar com segurança esse sistema de cultivo, exigindo ajustes e pesquisas nesse ambiente (Reis et al., 2007), tendo em vista que alguns autores obtiveram produtividades inferiores em semeadura direta, quando comparado com o preparo convencional do solo (Kluthcouski et al., 2000; Santos et al., 2007), relacionando este fato a um maior grau de compactação do solo. Entretanto, já foi demonstrado potencial produtivo semelhante do

sistema convencional e do semeadura direta (Reis et al., 2007).

Nascente (2012) e Soares (2004) enfatizam que o melhor desenvolvimento do arroz em ambiente com maiores teores de NH_4^+ em relação ao NO_3^- no início de seu desenvolvimento e que, no sistema de semeadura direta, há o favorecimento do processo de nitrificação, e, portanto, maior disponibilidade de nitrato, o que pode levar à redução da produtividade dessa cultura. Assim, cresce a necessidade de se dispor de informações acerca do manejo da cultura do arroz de terras altas sob semeadura direta.

Ademais, quando o arroz de terras altas é cultivado em monocultivo por dois anos ou mais na mesma área, ocorre queda acentuada da sua produtividade em relação ao primeiro cultivo (Ventura et al., 1984; George et al., 2002; Fageria & Baligar, 2003). Informações sobre atributos do solo sejam estes físicos, químicos ou biológicos, podem contribuir para determinar com maior precisão as condições de solo mais adequadas para o cultivo de arroz em semeadura direta.

Contudo, devido à inter-relação entre os atributos do solo, torna-se difícil estabelecer relações de causa e efeito entre atributos isolados e a produtividade do arroz de terras altas. Dessa maneira, os objetivos desse trabalho foram determinar quais atributos do Latossolo Vermelho ácrico de Cerrado são mais impactados por cultivos sucessivos de arroz de terras altas e identificar qual o conjunto de atributos do solo possam explicar a produtividade desse cereal no sistema de semeadura direta.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A CULTURA DO ARROZ

O arroz (*Oryza sativa* L.) é uma das plantas cultivadas mais antigas do mundo. Sua história se confunde com a trajetória da própria humanidade, não sendo possível determinar com precisão a época em que o homem começou a cultivá-lo (Pereira, 2002). É um dos cereais mais cultivados do mundo e, segundo dados da FAO (2013), a produção mundial alcançou o recorde de 722 milhões de toneladas, na safra de 2011, quando produtividade média foi de 4.403 kg ha⁻¹.

O consumo anual no Brasil é, em média, 25 quilos por habitante. Entre 1975 e 2005, o Brasil reduziu em torno de 26% a área de plantio e, mesmo assim, aumentou sua produção de arroz em 69%, graças ao aumento de 128% na produtividade média. O crescimento da produção permitiu ao país tornar-se autossuficiente em arroz na safra 2003/2004 e, em 2005, chegou a exportar 272 mil toneladas de arroz. Atualmente apenas 5% da produção nacional é destinada à exportação (Mapa, 2013).

O arroz é um dos cereais mais importantes para o homem, e constitui na alimentação básica para mais de três bilhões de pessoas. Ao contrário de outros cereais, o arroz é consumido quase que exclusivamente por humanos. Estima-se que o arroz é capaz de suprir 20% da energia e 15% da proteína da necessidade diária de um adulto, além de conter fibras, vitaminas e minerais assumindo importante contribuição na alimentação diária da população mundial (Guimarães et al., 2006a).

Considerado como uma espécie hidrófila, o arroz é cultivado em solos secos e inundados, em ambientes de baixa e alta temperatura e em muitas classes de solo, sendo os fatores ambientais mais relevantes para a cultura: o regime de água, a temperatura e o solo, incluindo textura, drenagem e topografia (Barrigossi et al., 2004). Assim, existem dois grandes tipos de sistemas de produção de arroz: o de várzeas, irrigado por inundação controlada, e o de terras altas, englobando o sistema sem irrigação e com irrigação suplementar por aspersão (Guimarães et al., 2006a).

O sistema de produção de arroz irrigado ocupa cerca de 1,3 milhão de hectares, sendo o Rio Grande do Sul o maior produtor, o qual contribui com 75,9%, seguido de Santa Catarina 12,7%, Tocantins 3,9% e Mato Grosso do Sul 2,5% (Guimarães et al., 2006a). Já o sistema de produção de arroz de terras altas concentra-se, principalmente, na região Centro-Oeste, estados do Mato Grosso e Goiás; região Norte, Estados do Tocantins, Roraima e Pará e região Nordeste, Estado do Maranhão (Lanna et al., 2012); e corresponde a cerca de 65% do total cultivado no Brasil, contudo, sua produtividade é baixa, representando apenas 41% da produção nacional (Conab, 2013)

A maior parcela da produção de arroz do país é proveniente do ecossistema várzeas, em que a orizicultura irrigada é responsável por aproximadamente 69% da produção nacional, sendo considerada um estabilizador da safra nacional, por não ser tão dependente das condições climáticas como no caso dos cultivos de terras altas. No Brasil, existem 33 milhões de hectares de várzeas, com topografia e disponibilidade de água propícias à produção de alimentos, dos quais apenas 3,7% são utilizados para a orizicultura. Por suas características especiais, o sistema de várzeas requer solos planos e com pouca drenagem vertical a fim de garantir a manutenção de uma lâmina de água sobre a sua superfície durante todo ou parte do ciclo da cultura e em abundância (Guimarães et al., 2006a).

O arroz de terras altas teve destaque nos sistemas de produção usados na abertura do bioma Cerrado, como cultura pioneira e na ocupação de fronteiras agrícolas. Na época, este sistema ainda era caracterizado pelo baixo custo de produção, consequência da baixa adoção das técnicas e práticas recomendadas, o que resultava na baixa produtividade média do sistema (Dias et al., 2010). No Brasil, ele tem sido cultivado em áreas de pastagens degradadas, pois, tem boa tolerância a solos ácidos, sendo usado como meio de recuperação desses solos.

O sistema de produção de arroz em terras altas é dependente do regime de chuva, sendo mais comum na Ásia, na América Latina e na África. Em nível mundial, a média de produtividade do arroz de terras altas é inferior a 2.000 kg ha⁻¹, enquanto a média de produtividade do arroz irrigado está em torno de 4.500 kg ha⁻¹. Entretanto, apesar de sua produtividade ser inferior ao do arroz irrigado, este sistema representa vantagens devido ao seu baixo custo de produção e reduzido consumo de água (Barrigossi et al., 2004). Como cultura largamente difundida no Brasil, o arroz de terras altas ocupa em torno de 60% da área cultivada com arroz, contudo, corresponde aproximadamente a 40% de produção de

arroz em casca (Rodrigues et al., 2004) e tem sido cultivado em praticamente todos os Estados e, em alguns deles, constituindo a principal fonte de renda agrícola, sendo totalmente dependente de oscilações climáticas (Santana et al., 2004).

Apesar da cultura do arroz de terras altas ter sido utilizada como cultura desbravadora do Cerrado, tem sido observado que a produtividade do arroz, em solos desse bioma, mantém-se ou decresce ligeiramente no segundo ano de monocultivo e reduz a níveis muito baixos em anos subsequentes (Ventura et al., 1984; George et al., 2002; Fageria & Baligar, 2003). Além disto, apenas um ano de rotação com soja não é o suficiente para elevar a produtividade do arroz ao nível observado no primeiro ano de cultivo a despeito das condições favoráveis de água e nutrientes (Ventura et al., 1984; George et al., 2002).

Essa queda na produtividade do arroz tem sido atribuída a efeitos alelopáticos (Guimarães & Yokoyama, 1998; Fageria & Baligar, 2003), que é definido como qualquer efeito prejudicial, direto ou indireto, de uma planta sobre outra, por meio da produção de compostos químicos liberados no solo. Para a cultura do arroz, em que o efeito ocorre sobre ele próprio, o termo mais adequado é autotoxicidade (Soares, 2004). Segundo Ventura et al. (1984), os danos causados ao arroz por cultivos sucessivos envolvem a presença de micro-organismos, uma vez que a colocação de resíduos radiculares coletados em área de cultivo sucessivo em uma área nova causou decréscimo na produtividade, o que não ocorreu quando os resíduos foram esterilizados.

O arroz de terras altas também tem apresentado produtividade aquém da desejada quando cultivado em semeadura direta. Soares (2004) relatou que a planta apresenta pequeno desenvolvimento do sistema radicular, com redução da resistência à seca e menor número de perfilhos e de panículas por área, além de diminuir o desenvolvimento, sobretudo durante a fase vegetativa, quando comparado ao sistema convencional.

2.2 O SISTEMA DE SEMEADURA DIRETA

O sistema de semeadura direta (SSD), referido pela grande maioria dos autores como plantio direto, tem-se destacado como alternativa importante na produção de grãos ao permitir o cultivo sem que haja grandes impactos ao ambiente, concorrendo para maior

preservação dos recursos solo e água. Trata-se de um sistema de produção conservacionista, que se contrapõe ao sistema tradicional de manejo e que se fundamenta na ausência de preparo do solo e na cobertura permanente do terreno pela realização de rotação de culturas (Embrapa, 2011).

A adoção da semeadura direta como sistema de uso e manejo dos solos implica na manutenção dos restos vegetais na superfície, o que lhe proporciona cobertura suficiente para dissipação da energia cinética das gotas de chuva e barreiras para o escoamento superficial das águas, diminuindo a degradação das terras pela erosão (Rheinheimer et al., 1998), além do aporte de matéria orgânica ao solo, a qual é responsável pela manutenção e melhoria das propriedades físicas do solo (Lal & Greenland, 1979; Castro Filho et al., 1998), assumindo assim, grande importância para os solos do Cerrado, que, em geral, apresentam-se muito suscetíveis à erosão e com baixo teor de matéria orgânica (Moura Neto et al., 2001). Apesar disto, a utilização contínua do não revolvimento do solo na semeadura direta pode resultar em compactação da camada superficial e, portanto, uma redução na porosidade total do solo e elevação da densidade (Goedert et al., 2002; Stone et al., 2002; Cruz et al., 2003; Bertol et al., 2004).

A permanência dos restos culturais no solo após a colheita resulta em uma menor taxa de mineralização do que quando incorporados (Bortoluzzi & Eltz, 2000), a qual, associada a maiores incrementos de carbono e nitrogênio, eleva seus teores no solo, concomitantemente a elevação da atividade microbiológica do solo e alterações em algumas propriedades físico-químicas, como a capacidade de troca catiônica e as formas de fósforo, quando comparado ao sistema convencional.

No entanto, em áreas em que o sistema tenha sido implantado recentemente, ou que seja rico em palhada com alta relação C/N, têm sido recomendadas aplicações de doses mais elevadas de nitrogênio na semeadura para compensar a menor disponibilidade inicial deste nutriente no solo (Guimarães, 2003). De acordo com Fiorin (1999), no início da decomposição dos resíduos, principalmente de espécies com alta relação C/N, há um pico de imobilização, ocorrendo o consumo de nitrogênio mineral do solo, dos restos vegetais, da matéria orgânica e da adubação. No decorrer do tempo, há o restabelecimento das transformações que ocorrem no solo e estes processos começam a liberar o nitrogênio, que estava imobilizado para o sistema. No SSD a imobilização microbiana é a responsável pela menor absorção de nitrogênio nesse sistema, podendo causar, quando muito severa, deficiência desse nutriente em culturas anuais de grãos, com reflexos na produtividade.

Kitur et al. (1984) verificaram que aproximadamente 50% do nitrogênio imobilizado encontravam-se na camada superficial (0,05 m), em que o teor de matéria orgânica e a atividade microbiana eram maiores, consumindo parte do nitrogênio que seria destinado à cultura.

Soares (2004) relatou que o nitrogênio é o principal fator limitante da produtividade do arroz de terras altas sob semeadura direta e não o efeito alelopático. Isto ocorre pois o arroz sofre intensa carência de nitrogênio amoniacal, quando a imobilização é maior que a mineralização, visto que, no primeiro mês de vida a planta não produz, ou produz de forma incipiente, a enzima redutase do nitrato. Além disso, nesse sistema, por não haver revolvimento do solo, a densidade é maior e a aeração menor, implicando numa lenta decomposição da matéria orgânica do solo, com conseqüente liberação lenta de nitrogênio amoniacal.

Entretanto, alguns autores levantam outras causas para a limitação da produtividade do arroz terras altas em SSD, como a compactação do solo, em virtude do não revolvimento e da movimentação das máquinas e dos implementos agrícolas usados nas várias etapas do processo produtivo (Derpsch et al., 1991; Urchei, 1996; Kluthcouski et al., 2000; Guimarães & Moreira, 2001; Moura Neto et al., 2001; Stone & Silveira, 2001), além da planta de arroz possuir sistema radicular muito sensível à compactação do solo, com menor capacidade de explorar o perfil de solos compactados (Guimarães et al., 2006b).

Apesar dos impasses na cultura do arroz de terras altas na semeadura direta, alguns autores constataram a viabilidade nesse sistema (Moura Neto et al., 2001; Guimarães et al., 2006b; Nascente et al., 2011), demonstrando que os fatores inerentes à produtividade necessitam de melhor compreensão para viabilizar essa cultura nesse sistema. Assim, para a cultura do arroz de terras altas, ainda não se pode recomendar com segurança esse sistema de semeadura, principalmente por não se dispor ainda de dados suficientes de pesquisa.

2.3 ATRIBUTOS DO SOLO

O desenvolvimento das plantas será favorecido mediante a melhoria na qualidade do solo, que deve ser vista como a capacidade ou especificidade do solo em

exercer várias funções de maneira sustentável dentro dos limites do uso da terra e do ecossistema, de modo a manter ou melhorar a qualidade ambiental e contribuir para a saúde das plantas e, dos animais, entres eles o homem (Doran & Parkin, 1994; Santana & Bahia Filho, 1998).

Os atributos do solo constituem uma ferramenta para agregação e simplificação de informações que poderão mensurar sua qualidade (Sands & Podmore, 2000). Tais atributos podem ser úteis para o monitoramento do estado geral do solo e identificar as práticas de manejo mais adequadas (Tótola & Chaer, 2002).

Entretanto, os atributos não podem ser medidos individualmente para descrever e quantificar todos os aspectos da qualidade do solo, devendo estar vinculados um ao outro nas diversas funções do solo e servir para assimilar mudanças desejáveis ou não que tenham ocorrido, ou que possam ocorrer no futuro (Stenberg, 1999; Tótola & Chaer, 2002).

Dentre os atributos físicos que podem ser usados para avaliar a qualidade do solo, destacam-se aqueles que envolvem retenção e transmissão de ar, nutrientes e calor às sementes e plantas, tais como a densidade, textura e espaço poroso do solo (Hamblin, 1986). Entre os atributos químicos de maior importância para a avaliação da qualidade do solo destacam-se a capacidade de troca catiônica, pH, conteúdo de carbono orgânico total e/ou matéria orgânica e disponibilidade de nutrientes. E, entre os atributos biológicos que apresentam grande potencial de utilização por serem sensíveis ao estado ecológico do solo, destacam-se o carbono e nitrogênio da biomassa microbiana e a atividade de microrganismos (atividade metabólica), tais como a taxa de respiração (perda de C na forma de CO₂) e atividade enzimática total (Silva & Mendonça, 2007). Em decorrência de sua atuação, a população microbiana possui uma rápida capacidade de resposta, em tempo relativamente curto, às mais diferentes práticas de manejo. Em outras palavras, os atributos biológicos são capazes de detectar mudanças no solo antes mesmo que elas sejam observadas nas propriedades físicas e químicas do solo (Powlson et al., 1987; Sparling, 1992).

Neste contexto, os atributos da qualidade do solo são importantes especialmente para que sejam compartilhados com agricultores, permitindo que eles avaliem os possíveis fatores limitantes da produção em suas propriedades, integrando-os no trabalho de monitoramento da evolução ou regressão da sustentabilidade dos sistemas de produção (Reichert et al., 2003).

2.3.1 Atributos físicos

Segundo Mendes et al. (2006), o uso de atributos físicos do solo para estudo de sua qualidade apresenta vantagens relacionadas ao baixo custo, metodologias simples e rápidas e relação direta com os demais atributos químicos e biológicos do solo. Reichert et al. (2003) destacaram que, em física do solo, a qualidade física do solo está associada àquele solo que permite a infiltração, retenção e disponibilidade de água às plantas, córregos e superfícies; responde ao manejo e resiste à degradação; permite as trocas de calor e de gases com a atmosfera e raízes de plantas; e permite o crescimento de raízes.

O manejo inadequado do solo pode levar à compactação da camada mais superficial e, conseqüentemente, à redução na eficiência da ciclagem de nutrientes mediada por micro-organismos, visto que a decomposição anaeróbia é mais lenta e menos eficiente que a aeróbia (Ferreira, 2005), como consequência tem-se uma redução da produtividade das culturas (Oliveira et al., 2003). Dessa forma os micro-organismos contribuem para a estabilidade dos ecossistemas, atuando em diferentes níveis tróficos, em interações bióticas e abióticas, e biogeosfera na alteração de constituintes atmosféricos gasosos (Canhos et al., 1999). Assim, quanto melhor a estrutura do solo, maior a quantidade de biomassa microbiana ativa, maior a quantidade de substâncias facilmente trocáveis no solo, maior a quantidade de nutrientes mineralizados e disponibilizados para as plantas, provenientes da matéria orgânica (Ferreira, 2005).

A compactação do solo é um processo de densificação resultante de cargas aplicadas na sua superfície. Neste processo, ocorre um aumento da resistência do solo à penetração e redução da porosidade total e, por consequência, da macroporosidade, da permeabilidade e da infiltração de água (Kayombo & Lal, 1986; Carter, 1990; Soane & Ouwerkerk, 1994; Silva et al., 2000a).

O sistema radicular das culturas apresenta diferentes graus de tolerância à compactação, contudo, de maneira generalizada, as plantas respondem a valores críticos, a partir dos quais se iniciam restrições ao seu desenvolvimento (Silva et al., 2000b). Diferentes valores de atributos físicos restritivos ao crescimento de plantas têm sido indicados na literatura. Taylor et al. (2002) consideram valores de resistência à penetração superiores à 2MPa impeditivos ao crescimento e ao funcionamento do sistema radicular. Entretanto, não existem informações precisas que indiquem valores de densidade restritiva ao desenvolvimento radicular das plantas. Mendes et al. (2006) relatam que a densidade do

solo pode assumir valores em torno de 1,0; 1,1 e 1,3 Mg m⁻³ em solos sem interferência antrópica, em solos cultivados ou sob intenso tráfego, respectivamente.

A porosidade do solo destaca-se como um dos atributos mais importantes em relação ao desempenho dos sistemas de manejo sobre a produtividade das culturas (Tormena et al., 1998). É expressa pela fração do volume ocupado com solução e ar do solo, é de grande importância aos processos físicos, químicos e biológicos, como infiltração, condutividade, drenagem, retenção de micro-organismos, raízes e pelos absorventes (Moreira & Siqueira, 2002).

Com relevante contribuição na avaliação da qualidade física do solo, sobretudo pelo grande potencial para ser usado em avaliações da interação entre manejo e física do solo, o índice S, proposto por Dexter (2004a, 2004b, 2004c), é definido como a declividade da curva característica de retenção da água do solo em seu ponto de inflexão. Este índice, além de ser de cálculo fácil, representa a distribuição do tamanho de poros de maior frequência e torna possível a comparação direta entre diferentes solos e efeitos de diferentes práticas de manejo na qualidade física do solo. A maior declividade S no ponto de inflexão é resultante, principalmente, da maior porosidade estrutural (microfendas, fendas, bioporos e macroestruturas produzidos pelo preparo do solo) e, portanto, o índice S reflete diretamente muitos dos principais atributos físicos do solo (Dexter, 2004a).

Dexter (2004a) propôs ainda que haja um limite entre uma boa e pobre qualidade estrutural do solo de aproximadamente 0,035 e, valores de S inferiores a 0,020 denotam solos em más condições físicas. Entretanto, Andrade & Stone (2009) demonstraram que o limite de S = 0,045 é adequado à divisão entre solo de boa qualidade estrutural e solos com tendência a se tornar degradado, enquanto valores de S ≤ 0,025 indicam solos inteiramente degradados fisicamente.

2.3.2 Atributos químicos

A análise química do solo é reconhecidamente o mais popular instrumento utilizado pelos agricultores para obter informações sobre as condições do solo e tomada de decisões referentes às ações de manejo e preparo. Tais atributos incluem medições de pH, salinidade, matéria orgânica, disponibilidade de nutrientes e água para as plantas, capacidade de troca de cátions, ciclagem de nutrientes e concentração de elementos que

podem ser potencialmente contaminantes (metais pesados, compostos radioativos, etc.) ou aqueles que são essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas (Santana & Bahia Filho, 1998).

De maneira geral, o crescimento da maioria das plantas é favorecido em pH na faixa de 5,5 a 6,5. Em valores abaixo de 5,5 podem ocorrer danos ao crescimento em razão de elevadas concentrações de elementos potencialmente tóxicos, como Al e Mn; e redução da disponibilidade de alguns nutrientes para as plantas. Os macronutrientes, como N, K, Ca, Mg e S, por efeitos indiretos, apresentam maior disponibilidade para as plantas em pH na faixa de 6-6,5; já o P, na maioria de solos brasileiros, é muito pouco disponível em condições de acidez (Meurer, 2006). Em relação aos micronutrientes no solo, esses ocorrem em teores muito baixos no solo e são muito influenciados por características do meio, como a textura, mineralogia e o teor de matéria orgânica do solo (Lopes, 1999).

Para um crescimento saudável das plantas é necessário um alto teor de elementos biogênicos, tais como Carbono (C) e Nitrogênio (N) e, a fim de suprir essa necessidade, as plantas retiram esses nutrientes da atmosfera e do solo. Porém, ambos têm estoque limitado, todavia torna-se possível essa sustentação das plantas pelo sistema contínuo de reabastecimento no estoque de CO₂ e dos minerais necessários às plantas, além da capacidade de reciclagem biológica, ou seja, as atividades dos vários micro-organismos telúricos que produzem e transformam os minerais em formas assimiláveis para as plantas (Vargas & Hungria, 1997).

O nitrogênio é encontrado na natureza como gás (N₂) muito pouco reativo ou combinado com outros elementos, principalmente O, H e C em ligações covalentes. Os íons NH₄⁺, NO₃⁻ e NO₂⁻ podem ser facilmente determinados por destilação ou colorimetria. As plantas absorvem a maior parte do N em forma de íons NH₄⁺ ou NO₃⁻ e, com exceção do arroz, os cultivos agrícolas absorvem a maior parte do N como NO₃⁻ (Dechem & Nachtigall, 2007).

No caso especial do arroz, na fase inicial de seu crescimento há uma baixa capacidade de redução do N-NO₃⁻, o que, devido às condições favoráveis ao processo de nitrificação, seria a forma de N mineral predominante na camada superficial de solos sob cultivos agrícolas. O não aproveitamento do N-NO₃⁻ na fase inicial do crescimento seria em razão da baixa atividade da enzima redutase do nitrato, a qual converte nitrato em nitrito, para então a redutase do nitrito converter o nitrito em amônio, a fim de esse último ser incorporado em compostos orgânicos (Soares, 2004).

Para Fageria et al. (1995), o nitrogênio é o nutriente de maior acúmulo para a cultura do arroz de terras altas, seguindo o K>P>Ca>Mg>Fe>Mn>Zn>Cu, sendo que, para produzir uma tonelada de grãos de arroz são extraídos 47 kg de N, 34 kg de K, 7,5 kg de P, 5,5 kg de Ca, 4,5 kg de Mg, 1.043 g de Fe, 377 g de Mn 96 g de Zn, 23 g de Cu do solo.

O carbono total nos solos é a soma do C orgânico e inorgânico, sendo a maior parte do C orgânico presente na fração da matéria orgânica do solo, enquanto o carbono inorgânico é amplamente encontrado nos minerais carbonatados como calcita e dolomita. A matéria orgânica (MO) do solo pode ser dividida em matéria orgânica viva e matéria orgânica morta. O componente morto pode chegar a 98% do C orgânico total e o componente vivo raramente atinge 4% e pode ser subdividido em três compartimentos: raízes das plantas (5 a 10%), macro-organismos ou fauna (5 a 30%) e micro-organismos (60 a 80%) (Moreira & Siqueira, 2002).

Considerado como um componente importante da qualidade do solo, a matéria orgânica é favorecida em solos com vegetação nativa, naqueles com teores mais elevados de argila e em solos sob cultivo mínimo. Por outro lado, o teor de MO é geralmente baixo em solos cultivados, nos arenosos ou degradados pela erosão ou por contaminação por substâncias orgânicas tóxicas ou metais pesados (Moreira & Siqueira, 2002).

Quando resíduos de plantas são adicionados ao solo, os micro-organismos iniciam sua decomposição. A importância biológica da MO é evidenciada pelo fato de que ela influi no crescimento e no desenvolvimento de micro-organismos, sobretudo quando são adicionados materiais orgânicos ricos em C e pobres em nutrientes minerais (Mello et al., 1989; Zamberlam & Francheti, 2001).

A matéria orgânica, além de estimular o desenvolvimento e a atividade dos micro-organismos e ser, ao mesmo tempo, fonte de energia e nutrientes, atua, também, protegendo e mantendo as enzimas do solo em suas formas ativas, pela formação de complexos enzima-compostos húmicos (Deng & Tabatabai, 1997). Além disso, durante a transformação da matéria orgânica, ocorre a formação de uma série de compostos orgânicos complexos com capacidade de reter os nutrientes por maior período de tempo, que vão sendo liberados à medida que esses compostos vão sendo hidrolisados e colocados à disposição das plantas. Por exemplo, a matéria orgânica no solo contém a maioria das reservas de N para a nutrição das plantas, bem como larga proporção do P e S. Essas reservas, entretanto, exceto em ambientes naturais, não atingem um regime de equilíbrio dinâmico imutável, uma vez que são o resultado das taxas simultâneas de adição de

materiais frescos e de sua decomposição, tanto dos materiais adicionados como dos materiais humificados no solo (Eira, 1995).

2.3.3 Atributos biológicos

Diferentemente do que ocorre com os atributos químicos referentes à fertilidade do solo, cujos níveis (muito baixo, baixo, médio, adequado e alto) já estão previamente estabelecidos para cada nutriente e tipo de solo e cultura, a base de informações disponíveis para os atributos biológicos ainda é muito pequena. Neste contexto as dificuldades de interpretação desses atributos ainda constituem um dos grandes obstáculos no uso dessas variáveis nas avaliações de qualidade do solo (Tótola & Chaer, 2002), sabendo que os níveis biológicos de qualidade podem variar conforme o tipo de solo e cultura. Recentemente, Lopes et al. (2013) propuseram tabelas de interpretação estabelecendo, pela primeira vez, valores referenciais para indicadores biológicos de latossolos argilosos do Cerrado baseados no rendimento de culturas, no caso milho e soja.

A biomassa microbiana (BM) representa parte da fração viva da matéria orgânica do solo, composta por todos os organismos menores que $5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^3$, como fungos, bactérias, actinomicetos, leveduras e outros componentes da microfauna. A biomassa microbiana é a principal fonte de enzima, sendo assim responsável pela quase totalidade da atividade biológica no solo, catalisando as transformações bioquímicas, representando fonte e dreno de carbono e troca de nutrientes entre a atmosfera e o ecossistema solo-planta (Moreira & Siqueira, 2002). Mudanças significativas na quantidade de biomassa podem ser detectadas muito antes que alterações na matéria orgânica total possam ser percebidas, possibilitando a adoção de medidas de correção antes que a perda da qualidade do solo seja mais severa. Dessa forma, o monitoramento das alterações nos níveis de biomassa microbiana do solo é uma medida adequada para determinar se um conjunto de práticas é sustentável (Tótola & Chaer, 2002).

A BM é um dos componentes que controlam funções-chaves no solo, como a decomposição e o acúmulo de matéria orgânica representando assim, um importante compartimento de armazenamento e ciclagem de nutrientes (Godoi, 2001). Conseqüentemente, solos que mantêm alto conteúdo de BM são capazes não somente de estocar mais nutrientes, como também de ciclar mais nutrientes através do sistema.

Ademais, o fato de muitos micro-organismos utilizarem a fração disponível de matéria orgânica os tornam sensíveis a mudanças na sua qualidade.

Dentre os métodos mais utilizados para determinação da BM, destacam-se o de fumigação-incubação, proposto por Jenkinson & Powlson (1976); e o de fumigação-extração, proposto por Vance et al. (1987); baseados na fumigação (esterilização via clorofórmio) em parte das amostras de solo. No método fumigação-incubação, a BM é quantificada pela diferença entre liberação de carbono na forma de CO₂ (C-CO₂) de amostras fumigadas e não fumigadas. Já o método de fumigação-extração a BM é quantificada pela diferença na extração (sulfato de potássio) do C-orgânico das amostras.

É importante salientar que a BM não é uma estimativa da atividade microbiológica, e sim da massa microbiana viva total, com base na concentração de algum elemento, ou de alguma substância celular. Dessa forma, os valores de C da biomassa microbiana (C-BM) indicam o potencial metabólico da comunidade microbiana no solo que pode estar participando dos processos de decomposição de resíduos orgânicos e de liberação de nutrientes para o solo. Já o N da biomassa microbiana (N-BM) representa um componente significativo do N potencialmente mineralizável e disponível às plantas. Entretanto, em solos com baixos teores de N, esse teor na biomassa provavelmente será utilizado pelos micro-organismos na decomposição da matéria orgânica, ficando imobilizado e reduzindo sua disponibilidade imediata para as plantas (Paul & Clark, 1989; Perez et al., 2005).

O quociente microbiano ($qMIC$), expresso pela relação entre o C-BM e o C orgânico total (COT), é um atributo utilizado no fornecimento das condições sobre a qualidade da matéria orgânica que, em circunstâncias de fatores estressantes aos micro-organismos, a capacidade de utilização do C é menor e, conseqüentemente o $qMIC$ também diminui (Wardle & Hungria, 1994). Segundo Powlson et al. (1987), a adição de matéria orgânica de boa qualidade ou a redução do estresse no ambiente, mesmo em condições em que o teor do COT permaneça inalterado, promove o aumento na BM do solo e, portanto, um aumento do $qMIC$. O mesmo pode ser interpretado para a relação entre o nitrogênio da biomassa microbiana (N-BM) e o nitrogênio total (Nt) (N-BM/Nt)

De acordo com Jenkinson & Ladd (1981), a proporção de células microbianas vivas contendo C (C-microbiano) geralmente compreende de 1 a 5 % do C orgânico total (COT), enquanto para o N (N-microbiano) compreende de 1 a 6 % do N total (Nt). Devido às determinações da biomassa microbiana não fornecerem indicações de sua intensidade,

podem ocorrer situações em que os solos apresentem elevadas quantidades de biomassa inativa e vice-versa (Cattelan & Vidor, 1990). Daí a importância dos atributos que quantificam a atividade microbiana indicando o estado metabólico das comunidades de micro-organismos do solo.

A atividade dos micro-organismos do solo é avaliada em termos metabólicos, como por exemplo, pela avaliação da taxa de respiração (consumo de O₂ ou emissão de CO₂), dinâmica da matéria orgânica, atividade enzimática total e específica (Cattelan & Vidor, 1990). A taxa de respiração basal do solo consiste na oxidação da matéria orgânica por micro-organismos aeróbios do solo, de raízes vivas e de macro-organismos como minhocas, nematóides e insetos (Parkin et al., 1996), utilizando O₂ como acceptor final de elétrons, até CO₂. A atividade dos organismos no solo é considerada um atributo positivo para a qualidade do solo, sendo a respiração do solo um indicador sensível da decomposição de resíduos, do giro metabólico do carbono orgânico total do solo (COT) e de distúrbios no ecossistema (Paul et al., 1999).

Uma alta taxa respiratória, indicativa de alta atividade biológica, pode ser uma característica desejável ao considerá-la um sinal de rápida decomposição de resíduos orgânicos em nutrientes disponíveis para as plantas. Entretanto, a decomposição da matéria orgânica estável, ou seja, da fração húmica do solo, é desfavorável para muitos processos químicos e físicos, como a agregação, a capacidade de troca de cátions e a capacidade de retenção de água. Assim, altas taxas de respiração podem indicar tanto um distúrbio ecológico quanto um alto nível de produtividade do ecossistema (Islam & Weil, 2000).

Neste contexto, o quociente metabólico (qCO₂), que é a relação entre a taxa de respiração por unidade de BM, é uma variável mais adequada na avaliação da taxa respiratória do solo. Essa variável proposta por Anderson & Domsch (1993) prediz que, à medida que a BM se torna mais eficiente na utilização dos recursos do ecossistema, menos C é perdido como CO₂ na respiração e menor proporção de C será incorporada aos tecidos microbianos (Odum, 1969). Assim, em geral, um baixo quociente metabólico indica economia na utilização de energia e supostamente reflete um ambiente mais estável ou mais próximo do seu estado de equilíbrio; contrariamente aos valores elevados que são indicativos de ecossistemas submetidos a alguma condição de estresse ou distúrbio (Tótola & Chaer, 2002).

Os micro-organismos são considerados as principais fontes de enzimas do solo. Portanto, o estudo da atividade enzimática tem sido reportado como atributo efetivo da

qualidade do solo, da decomposição da matéria orgânica e da disponibilidade de nutrientes decorrentes das práticas de manejo ou do ambiente (Quilchano & Maranón, 2002). As enzimas de interesse na ciclagem de nutrientes são aquelas que catalisam a hidrólise de constituintes da matéria orgânica do solo (Joshi et al., 1993).

A atividade enzimática total do solo pode ser quantificada pela hidrólise do diacetato de fluoresceína (DAF) (3,6-diacetil-fluoresceína) a acetato e fluoresceína. Essa hidrólise é catalisada por enzimas livres (exoenzimas) e enzimas ligadas às membranas biológicas (Lanna, 2002) e tem sido usada para avaliar a atividade microbiana nas amostras de solo. Essa atividade hidrolítica pode ser catalisada por bactérias, fungos, algas e protozoários, especialmente na superfície do solo (Barack & Chet, 1986; Ghini et al., 1998). Geralmente mais de 90% do fluxo de energia no solo passa através de decompositores microbiológicos e, portanto, uma análise que mede a atividade desses micro-organismos fornecerá uma boa estimativa da atividade microbiológica total (Lanna, 2002).

A escolha de enzimas específicas a serem analisadas baseia-se na sua sensibilidade ao manejo do solo, na sua importância na ciclagem de nutrientes e na decomposição da matéria orgânica e na simplicidade da análise. As mais comumente analisadas são aquelas ligadas aos ciclos da matéria orgânica e dos macronutrientes C, N, S e P, como as β -glicosidase, urease, arilsulfatase e fosfatases ácidas e alcalinas respectivamente. Os procedimentos de análise são relativamente simples, quando comparados com os de quantificação de nutrientes de uma análise de rotina, e prescrevem o emprego de uma solução tamponada contendo o substrato da enzima a ser misturado ao solo (Tótola & Chaer, 2002).

Segundo Eivazi & Tabatabai (1990), existe uma correlação significativa da atividade da β -glicosidase com a matéria orgânica do solo, sendo que essa enzima atua tanto na hidrólise da celobiose (dissacarídeo) como também de oligossacarídeos, liberando glicose que servirá como fonte de energia para os micro-organismos. As alterações ambientais reduzem acentuadamente sua atividade o que pode retardar ou mesmo comprometer o processo de reabilitação de áreas desequilibradas.

A atividade da enzima fosfatase ácida está geralmente relacionada como transportadora do fósforo inorgânico, desempenhando papel importante na hidrólise de fósforos ésteres no meio, transformando o fósforo não disponível em fósforo inorgânico, disponível (Bielecki, 1973; Duff et al., 1991). Essa enzima é mais expressiva em ambientes

com baixos teores de P no solo ou naqueles em que a presença de fósforo inorgânico é mais acentuada que a do fósforo orgânico (Moreira & Siqueira, 2006). Assim, a disponibilidade de P para as plantas, proveniente de P orgânico, é dependente da intensidade da ciclagem biogeoquímica, que é afetada pelas condições climáticas, fertilidade do solo, pela posição do solo no relevo, pela microbiota e pelo tempo de contato da fonte orgânica do solo (Taranto et al., 2000).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS EXPERIMENTAIS

O trabalho foi conduzido na Fazenda Capivara, da Embrapa Arroz e Feijão, localizada no município de Santo Antônio de Goiás, GO, compreendida entre as coordenadas 16° 31' 18" S, 49° 18' 45" W, 16° 31' 18" S, 49° 16' 07" W, 16° 29' 02" S, 49° 16' 07" W, 16° 29' 02" S e 49° 18' 45" W, e com altitude média de 823 m. O clima, conforme classificação de Köppen, é Aw, tropical de savana, megatérmico. O regime pluvial é bem definido, com período chuvoso de outubro a abril e seco de maio a setembro, com precipitação média anual de 1.485 mm (Silva et al., 2010). O solo das áreas estudadas é um Latossolo Vermelho ácrico, de textura argilosa, com teores médios de 304,5 g kg⁻¹ de areia, 152,5 g kg⁻¹ de silte e 543,0 g kg⁻¹ de argila, na camada de 0,0-0,10 m.

Para a realização deste estudo foram utilizadas áreas de experimentos já instalados e em desenvolvimento na unidade de pesquisa da Embrapa Arroz e Feijão. Foram então selecionadas três áreas que se encontravam sob cultivo de arroz de terras altas sob sistema de semeadura direta por um, dois e três anos, respectivamente. As três áreas foram semeadas com a linhagem Primavera CL 431, no espaçamento de 0,45 m, após 20 dias da dessecação da palhada da cultura anterior com glifosato na dose de 4 L ha⁻¹.

Na área de primeiro ano (Área 1), o arroz foi semeado no verão de 2010 sobre a palhada da soja cultivada no ano anterior, após dois anos de pastagem de *Urochloa brizantha* (*Brachiaria brizantha*). Nas áreas de segundo (Área 2) e terceiro (Área 3) ano de cultivo sucessivo, o arroz foi semeado sobre as palhadas de milho, milheto, *Urochloa ruzizienses* (*Brachiaria ruzizienses*), *Urochloa brizantha* e *Panicum maximum*, semeados em abril do mesmo ano. Antes do primeiro cultivo de arroz, essas áreas vinham sendo cultivadas há seis anos, em semeadura direta, com a rotação milho e soja no verão, com pousio no inverno (Tabela 1).

Tabela 1. Histórico de semeadura do arroz de terras altas no Latossolo Vermelho ácrico estudado.

Área	Semeadura do arroz	Palhada antecedente
1	Novembro de 2010	<i>Urochloa brizantha</i>
2	Novembro de 2009 e 2010	Milho, milheto, <i>Urochloa ruzizienses</i> , <i>Urochloa brizantha</i> e <i>Panicum maximum</i>
3	Novembro de 2008, 2009 e 2010	Milho, milheto, <i>Urochloa ruzizienses</i> , <i>Urochloa brizantha</i> e <i>Panicum maximum</i>

A vegetação original das áreas era do tipo Cerradão e a análise química inicial apresentou valores médios semelhantes na camada de 0,00 – 0,10 m, para as três áreas estudadas (Tabela 2). A adubação de base foi de 400 kg ha⁻¹; com fórmula 5-30-15 + 1% Zn e aos 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), cuja composição é de 112,5 g L⁻¹ de N; 25,0 g L⁻¹ de P₂O₅; 12,5 g L⁻¹ de K₂O e 131,2 g L⁻¹ de carbono orgânico.

Tabela 2. Valores médios iniciais dos atributos químicos do solo do Latossolo Vermelho ácrico estudado na camada de 0,0 – 0,10 m.

Atributos	Teores
pH em água	5,74
Teor de cálcio trocável (mmol _c dm ⁻³)	26,60
Teor de magnésio trocável (mmol _c dm ⁻³)	11,20
Teor de alumínio trocável (mmol _c dm ⁻³)	5,00
Teor de H ⁺ + Al ³⁺ (mmol _c dm ⁻³)	46,30
Teor de fósforo disponível (mg dm ⁻³)	12,00
Teor de potássio disponível (mg dm ⁻³)	76,97
Teor de cobre disponível (mg dm ⁻³)	1,80
Teor de zinco disponível (mg dm ⁻³)	4,10
Teor de ferro disponível (mg dm ⁻³)	35,50
Teor de manganês disponível (mg dm ⁻³)	36,00
Capacidade de troca catiônica (mmol _c dm ⁻³)	86,00
Saturação por bases (%)	45,40

Foi escolhida como área de referência uma mata nativa (Cerradão) próxima às áreas experimentais, que é representativa da vegetação original.

Em razão das dimensões de cada área, foram selecionadas 18 parcelas na Área 1, 11 na Área 2 e 10 na Área 3. Nas Áreas 2 e 3, todas as palhadas antecedentes foram consideradas na amostragem.

Dentro de cada área havia tratamentos que, sob aspectos visuais, poderiam gerar produtividades diferenciadas (baixa, média e alta) de arroz de terras altas sob semeadura direta, sendo verificada a inexistência de doenças. Ao identificar essa variação, a parcela foi escolhida e o local identificado com uma estaca e, utilizando duas linhas de cultivo de um metro de comprimento com espaçamento de 0,45 m, formou-se a parcela com área equivalente a 0,9 m² (Figura 1). Para a área de referência foi selecionada uma parcela também de 0,9 m² de forma aleatória.

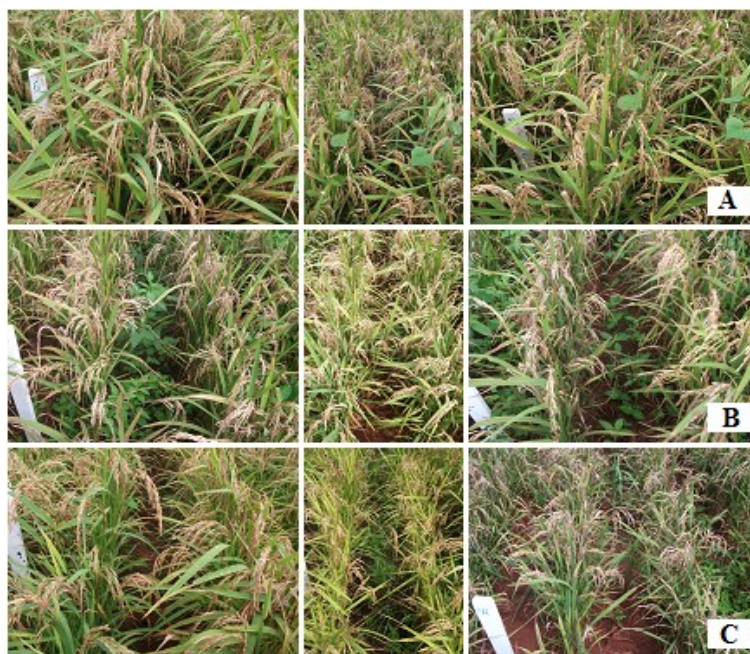


Figura 1. Áreas cultivadas com arroz de terras altas em sistema de semeadura direta com alta (A), média (B) e baixa (C) produtividade esperada.

3.1.1 Amostragem de solo

Nas parcelas selecionadas de cada área foi realizada, em fevereiro de 2011, a

amostragem de solo para a análise de seus atributos. Em cada extremidade de cada linha de cultivo da área de 0,9 m² foram amostrados dois pontos, sendo retiradas duas subamostras por ponto (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), na camada de 0,0 a 0,10 m de profundidade. Na parcela selecionada da área de referência também foram amostrados quatro pontos, com duas subamostras em cada.

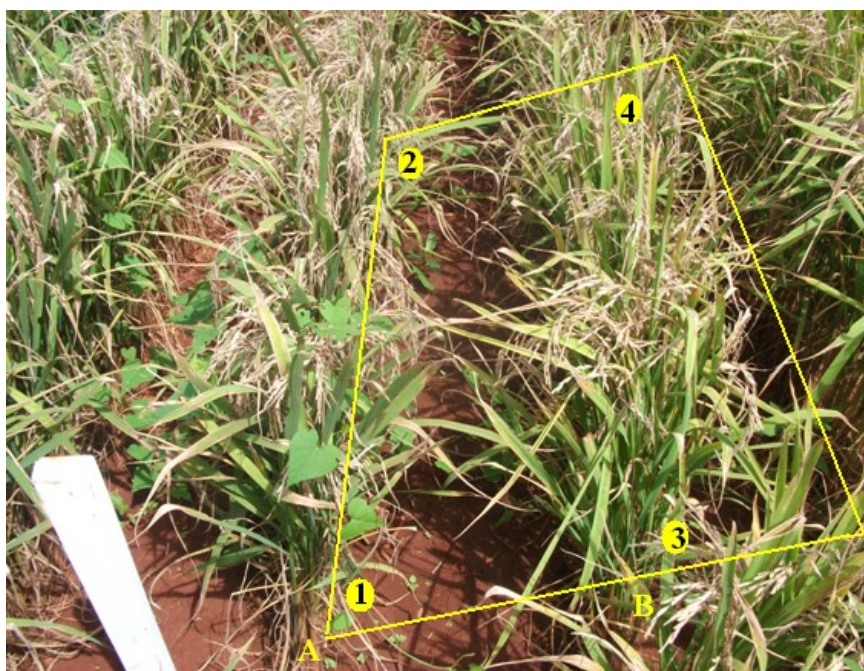


Figura 2. Esquema de coleta de amostras de solo (ponto de 1 a 4) e linhas de cultivo do arroz de terras altas (A e B) sob sistema de semeadura direta.

Para as análises química e biológica, as subamostras foram retiradas utilizando trado holandês e, após a homogeneização, as foram acondicionadas em sacos plásticos, devidamente identificados, sendo as amostras para análise dos atributos biológicos armazenadas em câmara fria (4 °C). Das amostras biológicas, foi retirada uma alíquota para determinação da umidade atual do solo. Para análise física foram retiradas amostras não deformadas, coletadas em cilindros de 5 cm de diâmetro e 5 cm de altura.

Para a obtenção dos dados de resistência à penetração foram considerados quatro pontos no interior de cada parcela e, para a análise de agregados de solo, foram abertas duas trincheiras entre as linhas e, com auxílio de espátulas, foram retirados torrões de solo representativos da camada de 0,0 a 0,10 m. Na mesma época da amostragem de

solo para análise dos atributos foi realizada a colheita da cultura do arroz das duas linhas de 1,0 m, sendo determinada a produtividade dessa área.

As amostras de solos foram encaminhadas para os laboratórios de análise de solo da Embrapa Arroz e Feijão.

3.1.2 Análise dos atributos físicos do solo

Os atributos físicos avaliados foram densidade do solo, determinada pelo método do anel volumétrico; porosidade total, pela relação entre a densidade do solo e a densidade de partículas determinada pelo método do balão volumétrico; microporosidade, considerada igual à quantidade de água retida pelo solo na tensão de 6 kPa; macroporosidade, pela diferença entre porosidade total e microporosidade, diâmetro médio ponderado dos agregados, determinado via úmida, e porcentagem de agregados com diâmetro maior que 2 mm, sendo as análises realizadas segundo Embrapa (1997). Também foram determinados o índice S, de acordo com a metodologia descrita por Dexter (2004a) e a resistência do solo à penetração (RP), determinada com penetrômetro de impacto de acordo com Stolf et al. (1983).

3.1.3 Análise dos atributos químicos do solo

Os atributos químicos avaliados foram o pH do solo, fósforo (P) disponível; potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) trocáveis e alumínio ou acidez trocável (Al^{3+}), acidez potencial (H + Al), capacidade de troca de cátions a pH 7 (CTC), saturação de bases (V %), carbono (C) e nitrogênio (N) totais, cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn).

O pH foi determinado em água. O carbono e o nitrogênio total do solo foram determinados pelo método de combustão a seco (Nelson & Sommers, 1996) no analisador elementar CHNS/O Perkin-Elmer modelo 2400 Series II. O Al^{3+} , Ca^{2+} e Mg^{2+} foram extraídos em KCl a 1 mol L^{-1} , sendo o primeiro determinado por titulação com NaOH $0,025 \text{ mol L}^{-1}$ e os dois últimos por titulação com EDTA. A acidez potencial foi determinada por titulometria, usando solução de acetato de cálcio $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ a pH 7 para sua extração. O fósforo e o potássio 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 os métodos da Embrapa (1997).

3.1.4 Análise dos atributos biológicos do solo

Os atributos biológicos avaliados foram carbono orgânico total do solo (COT), determinado segundo princípio da oxidação orgânica via úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico com posterior leitura em espectrofotômetro, pelo método de Walkley & Black (Embrapa, 1997), carbono (CBM) e nitrogênio (NBM) da biomassa microbiana, determinados, respectivamente, pelo método da fumigação-extração (Vance et al., 1987) e pelo método de Brookes et al. (1985), respiração basal do solo (RBS), determinada pela quantificação do CO₂ liberado durante a incubação do solo em sistema fechado (Jenkinson & Powlson, 1976), quocientes metabólico (qCO_2), obtido pela relação entre RBS e CBM; e microbiano ($qMIC$), obtido pela relação entre CBM e COT (Anderson & Domsch, 1993), e a relação entre NBM e N total (Sparling, 1992).

A atividade enzimática total do solo (AET) foi determinada pelo método de hidrólise do diacetato de fluoresceína (Ghini et al., 1998), as 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 (Tabatabai, 1994).

3.1.5 Análise estatística dos dados

Na análise comparativa entre as áreas para cada atributo estudado e para a produtividade calculou-se, pela estatística clássica, a média e o desvio-padrão. A técnica da análise multivariada foi utilizada por meio da análise de componentes principais, envolvendo todas as áreas e atributos em estudo, a partir da qual foi reduzido o conjunto de dados em combinações lineares, gerando escores dos componentes principais que explicam em torno de 80% da variação total, conforme recomendado por (Cruz & Regazzi, 1994).

Isto permitiu identificar os atributos mais relevantes na discriminação das áreas. Adicionalmente, efetuou-se a análise de agrupamento pelo método de Ward. A medida de dissimilaridade utilizada foi a distância euclidiana média.

Para a correlação dos atributos com a produtividade do arroz de terras altas sob sistema de semeadura direta, também foi utilizada a estatística clássica para o cálculo da média, mediana, máximo, mínimo e variância, sendo os atributos do solo correlacionados individualmente entre si e com a produtividade do arroz. A análise de regressão múltipla foi realizada para verificar quais os atributos do solo que mais influenciaram de maneira conjunta a produtividade do arroz. Para isso, primeiramente se verificou existência de colinearidade entre os atributos de solo, 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”, que compara o quantil amostral versus o quantil esperado sob normalidade, 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 esses procedimentos, aplicou-se o método “stepwise”, tendo adotado como critério o AIC (Akaike Information Criterion). Para executar os procedimentos descritos anteriormente foi utilizado o programa estatístico R (R Development Core Team, 2011).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 COMPARAÇÃO ENTRE ÁREAS

A análise de componentes principais mostrou que a variância acumulada nos primeiros dois componentes foi de 94,8 %, tendo o primeiro componente explicado 79,0 % da variância total e o segundo 15,8 %.

O primeiro componente principal foi responsável por identificar os atributos do solo que discriminam as três áreas sob cultivo de arroz de terras altas sob sistema de semeadura direta da área de referência (mata nativa). Já o segundo componente principal foi responsável por identificar os atributos que discriminam áreas sob cultivo sucessivo de arroz de terras altas entre si.

4.1.1 Análise do primeiro componente principal

Os atributos do solo, com exceção dos teores de potássio e cobre, dos quocientes metabólico e microbiano e da relação NBM:N total (Tabela 3), propiciaram altos índices de correlação com o primeiro componente principal ($r > |0,60|$), sendo responsáveis por discriminar as áreas sob cultivo da área de referência.

Todos os atributos físicos foram impactados negativamente com a mudança do uso do solo sob vegetação de Cerrado para a produção agrícola. Araújo et al. (2007), comparando a qualidade do solo em área de Cerrado nativo e em áreas sob diferentes usos, também verificaram que os atributos físicos do solo foram os mais afetados pelos tipos de usos avaliados. As alterações físicas podem influenciar na maioria dos fenômenos importantes que ocorrem no solo, incluindo a quantidade de calor, água e gases transportados, e a sua resistência mecânica.

Tabela 3. Correlação entre cada componente principal e os atributos físicos, químicos e biológicos da camada de 0-0,10 m em três áreas sob cultivo sucessivo de arroz de terras altas sob sistema de semeadura direta do Latossolo Vermelho ácrico submetido a diversos usos.

Atributos	CP1 ¹	CP2
Densidade do solo (Mg m ⁻³)	-0,95	0,30
Porosidade total (m ³ m ⁻³)	0,95	-0,30
Microporosidade (m ³ m ⁻³)	-0,98	-0,14
Macroporosidade (m ³ m ⁻³)	0,99	-0,11
Agregados com diâmetro > 2 mm (%)	0,98	-0,05
Diâmetro médio ponderado dos agregados (mm)	0,96	-0,20
Resistência do solo à penetração (MPa)	-0,97	0,08
Índice S	0,91	-0,41
Carbono total (g kg ⁻¹)	0,99	-0,08
Nitrogênio total (g kg ⁻¹)	0,98	0,21
pH em água	-0,95	0,28
Teor de cálcio trocável (mmol _c dm ⁻³)	-0,90	0,43
Teor de magnésio trocável (mmol _c dm ⁻³)	-0,76	0,56
Teor de alumínio trocável (mmol _c dm ⁻³)	0,98	-0,19
Teor de H ⁺ + Al ³⁺ (mmol _c dm ⁻³)	0,97	-0,23
Teor de fósforo disponível (mg dm ⁻³)	-0,98	-0,05
Teor de potássio disponível (mg dm ⁻³)	-0,21	-0,65
Teor de cobre disponível (mg dm ⁻³)	0,35	0,69
Teor de zinco disponível (mg dm ⁻³)	-0,97	-0,24
Teor de ferro disponível (mg dm ⁻³)	1,00	-0,03
Teor de manganês disponível (mg dm ⁻³)	0,69	0,72
Capacidade de troca catiônica (mmol _c dm ⁻³)	1,00	-0,07
Saturação por bases (%)	-0,93	0,35
Carbono orgânico total (mg kg ⁻¹)	1,00	0,03
Carbono da biomassa microbiana - C-BM (mg kg ⁻¹)	0,87	0,42
Nitrogênio da biomassa microbiana - N-BM (mg kg ⁻¹)	0,86	0,49
Atividade enzimática total (μg FDA g solo seco ⁻¹ h ⁻¹)	0,99	0,16
Atividade da β-glicosidase (μg p-nitrofenol g ⁻¹ solo seco h ⁻¹)	-0,97	0,21
Atividade da fosfatase ácida (μg p-nitrofenol g ⁻¹ solo seco h ⁻¹)	0,99	0,14
Respiração basal do solo (mg C-CO ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹)	0,98	-0,11
Quociente metabólico (mg C-CO ₂ kg ⁻¹ C-BM h ⁻¹)	-0,29	-0,94
Quociente microbiano (%)	0,60	0,65
Relação N-BM:N total (%)	0,55	0,79

¹CP1 = primeiro componente principal, CP2 = segundo componente Principal

O solo sob mata, por não ter sido perturbado pelo trânsito de máquinas e equipamentos, apresentou menores valores de densidade e microporosidade e maiores valores de macroporosidade e porosidade total em relação às áreas sob cultivo de arroz (Tabela 4), concordando com os resultados de Silva et al. (2008) e Andrade et al. (2009). No entanto, em experimento realizado por Henklain (1997) após 20 anos sob cultivo em semeadura direta, foi observado uma redução na densidade do solo e maior volume de poros e macroporosidade.

Tabela 4. Média e desvio-padrão dos atributos físicos na camada de 0-0,10 m em três áreas sob cultivo sucessivo de arroz de terras altas sob sistema de semeadura direta do Latossolo Vermelho ácrico submetido a diversos usos (n = 39).

Atributo		Mata	Área 1 ¹	Área 2	Área 3
Densidade do solo (Mg m ⁻³)	Média	1,00	1,29	1,23	1,26
	D.P. ²	0,049	0,063	0,035	0,075
Porosidade total (m ³ m ⁻³)	Média	0,624	0,518	0,538	0,527
	D.P.	0,018	0,023	0,013	0,028
Microporosidade (m ³ m ⁻³)	Média	0,309	0,363	0,384	0,393
	D.P.	0,013	0,015	0,010	0,013
Macroporosidade (m ³ m ⁻³)	Média	0,315	0,155	0,154	0,135
	D.P.	0,031	0,035	0,016	0,040
Agregados com diâmetro > 2 mm (%)	Média	96,7	66,4	61,8	66,2
	D.P.	2,198	9,209	12,302	7,536
Diâmetro médio ponderado dos agregados (mm)	Média	11,8	6,7	6,8	7,4
	D.P.	0,714	1,633	1,968	1,283
Resistência do solo à penetração (MPa)	Média	0,85	1,41	1,48	1,37
	D.P.	0,068	0,169	0,189	0,238
Índice S	Média	0,074	0,043	0,053	0,047
	D.P.	0,012	0,009	0,008	0,009

¹Áreas 1, 2 e 3 = áreas cultivadas com arroz, respectivamente, por um, dois e três anos

²D.P. = desvio-padrão

Foi verificado também que na área sob mata, houve maior diâmetro médio ponderado dos agregados e porcentagem de agregados com diâmetro maior que 2 mm, o que concorda com os resultados obtidos por Silva et al. (2008), que constataram maior agregação nos sistemas em equilíbrio, com maiores teores de matéria orgânica (MO) e boa diversidade e atividade microbiana do solo. Assim, segundo Jorge et al. (1991), é

previsível que apenas uma grande variação nos fatores de formação dos agregados, em especial o incremento nos teores de matéria orgânica, poderia ter um efeito apreciável na estabilidade de agregados.

Em relação ao solo sob mata, a maior densidade e menor volume de macroporos do solo cultivado refletiu-se na maior resistência do solo à penetração (RP) (Tabela 4). Nas camadas superficiais sob SSD, a RP pode atingir níveis altamente impeditivos ao crescimento das plantas que, para o cultivo do arroz de terras altas, este valor não deve ultrapassar 1,82 MPa (Beutler et al., 2004b). Carneiro et al. (2009) e Magalhães et al. (2009) também observaram menor RP em solo sob mata quando comparado ao solo cultivado. De acordo com Rosa et al. (2003), apesar de ser uma medida de fácil determinação, a RP parece representar muito bem o que acontece no solo, ao aumentar de acordo com a maior interferência antrópica.

A densidade do solo apresentou alta correlação negativa com o índice S (Anexo 1) ($r = 0,89$; $p < 0,01$) e a porosidade total e macroporosidade apresentaram, por sua vez, correlação positiva ($r = 0,89$; $p < 0,001$ e $r = 0,72$; $p < 0,001$, respectivamente). Tais correlações evidenciam o conceito proposto por Dexter (2004a) ao afirmar que esse índice representa a distribuição do tamanho de poros de maior frequência, sendo a presença de poros estruturais e alto valor de S essenciais para uma boa qualidade física do solo. Assim, o solo sob mata apresentou maior índice S que o solo cultivado, indicando melhor qualidade física, o que concorda com os resultados de Silva et al. (2008) e Andrade et al. (2009).

O nitrogênio do solo encontra-se quase totalmente complexado na forma orgânica (98%), dependendo da biomassa microbiana do solo para a sua transformação e, conseqüente, absorção pelas plantas (Cosser et al., 2007). Ademais, o nitrogênio mineral, que é adicionado via fertilizantes, não é incorporado na fração do nitrogênio total do solo, já o nitrogênio orgânico é proveniente de resíduos orgânicos. Além disso, aproximadamente 60% da matéria orgânica do solo é composta pelo carbono proveniente do material vegetal em diferentes estágios de decomposição e evolução (Siqueira Neto et al., 2009). Assim, o grande e constante aporte de resíduos orgânicos com diferentes composições químicas no solo sob mata e a maior atividade microbiana provavelmente são a causa do maior teor de nitrogênio e carbono total nesse solo em relação às áreas cultivadas (Tabela 5). Siqueira Neto et al. (2009) também observaram maior teor de carbono total em solo sob Cerradão do que em solos cultivados.

Tabela 5. Média e desvio-padrão dos atributos químicos na camada de 0-0,10 m em três áreas sob cultivo sucessivo de arroz de terras altas sob sistema de semeadura direta do Latossolo Vermelho ácrico submetido a diversos usos (n = 39).

Atributo		Mata	Área 1 ¹	Área 2	Área 3
Carbono total (g kg ⁻¹)	Média	39,8	25,4	24,2	25,0
	D.P. ²	6,058	2,463	2,840	1,309
Nitrogênio total (g kg ⁻¹)	Média	2,8	2,1	1,8	1,8
	D.P.	0,387	0,218	0,215	0,138
pH em água	Média	5,00	5,57	5,44	5,59
	D.P.	0,294	0,274	0,197	0,233
Teor de cálcio trocável (mmol _c dm ⁻³)	Média	10,0	26,5	20,8	24,5
	D.P.	8,756	4,829	4,070	4,046
Teor de magnésio trocável (mmol _c dm ⁻³)	Média	6,3	11,1	8,1	10,8
	D.P.	4,787	2,195	1,907	2,046
Teor de alumínio trocável (mmol _c dm ⁻³)	Média	7,8	0,5	1,0	0,4
	D.P.	3,304	0,644	0,703	0,283
Teor de H ⁺ + Al ³⁺ (mmol _c dm ⁻³)	Média	93,3	46,5	52,9	45,5
	D.P.	11,442	9,127	7,260	5,657
Teor de fósforo disponível (mg dm ⁻³)	Média	1,5	13,1	16,6	14,1
	D.P.	0,457	6,620	7,460	7,519
Teor de potássio disponível (mg dm ⁻³)	Média	78,5	76,0	84,2	85,5
	D.P.	21,702	23,358	24,193	27,477
Teor de cobre disponível (mg dm ⁻³)	Média	1,83	2,07	1,70	1,40
	D.P.	0,096	0,335	0,207	0,109
Teor de zinco disponível (mg dm ⁻³)	Média	0,88	3,02	4,46	4,06
	D.P.	0,330	1,229	1,224	0,584
Teor de ferro disponível (mg dm ⁻³)	Média	107,8	41,8	33,8	28,7
	D.P.	15,136	8,088	3,000	3,200
Teor de manganês disponível (mg dm ⁻³)	Média	49,2	48,9	16,9	23,5
	D.P.	29,878	7,080	2,747	3,353
Capacidade de troca catiônica (mmol _c dm ⁻³)	Média	111,5	86,0	84,1	82,8
	D.P.	24,570	6,253	7,054	5,485
Saturação por bases (%)	Média	14,9	46,1	37,2	45,0
	D.P.	8,801	8,017	5,939	5,917

¹Áreas 1, 2 e 3 = áreas cultivadas com arroz, respectivamente, por um, dois e três anos

²D.P. = desvio-padrão

Os Latossolos de Cerrado são, na sua quase totalidade, ácidos (Souza et al., 2008), caracterizados por acentuada deficiência de cálcio, magnésio e fósforo e elevada

concentração de alumínio (Fageria, 2001), portanto, neste estudo o solo sob mata, por não ter recebido calcário, apresentou menores valores de pH e teores de cálcio e magnésio e maiores teores de alumínio e acidez trocável (Tabela 5) que as áreas cultivadas; como consequência a sua saturação por bases foi menor.

Neste contexto, uma vez que o alumínio ocupa a maior parte de capacidade de troca catiônica dos Latossolos de Cerrado (Souza et al., 2008), esse atributo foi maior no solo sob mata. Ademais, a matéria orgânica é responsável por 75 a 85% da CTC desses solos (Siqueira Neto et al., 2009) e o teor de carbono foi maior no solo sob mata. A correlação entre carbono total e CTC foi positiva e altamente significativa ($r = 0,85$; $p < 0,01$), concordando com os resultados de Verdade (1956) e Siqueira Neto et al. (2009). Assim, sistemas que favorecem o incremento dos teores de C resultam no aumento da CTC do solo e, portanto, disponibilidade de nutrientes para as culturas (Bayer & Mielniczuk, 1997). Além disso, os solos do bioma Cerrado, por apresentarem estrutura estável, necessitam de mecanização pesada e aplicações de altas doses de fertilizantes, o que podem acelerar a oxidação do C, e conseqüentemente, reduzem as quantidades de MOS (Tormena et al., 2004).

Originalmente os teores de fósforo dos Latossolos são muito baixos e os de zinco baixos (Souza et al., 2008) e, como o solo sob mata não foi adubado, esses teores apresentaram-se menores em relação às áreas cultivadas. As áreas cultivadas receberam adubos constituídos pelos macronutrientes nitrogênio, fósforo e potássio; e o micronutriente zinco. Um dos principais problemas dos solos do Cerrado é a deficiência de fósforo aliada à alta capacidade de fixação deste nutriente e, aliado ao baixo pH, acarreta ainda mais na diminuição em sua disponibilidade para as plantas (Fernandes & Muraoka, 2002). Contudo, os teores de fósforo encontrados não se correlacionam com nenhum outro atributo avaliado, fato também verificado por Eberhardt et al. (2008), que atribuíram o ocorrido ao fato do fósforo disponível no solo depender, principalmente, do manejo, do sistema de produção e da adubação.

O teor de ferro, por sua vez, foi maior no solo sob mata, possivelmente devido ao pH mais ácido; a correlação entre pH e teor de ferro foi significativa e negativa ($r = -0,50$; $p < 0,01$), concordando com os resultados de Alleoni et al. (2005). O maior teor de ferro no solo da mata pode ser relacionado também à maior ciclagem do ferro pela matéria orgânica, uma vez que a correlação entre o teor desse micronutriente e o COT foi significativa e positiva ($r = 0,52$; $p < 0,01$) e o COT foi maior na mata.

O teor de carbono orgânico total verificado sob mata foi maior do que nas áreas sob cultivo de arroz (Tabela 6) provavelmente devido ao grande aporte de resíduos orgânicos, como já discutido, concordando com os resultados de Jakelaitis et al. (2008) e Pôrto et al. (2009). De acordo com Jakelaitis et al. (2008), a diminuição no carbono orgânico total nos solos sob cultivo pode ser devida também ao aumento no consumo do carbono prontamente disponível pela biomassa microbiana e, ainda, pelo manejo adotado.

Tabela 6. Média e desvio-padrão dos atributos biológicos na camada de 0-0,10 m em três áreas sob cultivo sucessivo de arroz de terras altas sob sistema de semeadura direta do Latossolo Vermelho ácrico submetido a diversos usos (n = 39).

Atributo		Mata	Área 1 ¹	Área 2	Área 3
Carbono orgânico total (g kg ⁻¹)	Média	18,7	14,5	13,6	13,7
	D.P. ²	2,879	1,518	1,395	1,004
Carbono da biomassa microbiana (mg kg ⁻¹)	Média	299,8	250,0	173,6	145,2
	D.P.	46,060	81,280	28,370	32,931
Nitrogênio da biomassa microbiana (mg kg ⁻¹)	Média	47,5	38,2	20,0	26,0
	D.P.	12,039	7,553	2,975	7,480
Atividade enzimática total (µg FDA g solo seco ⁻¹ h ⁻¹)	Média	177,3	106,0	73,7	75,5
	D.P.	40,258	26,416	15,891	15,047
Atividade da β-glicosidase (µg p-nitrofenol g ⁻¹ solo seco h ⁻¹)	Média	33,6	64,6	60,4	67,0
	D.P.	10,929	11,218	16,987	8,777
Atividade da fosfatase ácida (µg p-nitrofenol g ⁻¹ solo seco h ⁻¹)	Média	805,8	406,2	236,5	270,0
	D.P.	259,201	66,789	60,961	24,714
Respiração basal do solo (mg C-CO ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹)	Média	2,02	1,31	1,35	1,10
	D.P.	0,440	0,336	0,312	0,274
Quociente metabólico (mg C-CO ₂ kg ⁻¹ C-BM h ⁻¹)	Média	7,03	5,76	8,20	8,03
	D.P.	2,661	1,709	1,887	2,421
Quociente microbiano (%)	Média	1,63	1,71	1,29	1,06
	D.P.	0,356	0,492	0,211	0,245
Relação N-BM:N total (%)	Média	1,73	1,79	1,15	1,47
	D.P.	0,494	0,329	0,143	0,378

¹Áreas 1, 2 e 3 = áreas cultivadas com arroz, respectivamente, por um, dois e três anos

²D.P. = desvio-padrão

Os teores de carbono (CBM) e nitrogênio (NBM) da biomassa microbiana no solo sob mata também foram maiores do que no solo cultivado (Tabela 6), concordando

com os resultados de Pôrto et al. (2009) e Ferreira et al. (2011). O maior valor de CBM e NBM na mata é reflexo de uma situação particular para a microbiota do solo nesse sistema, que é estimulada pelo fornecimento contínuo de materiais orgânicos com diferentes graus de susceptibilidade à decomposição, originados da vegetação (Ferreira et al., 2011).

A diversidade das espécies vegetais da mata nativa, notadamente maior que dos sistemas agrícolas avaliados, implica em deposição na serapilheira de substratos orgânicos oxidáveis com composição variada. Além disso, existe maior diversidade de compostos orgânicos depositados na rizosfera, o que constitui fator favorável à sobrevivência e crescimento de diferentes espécies de micro-organismos do solo. Neste sentido, a abundância de micro-organismos decompositores pode contribuir para estimular também a microfauna saprófita e predadora desses. Assim, as condições distintas do solo sob vegetação de mata, juntamente com a ausência de perturbações decorrentes de atividade antrópica, tornam possível a existência de maiores quantidades de CBM e NBM, indicando o maior equilíbrio da microbiota do solo nesse ecossistema (Pôrto et al., 2009; Ferreira et al., 2011). Nunes et al. (2008) verificaram, por meio de análise multivariada, que entre os atributos biológicos do solo, o CBM foi o que mais contribuiu para a separação da mata de áreas sob diversos usos.

A atividade enzimática total (AET) e a atividade da fosfatase ácida (AFA) foram maiores e a atividade da β -glicosidase (ABG) foi menor no solo sob mata em relação à área sob cultivo (Tabela 6), concordando com os resultados de Ferreira et al. (2011). De acordo com esses autores, a AET e a AFA são maiores na presença de altos teores de CBM. Realmente, neste trabalho as correlações entre AET e CBM e entre AFA e CBM foram positivas e significativas (respectivamente, $r = 0,69$; $p < 0,01$ e $r = 0,68$; $p < 0,01$). A correlação entre a ABG e CBM não foi significativa, concordando com Ferreira et al. (2011). Além de uma maior AET, o solo sob mata também apresentou maior taxa de liberação de CO_2 pela respiração basal do solo (RBS), que está diretamente relacionada com a quantidade de carbono lábio existente no solo.

A alta correlação da AFA com o CBM confirma a teoria de Dick & Tabatabai (1993) de que os micro-organismos seriam as fontes mais expressivas de fosfatases no solo, devido à sua grande biomassa, alta atividade metabólica e curto período de vida, permitindo a produção e liberação de quantidades mais elevadas de enzimas extracelulares em comparação com as plantas.

Quando os solos são cultivados, os teores de matéria orgânica e de fósforo

orgânico diminuem pela alteração na vegetação, mobilização e arejamento do solo, com consequente aumento da atividade microbiana e retirada de nutrientes (Magid et al., 1996). Contudo, a contribuição do fósforo orgânico passa a ser insuficiente para elevados níveis de rendimento nas culturas, necessitando assim da adição de fertilizantes fosfatados resultando em aumento nos teores de fósforo armazenados na biomassa microbiana e do inorgânico, diminuindo a importância das fosfates no suprimento de fósforo inorgânico, uma vez que as plantas são atendidas em sua demanda por fósforo (Conte et al., 2002). Isso demonstra a importância da fosfatase ácida na mineralização do fósforo orgânico em áreas sob vegetação nativa, onde a matéria orgânica é a principal fonte de nutrientes para o crescimento das plantas.

A atividade da β -glicosidase no solo apresentou correlação alta e positiva com os teores de carbono orgânico total do solo ($r = 0,63$; $p < 0,001$). Esse mesmo comportamento foi observado entre outros trabalhos (Turner et al., 2002; Wang & Lu, 2006). Deng & Tabatabai (1997) afirmaram que a matéria orgânica além de influenciar na atividade da atividade da β -glicosidase no solo, por fornecer substrato para a sua ação, além de proteger e manter as enzimas do solo em suas formas ativas. Assim, era esperado que os maiores teores da atividade da β -glicosidase ocorressem no solo sob mata, devido ao maior aporte de resíduos neste local e, portanto, de substrato. Resultados semelhantes em que os teores da atividade da β -glicosidase foram maiores na mata nativa em relação a áreas sob cultivo foram encontrados por Matsuoka et al. (2003) e resultados contrários foram encontrados por Schmitz (2003).

A menor atividade da β -glicosidase no solo foi encontrada sob mata em relação às áreas sob cultivo possivelmente foi devida à maior diversidade de espécies vegetais e, conseqüentemente, da maior complexidade dos resíduos vegetais que atingem a superfície do solo, uma vez que essa enzima atua na etapa final do processo de decomposição da celulose. Contudo, outros fatores também podem ter influenciado, como o pH, que foi menor na área sob mata quando comparados com os sob cultivo.

4.1.2 Análise do segundo componente principal

Os atributos do solo que propiciaram os maiores índices de correlação com o segundo componente principal ($r > |0,60|$) foram os teores de potássio, cobre e

manganês, os quocientes metabólico e microbiano e a relação NBM:N.

O teor de potássio foi menor e os teores de cobre e de manganês foram mais elevados na área de primeiro ano de cultivo de arroz (Tabela 5). Nessa área, a maior extração de potássio pelo arroz, devido à sua maior produtividade ($2266 \pm 1437 \text{ kg ha}^{-1}$) em relação às áreas de segundo ano ($628 \pm 448 \text{ kg ha}^{-1}$) e de terceiro ano ($712 \pm 601 \text{ kg ha}^{-1}$) possivelmente foi a causa do seu menor teor. De acordo com Fageria (2001) dentre os macronutrientes, o potássio é o menos eficiente necessitando de 45 kg para alcançar produtividade equivalente a uma tonelada de arroz de terras altas em solos de Cerrado e, dentre os micronutrientes, o manganês.

Os teores de cobre e manganês no solo da área de primeiro ano de cultivo de arroz foram maiores que nos solos das áreas de segundo e terceiro ano de cultivo e, sabendo que o glifosato forma compostos insolúveis com vários metais, inclusive com o cobre e o manganês (Coutinho & Mazo, 2005), o maior número de aplicações desse herbicida nas áreas de segundo e terceiro ano de cultivo de arroz pode ter contribuído para a redução do teor desses elementos no solo. Ademais, Huber (2007) constatou que o glifosato causou decréscimo na população de organismos redutores e aumento na de oxidantes de manganês na rizosfera da soja; os autores observaram ainda que a maior população de organismos oxidantes favoreceu a transformação do Mn^{2+} , forma ativa, absorvível pelas plantas, em Mn^{4+} , forma inativa, não absorvível pelas plantas, causando, como consequência, deficiência de Mn na soja.

As condições mais favoráveis à atividade microbiana na área de primeiro ano, expressa pelo maior valor de quociente microbiano ($q\text{MIC}$) e menor de quociente metabólico ($q\text{CO}_2$) (Tabela 6), devem ter influenciado a ciclagem do cobre e do manganês, uma vez que a correlação desses micronutrientes com $q\text{MIC}$ foi positiva ($r = 0,59$; $p < 0,01$ e $r = 0,49$; $p < 0,01$, respectivamente) e com $q\text{CO}_2$ foi negativa ($r = -0,46$; $p < 0,01$ e $r = -0,48$; $p < 0,01$, respectivamente).

Valores elevados de $q\text{CO}_2$ são indicativos de ecossistemas submetidos a alguma condição de estresse ou distúrbio (Carneiro et al., 2009; Pôrto et al., 2009). À medida que a biomassa microbiana se torna mais eficiente na utilização de recursos do ecossistema, menos CO_2 é perdido pela respiração e maior proporção de carbono é incorporada aos tecidos microbianos, o que resulta em diminuição do $q\text{CO}_2$, além disso, menores valores de $q\text{CO}_2$ indicam agroecossistemas mais estáveis.

Zilli et al. (2008) constataram alterações na comunidade microbiana do solo

com o uso do herbicida glifosato. Essas alterações, embora muitas vezes sejam consideradas temporárias, podem representar ruptura do equilíbrio biodinâmico no solo, interferindo diretamente na decomposição/mineralização da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes, supressão de doenças, entre outros. Ao longo do tempo, essas alterações podem representar a perda da qualidade do solo. Além disso, é possível que a liberação de exsudatos pelas plantas de arroz também altere a comunidade microbiana (Ventura et al., 1984; Fageria & Baligar, 2003).

O maior valor do $qMIC$ verificado na área de primeiro ano (Tabela 6) provavelmente foi devido às condições mais favoráveis à atividade microbiana. Esse quociente é influenciado por diversos fatores, como o grau de estabilização do carbono orgânico e o histórico de manejo do solo. As variações em $qMIC$ refletem o padrão do aporte de matéria orgânica do solo, a eficiência da conversão do carbono microbiano, as perdas de carbono do solo e a estabilização do carbono orgânico pelas frações minerais do solo. Ele indica se o conteúdo de carbono está se mantendo estável ou variando de acordo com as condições impostas ao sistema (Tótola & Chaer, 2002). Em ecossistemas estáveis, onde predominam condições favoráveis, há tendência de aumento da atividade microbiana e, em consequência, o $qMIC$ tende a crescer, até atingir um nível de equilíbrio (Insam & Domsch, 1988).

A relação NBM:N total também foi maior na área de primeiro ano (Tabela 6). Esse atributo oferece uma estimativa da quantidade de nutriente, disponibilidade de substrato e a dinâmica da matéria orgânica no solo, pois, quanto maior seu valor, melhor será a qualidade da matéria orgânica (Coser et al., 2007). Uma vez que o nitrogênio total foi semelhante entre as áreas (Tabela 5), o maior valor desse atributo na área de primeiro ano deve-se ao NBM. Os micro-organismos diferem muito mais no seu teor de nitrogênio do que no de carbono, dependendo do seu estágio de desenvolvimento. Portanto, pequenas mudanças na estrutura da biomassa microbiana podem resultar em grandes mudanças no NBM (Coser et al., 2007). Como discutido anteriormente, o maior acúmulo de exsudatos liberados pelas plantas de arroz (Ventura et al., 1984; Fageria & Baligar, 2003) e o maior número de aplicações de glifosato nas áreas de segundo e terceiro cultivo de arroz podem ter alterado a atividade e a composição da comunidade microbiana, como constataram Andréa et al. (2003) e Zilli et al. (2008), afetando NBM.

A análise de agrupamento aplicada aos atributos do solo confirmou a separação entre as áreas, sendo formados três grupos com uma distância euclidiana média de

aproximadamente 6 (Figura 3). A área de primeiro ano formou um grupo e as de segundo e terceiro ano de cultivo de arroz formaram outro grupo e mostraram-se mais distantes da referência.

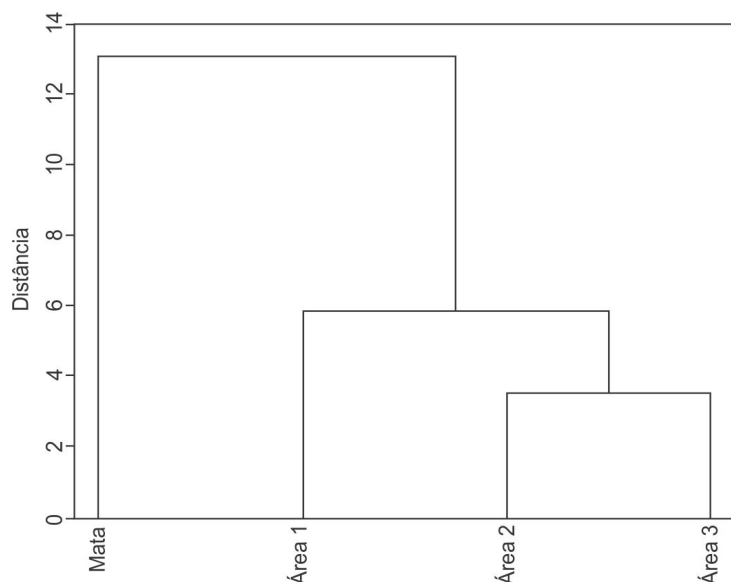


Figura 3. Dendrograma de agrupamento dos tratamentos construídos a partir da matriz de distâncias euclidianas médias.

4.2 CORRELAÇÃO COM A PRODUTIVIDADE

A densidade do solo apresentou valor médio de $1,26 \text{ Mg m}^{-3}$ e mediana de $1,25 \text{ Mg m}^{-3}$ (Tabela 7), valores abaixo da densidade considerada crítica para solos argilosos, que se situa entre $1,30$ e $1,40 \text{ Mg m}^{-3}$ (Reichert et al., 2003). Já o valor máximo observado situou-se próximo ao limite superior. Esses limites correspondem, aproximadamente, à faixa de porosidade total de $0,47$ a $0,51 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. O valor mínimo observado para esse atributo foi de $0,47 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, com média e mediana iguais a $0,53 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (Tabela 7).

Beutler et al. (2004b), em experimento de campo em um Latossolo Vermelho distrófico, textura franco-argilo-arenosa, verificaram que a produtividade do arroz de terras altas foi reduzida a partir do valor de densidade do solo de $1,62 \text{ Mg m}^{-3}$, entretanto, conforme Guimarães & Moreira (2001), o sistema radicular do arroz de terras altas já é comprometido com o aumento da densidade do solo a partir de $1,2 \text{ Mg m}^{-3}$.

A microporosidade variou entre $0,33$ e $0,41 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, com média e mediana

iguais a $0,38 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (Tabela 7). Beutler et al. (2004a) observaram redução na produtividade do arroz com o aumento da microporosidade de 0,36 para $0,38 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, em Latossolo Vermelho argiloso.

Considerando que, de maneira geral, condições físicas do solo favoráveis ao crescimento das plantas têm sido associadas com uma porosidade de aeração mínima de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (Xu & Gupta, 1992), abaixo da qual a difusão de oxigênio torna-se limitante ao funcionamento das raízes e, portanto, restritivos para o crescimento e produtividade da cultura, a macroporosidade apresentou média e mediana superiores a esse limite. Contudo, o valor mínimo desse atributo ficou abaixo do limite de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (Tabela 7).

Entretanto, em estudo realizado por Hoffmann & Jungk (1995) com beterraba sob diferentes níveis de compactação e umidade, foi concluído que o fator de restrição ao desenvolvimento do sistema radicular foi a resistência à penetração e não a aeração, em que a resistência à penetração é reduzida com o aumento da umidade. Desta forma, esse atributo é fundamental para a avaliação dos efeitos dos sistemas de preparo no ambiente físico do solo para o crescimento das plantas.

Tabela 7. Medidas estatísticas descritivas de três áreas sob cultivo sucessivo de arroz de terras altas sob sistema de semeadura direta dos atributos físicos do Latossolo Vermelho ácrico estudado ($n = 39$).

Atributos	Média	Mediana	Máximo	Mínimo	Desvio-padrão	Variância
Densidade do solo (Mg m^{-3})	1,26	1,25	1,41	1,14	0,06	0,004
Porosidade total ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)	0,53	0,53	0,57	0,47	0,02	< 0,001
Microporosidade ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)	0,38	0,38	0,41	0,33	0,02	< 0,001
Macroporosidade ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)	0,15	0,15	0,21	0,08	0,03	0,001
Agregados com diâmetro > 2 mm (%)	64,90	64,20	84,80	39,80	9,90	98,084
Diâmetro médio ponderado dos agregados (mm)	6,90	6,70	10,80	3,80	1,66	2,743
Resistência do solo à penetração (MPa)	1,42	1,41	1,96	1,14	0,19	0,037
Índice S	0,05	0,05	0,06	0,03	0,01	< 0,001

O valor médio da resistência do solo à penetração (RP) e a mediana esteve ao redor de 1,4 MPa (Tabela 7). Valores maiores que 2 MPa têm sido comumente associados

como impeditivos para o crescimento das raízes (Taylor et al., 1966). O valor máximo de RP não ultrapassou esse limite, contudo Beutler et al. (2004b) verificaram que a compactação do solo a partir de um valor de RP de 1,82 MPa reduziu a produtividade do arroz de terras altas.

O diâmetro médio ponderado (DMP) e a porcentagem de agregados com diâmetro maior que 2 mm apresentaram valores médios de, respectivamente, 6,9 mm e 64,9% (Tabela 7). Esses valores são relativamente elevados e podem ser atribuídos ao não-revolvimento do solo e ao teor de carbono orgânico, que melhora a agregação do solo. Os dados encontrados no presente trabalho foram superiores aos encontrados por Costa Junior et al. (2011) ao avaliar a agregação do solo em áreas sob diferentes sistemas de manejo sob cultivo de soja no bioma Cerrado; e aos encontrados por Santos et al. (2012) na avaliação do efeito de diferentes culturas de cobertura sobre a estabilidade de agregados em Latossolo do Cerrado, sob semeadura direta.

Neste estudo o valor mínimo de porcentagem de agregados com diâmetro maior que 2 mm ficou acima do mínimo encontrado para áreas naturais e não degradadas em trabalho desenvolvido por Mendes et al. (2006) no sul de Minas Gerais e, segundo Siqueira et al. (1994), um bom crescimento vegetal depende da presença de agregados com diâmetro entre 1 e 10 mm estáveis que contenham quantidade suficiente de poros para reter água para o crescimento de micro-organismos e raízes. Desta maneira, a melhoria da estrutura promove o aumento da permeabilidade, da redução da erodibilidade e do escoamento superficial de água e, portanto, melhora a qualidade do solo.

Andrade & Stone (2009) estabeleceram para solos de Cerrado o limite do índice $S < 0,025$ para solos degradados fisicamente e $S \geq 0,045$ para solo com boa qualidade física. A média e a mediana relativas a esse índice situaram-se acima do limite superior (Tabela 7). O valor mínimo, por sua vez, situou-se entre esses dois limites, indicando que a utilização da semeadura direta contribuiu para manter a qualidade física do solo na maioria das situações. Segundo Dexter (2004a), a redução de S em áreas cultivadas pode estar associadas à redução do pico da distribuição de frequência de poros, resultando em um achatamento vertical da curva de retenção de água, na redução de poros estruturais, verificado aqui pelo baixo valor mínimo da macroporosidade.

O teor médio de carbono total e a mediana foram iguais a 25 g kg^{-1} ; para o nitrogênio total esses valores foram iguais a $1,9 \text{ g kg}^{-1}$ (Tabela 8). Siqueira Neto et al. (2009) encontraram o valor de 20 g kg^{-1} para o carbono total em um Latossolo Vermelho

distrófico sob semeadura direta no município de Rio Verde, GO, cultivado com a sucessão soja-milho ou sorgo, e Coser et al. (2007), no Distrito Federal, verificaram teores de nitrogênio total entre 0,8 e 1,3 g kg⁻¹ em um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com cevada. Observa-se que os teores de carbono e nitrogênio total encontrados neste trabalho são coerentes para solo de Cerrado sob cultivo.

Tabela 8. Medidas estatísticas descritivas de três áreas sob cultivo sucessivo de arroz de terras altas sob sistema de semeadura direta dos atributos químicos do Latossolo Vermelho ácrico estudado (n = 39).

Atributos	Média	Mediana	Máximo	Mínimo	Desvio-padrão	Variância
Carbono total (g kg ⁻¹)	25,00	25,00	31,60	20,20	2,38	5,685
Nitrogênio total (g kg ⁻¹)	1,90	1,90	2,40	1,40	0,27	0,074
pH em água	5,54	5,55	6,10	4,82	0,24	0,060
Teor de cálcio trocável (mmol _c dm ⁻³)	24,20	23,50	34,50	15,80	4,99	24,891
Teor de magnésio trocável (mmol _c dm ⁻³)	10,10	9,50	14,50	6,20	2,45	5,986
Teor de alumínio trocável (mmol _c dm ⁻³)	0,63	0,50	2,33	0,00	0,65	0,418
Teor de H+Al (mmol _c dm ⁻³)	48,20	46,50	73,00	36,80	8,32	69,260
Teor de fósforo disponível (mg dm ⁻³)	14,40	12,40	31,80	5,20	7,07	49,980
Teor de potássio disponível (mg dm ⁻³)	80,80	79,80	148,30	37,80	24,53	601,833
Teor de cobre disponível (mg dm ⁻³)	1,80	1,80	2,88	1,12	0,37	0,140
Teor de zinco disponível (mg dm ⁻³)	3,70	3,68	7,18	1,42	1,27	1,610
Teor de ferro disponível (mg dm ⁻³)	36,30	35,30	68,40	23,90	8,00	64,083
Teor de manganês disponível (mg dm ⁻³)	33,20	26,80	58,00	13,50	15,79	249,400
Capacidade de troca catiônica (mmol _c dm ⁻³)	84,70	85,60	104,50	71,00	6,33	40,058
Saturação por bases (%)	43,10	42,60	58,00	29,00	7,91	62,620

Considerando as médias e as medianas, o teor de alumínio classificou-se como baixo, os valores de pH e de acidez potencial como médios e os demais atributos como adequados ou altos (Tabela 8), segundo Sousa & Lobato (2004). No valor máximo, o teor

de alumínio classificou-se como baixo e a acidez potencial como alta; com relação ao valor mínimo, o pH classificou-se como baixo, os teores de fósforo, potássio e zinco como médios e o dos demais atributos como adequados ou altos (Sousa & Lobato, 2004).

O valor médio da capacidade de troca de cátions a pH 7 e a mediana situaram-se ao redor de $85,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, valor considerado médio segundo a classificação apresentada por Freire (2003); para a saturação por bases esses valores ficaram próximos de 43 % (Tabela 8). Em um estudo conduzido por Fageria (2001) por quatro anos consecutivos na avaliação da resposta da cultura do arroz de terras altas a diferentes níveis de saturação por bases, foi relatado que o valor adequado desse atributo para a cultura do arroz está em torno de 40 % e que a sua produtividade não foi influenciada pelos diferentes níveis de saturação por bases. Nesse mesmo estudo, o nível adequado de pH encontrado para a cultura de arroz foi de 5,6.

O teor de carbono orgânico total variou de 12,0 a 18,8 g kg^{-1} , situando-se na faixa média de acordo com a classificação apresentada por Freire (2003). O carbono da biomassa microbiana apresentou (CBM) valor médio de 202,3 mg kg^{-1} e mediana de 182,2 mg kg^{-1} ; para o nitrogênio da biomassa microbiana (NBM) esses valores foram, respectivamente, 29,8 e 29,2 mg kg^{-1} (Tabela 9). Santos et al. (2007) obtiveram produtividades de arroz de terras altas ao redor de 3000 kg ha^{-1} com manejos de solo que propiciaram valores 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 valores de NBM variando de 11,4 a 38,4 mg kg^{-1} , mesma ordem de valores deste trabalho e superiores ao encontrado por Nascimento et al. (2009) equivalente a 19,29 mg kg^{-1} , em Latossolo Vermelho cultivado por feijão em semeadura direta. Já Yusuf et al. (2009) constataram alta correlação entre a produtividade do milho e NBM ($r = 0,89$; $p < 0,01$), para valores desse atributo variando de 10,6 a 31,9 mg kg^{-1} .

O valor médio da atividade enzimática total (AET) foi de 89,0 $\mu\text{g FDA g}^{-1}$ solo seco h^{-1} e a mediana de 86,7 $\mu\text{g FDA g}^{-1}$ solo seco h^{-1} . Para as atividades da β -glicosidase e fosfatase ácida esses valores foram, respectivamente, 63,8 e 62,7 $\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1}$ solo seco h^{-1} e 332,6 e 308,0 $\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1}$ solo seco h^{-1} (Tabela 9), valores compatíveis, embora superiores, aos encontrados por Ferreira et al. (2011) para a mesma classe de solo, no florescimento do milho cultivado sob semeadura direta. A AET, contudo, apresentou valores inferiores aos observados por esses autores.

Tabela 9. Medidas estatísticas descritivas de três áreas sob cultivo sucessivo de arroz de terras altas sob sistema de semeadura direta dos atributos biológicos do Latossolo Vermelho ácrico estudado e da produtividade do arroz (n = 39).

Atributos/Produtividade	Média	Mediana	Máximo	Mínimo	Desvio-padrão	Variância
Carbono orgânico total (g kg ⁻¹)	14,00	13,80	18,80	12,00	1,42	2,017
Carbono da biomassa microbiana (mg kg ⁻¹)	202,30	182,20	404,40	113,20	74,34	5526,004
Nitrogênio da biomassa microbiana (mg kg ⁻¹)	29,80	29,20	53,40	14,20	10,34	106,811
Atividade enzimática total (µg FDA g ⁻¹ solo seco h ⁻¹)	89,00	86,70	176,50	48,80	26,19	685,901
Atividade da β-glicosidase (µg p-nitrofenol g ⁻¹ solo seco h ⁻¹)	63,80	62,70	98,40	32,40	12,74	162,416
Atividade da fosfatase ácida (µg p-nitrofenol g ⁻¹ solo seco h ⁻¹)	322,60	308,00	554,50	173,10	97,50	9506,311
Respiração basal do solo (mg C-CO ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹)	1,28	1,24	2,13	0,69	0,32	0,104
Quociente metabólico (mg C-CO ₂ kg ⁻¹ C-BM h ⁻¹)	7,03	7,04	12,07	2,99	2,24	5,009
Quociente microbiano (%)	1,43	1,35	2,82	0,76	0,46	0,210
Relação N-BM:N total (%)	1,52	1,39	2,45	0,81	0,40	0,164
Produtividade (kg ha ⁻¹)	1403,00	830,00	4558,00	103,00	1309,00	1713460,000

O valor médio e a mediana para a respiração basal (RB) e quociente metabólico (qCO₂) foram, respectivamente, 1,28 e 1,24 mg C-CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ e 7,03 e 7,04 mg C-CO₂ kg⁻¹ C-BM h⁻¹, valores superiores aos observados por Ferreira et al. (2011), indicando ambientes com maior grau de distúrbio ou estresse.

O quociente microbiano (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 e a mediana foram superiores a 1 %, contudo o valor mínimo foi inferior a esse valor (Tabela 9), indicando que em algumas situações a atividade dos micro-organismos pode ter sido prejudicada, o que também pode ser observado com a relação NBM:N total, que apresentou valores entre 0,81 e 2,45 %, sendo considerado adequados valores acima de 1 % (Coser et al., 2007).

A produtividade média do arroz foi de 1403 kg ha⁻¹ e, a mediana, 830 kg ha⁻¹ (Tabela 9), valores abaixo da média do Estado de Goiás no ano de 2011, que foi de 2162

kg ha⁻¹ (Embrapa, 2013), devido à inclusão de áreas de segundo (628 kg ha⁻¹) e terceiro ano (712 kg ha⁻¹) de cultivo de arroz. Quando o arroz de terras altas é cultivado por dois ou mais anos na mesma área ocorre queda acentuada da sua produtividade em relação ao primeiro cultivo (2266 kg ha⁻¹), o que tem sido atribuído a efeitos alelopáticos (Fageria & Baligar, 2003). Já Kluthcouski et al. (2000) atribuíram a pouca adaptação do arroz ao sistema de semeadura direta à compactação do solo e redução na macroporosidade.

A produtividade foi afetada negativamente pela microporosidade e pelo quociente metabólico e apresentou correlação significativa e positiva com os teores de nitrogênio total, cobre, ferro, manganês e carbono e nitrogênio da biomassa microbiana, e com a atividade enzimática total e da fosfatase ácida, quociente microbiano e relação N-BM:N total (Tabela 10).

O aumento da microporosidade ocorre com a compactação do solo, que reduz o tamanho dos poros. Na semeadura direta, como não há o revolvimento do solo, as pressões causadas pelo tráfego de máquinas e a acomodação natural das partículas elevam o estado de compactação do solo. Beutler et al. (2004a) também observaram correlação negativa entre a microporosidade e a produtividade do arroz.

Valores elevados do qCO₂ são indicativos de ecossistemas submetidos a alguma condição de estresse ou distúrbio (Chaer & Tótola, 2007; Santos et al., 2007). Zilli et al. (2008) constataram alterações na comunidade microbiana do solo com o uso do herbicida glifosato. Essas alterações, embora muitas vezes sejam consideradas temporárias, podem representar ruptura do equilíbrio biodinâmico no solo, interferindo diretamente na decomposição/mineralização da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes, supressão de doenças, entre outros. Ao longo do tempo, essas alterações podem representar a perda da qualidade do solo. Além disso, é possível que o acúmulo de exsudatos liberados pelas plantas de arroz com os cultivos sucessivos também altere a comunidade microbiana (Fageria & Baligar, 2003).

Outra possível causa de perturbação da comunidade microbiana é a redução da porosidade de aeração com o aumento da microporosidade em detrimento da macroporosidade, que fornecem importantes microhabitats para a atividade microbiana (Dick, 1992), uma vez que a correlação entre o quociente metabólico e a microporosidade foi significativa e positiva ($r = 0,52$; $p < 0,01$).

Tabela 10. Correlação de Pearson entre os atributos do solo e a produtividade do arroz de terras altas em três áreas sob sistema de semeadura direta (n = 39).

Atributos	Correlação		Atributos	Correlação	
	r	p		r	p
Densidade do solo (Mg m^{-3})	0,14	0,392	Teor de cobre disponível (mg dm^{-3})	0,58	<0,001
Porosidade total ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)	-0,14	0,392	Teor de zinco disponível (mg dm^{-3})	-0,16	0,313
Microporosidade ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)	-0,40	0,012	Teor de ferro disponível (mg dm^{-3})	0,45	0,004
Macroporosidade ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)	0,13	0,442	Teor de manganês disponível (mg dm^{-3})	0,60	<0,001
Agregados com diâmetro > 2 mm (%)	0,17	0,302	Capacidade de troca catiônica ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	0,24	0,138
Diâmetro médio ponderado dos agregados (mm)	0,07	0,683	Saturação por bases (%)	0,04	0,784
Resistência do solo à penetração (MPa)	-0,10	0,546	Carbono orgânico total (g kg^{-1})	0,31	0,052
Índice S	-0,26	0,115	Carbono da biomassa microbiana (mg kg^{-1})	0,51	<0,001
Carbono total (g kg^{-1})	0,17	0,304	Nitrogênio da biomassa microbiana (mg kg^{-1})	0,64	<0,001
Nitrogênio total (g kg^{-1})	0,37	0,020	Atividade enzimática total ($\mu\text{g FDA g}^{-1} \text{ solo seco h}^{-1}$)	0,43	0,006
pH em água	-0,07	0,656	Atividade da β -glicosidase ($\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo seco h}^{-1}$)	0,22	0,176
Teor de cálcio trocável ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	0,16	0,340	Atividade da fosfatase ácida ($\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo seco h}^{-1}$)	0,63	<0,001
Teor de magnésio trocável ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	0,08	0,627	Respiração basal do solo ($\text{mg C-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$)	0,11	0,492
Teor de alumínio trocável ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	0,07	0,648	Quociente metabólico ($\text{mg C-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ C-BM h}^{-1}$)	-0,39	0,015
Teor de H+Al ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	0,08	0,627	Quociente microbiano (%)	0,47	0,002
Teor de fósforo disponível (mg dm^{-3})	-0,16	0,341	Relação N-BM:N total (%)	0,60	<0,001
Teor de potássio disponível (mg dm^{-3})	-0,19	0,245			

A correlação positiva da produtividade com o teor de nitrogênio total do solo é devida, provavelmente, ao fato de as plantas de arroz na fase inicial de crescimento apresentarem baixa capacidade de redução do nitrato, o qual, em função das condições favoráveis ao processo de nitrificação, seria a forma de nitrogênio mineral predominante na camada superficial do solo (Soares, 2004). O não aproveitamento do nitrato seria em razão da baixa atividade da enzima redutase do nitrato nessa fase. Assim, o arroz depende

de constante fornecimento de nitrogênio amoniacal nessa fase, o que pode ser obtido pela decomposição da matéria orgânica do solo sabendo que, quanto maior o seu teor no solo, provavelmente maior o fornecimento de nitrogênio amoniacal para o arroz. Segundo Cobucci (1991), o nitrogênio é um dos nutrientes que apresentam os maiores efeitos no aumento da produtividade no sistema agrícola e, a aplicação de doses adequadas de N, é um dos fatores que determinam a eficiência da adubação nitrogenada.

Observou-se correlação positiva ($r = 0,70$; $p < 0,01$) entre nitrogênio total e nitrogênio da biomassa microbiana. Segundo Coser et al. (2007), pequenas mudanças na estrutura da biomassa microbiana podem resultar em grandes mudanças no N-BM e, portanto, no teor de nitrogênio total. Assim, é possível, como discutido anteriormente, que o aumento da microporosidade tenha afetado a comunidade microbiana com reflexos no N-BM, uma vez que a correlação entre esse atributo e a microporosidade foi negativa ($r = -0,50$; $p < 0,01$). Isso se refletiu na produtividade do arroz, visto que ela apresentou correlação positiva com o N-BM. Além disso, o uso do glifosato e o acúmulo de exsudatos liberados pelas plantas de arroz pelos cultivos sucessivos também podem ter afetado o acúmulo de nitrogênio pela biomassa microbiana.

No sistema de semeadura direta não há revolvimento de solo, implicando numa lenta decomposição da matéria orgânica do solo, com a conseqüente liberação lenta de nitrogênio amoniacal. Se esse pouco nitrogênio amoniacal produzido na mineralização não for absorvido pela planta, é imobilizado pelos micro-organismos ou rapidamente nitrificado a nitrato, uma vez que na superfície do solo o meio é rico em oxigênio. Assim, no sistema de semeadura direta, o arroz sofre intensa carência de nitrogênio amoniacal, em razão da já comentada baixa atividade da redutase do nitrato. Essa deficiência afeta fortemente o desenvolvimento radicular, o perfilhamento e o desenvolvimento inicial do arroz (Soares, 2004).

A correlação positiva entre produtividade com os teores de cobre, ferro e manganês pode ser devida ao fato do glifosato afetar a absorção desses micronutrientes pela formação de compostos insolúveis (Coutinho & Mazo, 2005), assim, quanto maior o seu teor no solo, maior a disponibilidade para absorção pelo arroz. Em algumas parcelas as plantas de arroz apresentavam sintomas visuais de deficiência de cobre. Ademais, Huber (2007) constatou 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 Mn^{2+} , forma ativa, absorvível pelas plantas, em

Mn⁴⁺, forma inativa, não absorvível pelas plantas.

A microporosidade apresentou correlação negativa com os teores de cobre ($r = -0,62$; $p < 0,01$), ferro ($r = -0,59$; $p < 0,01$) e manganês ($r = -0,57$; $p < 0,01$). Como uma das principais fontes desses micronutrientes é a matéria orgânica, com o incremento da microporosidade a quantidade e atividade dos micro-organismos que fazem a sua ciclagem pode ter sido afetada, uma vez que tanto o carbono da biomassa microbiana como a atividade enzimática total apresentaram correlação negativa com a microporosidade ($r = -0,54$; $p < 0,01$ e $r = -0,58$; $p < 0,01$, respectivamente).

Ogunremi et al. (1986) verificaram que altas produtividades de arroz de terras altas estavam associadas com a maior absorção de cobre e manganês, entre outros nutrientes, nos estádios de máximo perfilhamento e floração.

A correlação da produtividade com o C-BM pode ser explicada pelo fato de que maior quantidade de C-BM 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 (Stenberg, 1999). O C-BM apresentou correlação positiva com os teores de cobre ($r = 0,63$; $p < 0,01$), ferro ($r = 0,76$; $p < 0,01$) e manganês ($r = 0,55$; $p < 0,01$).

A atividade enzimática total é utilizada como indicador geral da atividade hidrolítica do solo, medida pelas atividades de proteases, lipases e esterases, que são capazes de clivar compostos fluorogênicos (Taylor et al., 2002). Quanto maior o seu valor maior é o efeito no ciclo de energia do sistema solo-planta e de nutrientes no solo, sinalizando a importância da decomposição de materiais orgânicos para a produtividade do arroz. A AET também apresentou correlação positiva com os teores de cobre ($r = 0,56$; $p < 0,01$), ferro ($r = 0,75$; $p < 0,01$) e manganês ($r = 0,57$; $p < 0,01$) e negativa com a microporosidade ($r = 0,53$; $p < 0,001$).

A atividade da fosfatase ácida (AFA) está relacionada com a mineralização do fósforo. Os teores de fósforo no solo variaram de médios a altos, assim é possível que em algumas situações a atuação mais efetiva da AFA na ciclagem do fósforo orgânico tenha contribuído de forma relevante para a nutrição fosfatada do arroz, uma vez que ela apresentou correlação positiva com a produtividade do arroz ($r = 0,63$; $p < 0,01$). A AFA também apresentou correlação positiva com o C-BM ($r = 0,68$; $p < 0,01$), o que é coerente, uma vez que as fosfatases originam-se predominantemente da biomassa microbiana.

O quociente microbiano reflete o padrão do aporte de matéria orgânica do solo,

a eficiência da conversão do carbono microbiano, as perdas de carbono do solo e a estabilização do carbono orgânico pelas frações minerais do solo. Assim, q_{MIC} indica se o conteúdo de carbono está se mantendo estável ou variando de acordo com as condições impostas ao ambiente (Tótola & Chaer, 2002). Maiores valores de q_{MIC} indicam condições apropriadas para o desenvolvimento microbiano, as quais podem decorrer da adição de matéria orgânica de boa qualidade ou eliminação de algum fator limitante (Chaer & Tótola, 2007). A correlação positiva com a produtividade do arroz sinaliza a importância da microbiota do solo para essa cultura.

A relação N-BM:N total oferece uma estimativa da quantidade de nutriente, disponibilidade de substrato e a dinâmica da matéria orgânica no solo, pois, quanto maior seu valor, melhor será a qualidade da matéria orgânica (Coser et al., 2007) e maior a produtividade do arroz.

Considerando todos os atributos do solo, os que melhor explicaram de maneira conjunta a produtividade do arroz (PROD) foram os teores de cobre (Cu), ferro (Fe) e nitrogênio da biomassa microbiana (N-BM) e a atividade da fosfatase ácida (AFA), sendo ajustada a seguinte equação de regressão linear múltipla (* e **; níveis de significância de 1 e 5% respectivamente):

$$\text{PROD} = -2337,8^{**} + 2663,9 \text{ Cu}^{**} - 115,2 \text{ Fe}^{**} + 26,6 \text{ N-BM}^* + 7,2 \text{ AFA}^{**}$$
$$R^2 = 0,58^{**}$$

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 58% da produtividade pode ser considerada altamente satisfatória e atribuída à escolha de áreas e locais com alta variabilidade nos atributos e na produtividade.

A presença da AFA nessa equação realça a importância do fósforo orgânico e sinaliza que em algumas situações o fósforo fornecido via fertilizante e presente na solução do solo pode não estar sendo suficiente para a nutrição do arroz. 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.

O N-BM reflete o papel da biomassa microbiana na ciclagem de nutrientes no solo, especialmente do nitrogênio. Esse atributo é altamente afetado pelo tipo do substrato,

sendo favorecido pelas leguminosas, e pode representar mais de 5% do total de N no solo, influenciando a disponibilidade de nutrientes e a produtividade dos agroecossistemas (Yusuf et al., 2009). Neste trabalho, o N-BM variou entre 0,8 e 2,45% do N total (Tabela 9). Assim, apesar de alguns antecedentes culturais impactarem mais positivamente esse atributo, há necessidade de mais estudos no sentido de se estabelecer as rotações mais adequadas para o arroz de terras altas, uma vez que o N-BM é um indicador muito sensível da qualidade de solos com teores de carbono orgânico menores que 25 g kg⁻¹ (Yusuf et al., 2009), como grande parte dos solos de Cerrado.

O cobre provavelmente foi consequência da deficiência desse nutriente apresentada por plantas de arroz, talvez em razão da sua indisponibilidade pela aplicação de glifosato ou problemas na sua ciclagem por alterações na comunidade microbiana, como já discutido. A presença do ferro com sinal negativo provavelmente é para manter o equilíbrio com o cobre, uma vez que esses nutrientes apresentaram alta correlação positiva ($r = 0,84$; $p < 0,01$).

Desta maneira, manejos que aportem matéria orgânica de boa qualidade e favoreçam a quantidade e a atividade dos micro-organismos 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.

5 CONCLUSÕES

Com exceção dos teores de potássio e cobre, quocientes metabólico e microbiano e relação nitrogênio da biomassa microbiana:nitrogênio total, todos os atributos da qualidade do solo são alterados pelo cultivo do arroz de terras altas sob sistema de semeadura direta, quando comparados com a condição do ambiente de mata nativa.

Os atributos responsáveis por discriminar as áreas de cultivo sucessivo de arroz de terras altas sob sistema de semeadura direta são os teores de potássio, cobre e manganês, os quocientes metabólico e microbiano e a relação nitrogênio da biomassa microbiana:nitrogênio total.

Os teores de cobre e de manganês, quociente microbiano e relação nitrogênio da biomassa microbiana:nitrogênio total são maiores em área sob cultivada apenas com um ano de cultivo de arroz de terras altas sob sistema de semeadura direta, quando comparada à áreas sob cultivo sucessivo por dois e três anos.

Ocorre aumento do quociente metabólico com os sucessivos anos de cultivo do arroz de terras altas sob sistema de semeadura direta, indicando situação de maior estresse ou distúrbio na microbiota do solo.

Os atributos do solo que favorecem a produtividade do arroz de terras altas sob sistema de semeadura direta são os teores de nitrogênio total, cobre, ferro, manganês, carbono e nitrogênio da biomassa microbiana, atividade enzimática total e da fosfatase ácida, quociente microbiano e relação nitrogênio da biomassa microbiana:nitrogênio total. Já os atributos que desfavorecem são a microporosidade e o quociente metabólico.

Os teores de cobre, ferro e nitrogênio da biomassa microbiana e a atividade enzimática da fosfatase ácida são os atributos do solo que, de maneira conjunta, apresentam maior correlação com a produtividade do arroz de terras altas sob sistema de semeadura direta.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEONI, L. R. F.; CAMBRI, M. A.; CAIRES, E. F. Atributos químicos de um Latossolo de Cerrado sob plantio direto, de acordo com doses e formas de aplicação de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 6, p. 923-934, 2005.

ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient (qCO_2) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 25, n. 9, p. 393-395, 1993.

ANDRADE, R. S.; STONE, L. F. Índice S como indicador da qualidade física de solos do cerrado brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 4, p. 382-388, 2009.

ANDRADE, R. S.; STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Culturas de cobertura e qualidade física de um Latossolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 4, p. 411-418, 2009.

ANDRÉA, M. M.; PERES, T. B.; LUCHINI, L. C.; BAZARIN, S.; PAPINI, S.; MATALLO, M. B.; SAVOY, V. L. T. Influence of repeated applications of glyphosate on its persistence and soil bioactivity. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 11, p. 1329-1335, 2003.

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob Cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 1099-1108, 2007.

BARACK, R.; CHET, I. Determination, by fluorescein diacetate staining, of fungal viability during mycoparasitism. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 18, n. 3, p. 315-319, 1986.

BARRIGOSI, J. A. F.; LANNA, A. C.; FERREIRA, E. **Agrotóxicos no cultivo do arroz no Brasil: análise do consumo e medidas para reduzir o impacto ambiental negativo**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2004, 8 p. (Circular Técnica, 67).

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n. 1, p. 105-112, 1997.

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J. A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZOLDAN JÚNIOR, W. A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 155-163, 2004.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; ROQUE, C. G. Relação entre alguns atributos físicos e a produção de grãos de soja e arroz de sequeiro em latossolos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 2, p. 365-371, 2004a.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SILVA, Á. P.; ROQUE, C. G.; FERRAZ, M. V. Compactação do solo e intervalo hídrico ótimo na produtividade de arroz de sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 6, p. 575-580, 2004b.

BIELESKI, R. L. Phosphate pools, phosphate transport, and phosphate availability. **Annual review of plant physiology**, Paolo Alto, v. 24, n. 1, p. 225-252, 1973.

BORTOLUZZI, E. C.; ELTZ, F. L. F. Efeito do manejo mecânico da palhada de aveia preta sobre a cobertura, temperatura, teor de água no solo e emergência da soja em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 449-457, 2000.

BROOKES, P. C.; LANDMAN, A.; PRUDEN, G.; JENKINSON, D. S. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 17, n. 6, p. 837-842, 1985.

CANHOS, V. P.; UMINO, C. Y.; MANFIO, G. P. Coleções de culturas de microrganismos. **Biodiversidade do Estado de São Paulo, Brasil. Síntese do Conhecimento no Final do Século XX**. São Paulo: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, v. 7, 1999. p. 84-101.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 147-157, 2009.

CARTER, M. R. Relative measures of soil bulk density to characterize compaction in tillage studies of fine sandy loam. **Soil Science**, New Brunswick, v. 70, n. 3, p. 425-433, 1990.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PADANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo dostrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de cultura e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 3, p. 527-538, 1998.

CATTELAN, A. J.; VIDOR, C. Flutuações na biomassa, atividade e população microbiana do solo, em função de variações ambientais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 14, n. 2, p. 133-142, 1990.

CHAER, G. M.; TÓTOLA, M. R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1381-1396, 2007.

COBUCCI, T. **Efeitos de doses e épocas de aplicação em cobertura do adubo nitrogenado no consócio milho-feijão**. 1991. 94 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia)– Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1991.

CONAB - Companhia Nacional de abastecimento. **Produção de grãos: safra 2010/2011 4º levantamento**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 20 de setembro 2013.

CONTE, E.; ANGHINONI, I.; RHEINHEIMER, D. S. Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatase ácida após aplicação de fosfato em solo no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 925-930, 2002.

COSER, T. R.; RAMOS, M. L. G.; AMABILE, R. F.; RIBEIRO JÚNIOR, W. Q. Nitrogênio da biomassa microbiana em solo de Cerrado com aplicação de fertilizante nitrogenado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 3, p. 399-406, 2007.

COSTA JUNIOR, C.; PICCOLO, M. D. C.; CAMARGO, P. B.; BERNOUX, M. M. Y.; SIQUEIRA NETO, M. Nitrogênio e abundância natural de ¹⁵N em agregados do solo no bioma Cerrado. **Ensaio e Ciência**, São Paulo, v. 15, n. 2, p. 47-66, 2011.

COUTINHO, C. F. B.; MAZO, L. H. Complexos metálicos com o herbicida glifosato: revisão. **Química Nova**, Massachusetts, v. 28, n. 6, p. 1038-1045, 2005.

CRUZ, A. C. R.; PAULETTO, E. A.; FLORES, C. A.; SILVA, J. B. Atributos físicos e carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1105-1112, 2003.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 1994, 390 p.

DECHEM, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS, F. N.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. F. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. N. (Ed.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 91-132.

DENG, S. P.; TABATABAI, M. A. Effect of tillage and residue management on enzyme activities in soils: III. Phosphatases and arylsulfatase. **Biology and Fertility of soils**, Berlin, v. 24, n. 2, p. 141-146, 1997.

DERPSCH, R.; ROTH, C. H.; SIDIRAS, N.; KÖPKE, U. **Controle da erosão no Paraná, Brasil**: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. Eschborn: GTZ, 1991, 272 p.

DEXTER, A. R. Soil physical quality. Part 1. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, Amsterdam, v. 120, n. 3-4, p. 201-214, 2004a.

DEXTER, A. R. Soil physical quality. Part II. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, Amsterdam, v. 120, n. 3-4, p. 215-225, 2004b.

DEXTER, A. R. Soil physical quality. Part III. Unsaturated hydraulic conductivity and general conclusions about S-theory. **Geoderma**, Amsterdam, v. 120, n. 3-4, p. 227-239, 2004c.

DIAS, A. F.; SILVA, F. N.; MAIA, S. S. S. Resposta do arroz de sequeiro à adubação com NPK em solos do município de Ji-Paraná/Rondônia. **Revista Verde**, Mossoró, v. 2, n. 3, p. 120-124, 2010.

DICK, R. P. A review: long-term effects of agricultural systems on soil biochemical and microbial parameters. **Agricultural Ecosystems Environmental**, Zürich, v. 40, n. 1-4, p. 25-36, 1992.

DICK, W. A.; TABATABAI, M. A. Significance and potential uses of soil enzymes. In: METTING JUNIOR, F. B. (Ed.). **Soil microbial ecology applications in agricultural and environmental management**. New York: M. Dekker, 1993. p. 95-127.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDIECEK, D. F.; STEWART, B. A. (Ed.). **Denining soil quality for a sutainable environment**. Madison: Soil Science Society of America Journal, 1994. p. 3-21. (Special Publication, 35).

DUFF, S. M.; PLAXTON, W. C.; LEFEBVRE, D. D. Phosphate-starvation response in plant cells: de novo synthesis and degradation of acid phosphatases. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, v. 88, n. 21, p. 9538-9542, 1991.

EBERHARDT, D. N.; VENDRAME, P. R. S.; BECQUER, T.; GUIMARÃES, M. F. Influência da granulometria e da mineralogia sobre a retenção do fósforo em latossolos sob pastagens no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 1009-1016, 2008.

EIRA, A. F., Influência da cobertura morta na biologia do solo. In: 1º Seminário sobre Cultivo Mínimo do Solo em Florestas, 1995, Curitiba. **Anais I Seminário sobre cultivo mínimo do solo em Florestas**. p. 16-3.

EIVAZI, F.; TABATABAI, M. A. Factors affecting glucosidase and galactosidase and activities in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 22, n. 7, p. 891-897, 1990.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa CNPS, 1997, 212 p. (Documentos 1).

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Tecnologias de Produção de Soja - Região Central do Brasil 2012 e 2013**. Londrina: Embrapa Soja, 2011, 261 p. (Sistemas de Prudução, 15).

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sócioeconomia**. Disponível em: <<http://www.cnpaf.embrapa.br/socioeconomia/index.htm>>. Acesso em: 8 de fevereiro de 2013.

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**, Campina Grande, v. 5, n. 3, p. 416-424, 2001.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Upland rice and allelopathy. **Communications in soil science and plant analysis**, Georgia, v. 34, n. 9-10, p. 1311-1329, 2003.

FAGERIA, N. K.; FERREIRA, E.; PRABHU, A. S.; BARBOSA FILHO, M. P.; FILIPPI, M. C. **Seja o doutor do seu arroz**. Piracicaba: Patafós, 1995, 24 p. (Arquivo Agrônomo, nº 9).

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/home/index.html#DOWNLOAD>>. Acesso em: 8 de junho de 2013.

FERNANDES, C.; MURAOKA, T. Absorção de fósforo por híbridos de milho cultivados em solo de cerrado. **Scientia Agricola**, v. 59, n. 4, p. 781-787, 2002.

FERREIRA, E. P. B.; WENDLAND, A.; DIDONET, A. D. Microbial biomass and enzyme activity of a Cerrado Oxisol under agroecological production system. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 4, p. 899-907, 2011.

FERREIRA, J. M. L. **Indicadores de qualidade do solo e de sustentabilidade em cafeeiros arborizados**. 2005. 90 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas)—Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

FIORIN, J. E., Plantas recuperadoras da fertilidade do solo. In: Curso sobre aspectos básicos de fertilidade e microbiologia do solo em plantio direto, 3, 1999, Passo Fundo. **Resumos...** Aldeia Norte. p. 92.

FREIRE, F. M. **Interpretação de resultados de análise de solo**. Sete Lagoras: Embrapa Milho e Sorgo, 2003, 4 p. (Comunicado Técnico, 82).

GEORGE, T.; MAGBANUA, R.; GARRITY, D. P.; TUBAÑA, B. S.; QUITON, J. Rapid yield loss of rice cropped successively in aerobic soil. **Agronomy Journal**, Madison, v. 94, n. 5, p. 981-989, 2002.

GHINI, R.; MENDES, M. D. L.; BETTIOL, W. Método de hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA) como indicador de atividade microbiana no solo e supressividade *Rhizoctonia solani*. **Summa phytopathol**, Campinas, v. 24, n. 3/4, 1998.

GODOI, L. C. L. **Propriedades microbiológicas de solos em áreas degradadas e recuperadas na região dos cerrados goianos**. 2001. 87 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)—Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2001.

GOEDERT, W. J.; SCHEMACK, M. J.; FREITAS, F. C. Estado de compactação do solo em áreas cultivadas no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 2, p. 223-227, 2002.

GUIMARÃES, C. M. Cultivo de arroz de terras altas. **Sistemas de Produção**, Santo Antônio de Goiás, n. 1, 2003. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/ArrozTerrasAltas/plantio.htm>>. Acesso em: junho de 2013. Versão eletrônica. Embrapa Arroz e Feijão.

GUIMARÃES, C. M.; MOREIRA, J. A. A. Compactação do solo na cultura do arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 4, p. 703-707, 2001.

GUIMARÃES, C. M.; SANTOS, A. B.; MAGALHÃES, A. M.; STONE, L. F. Sistemas de cultivo. In: SANTOS, A. B.; STONE, L. F.; VIEIRA, N. R. A. (Ed.). **A cultura do arroz no Brasil**. 2 ed. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006a. p. 53-96.

GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F.; CASTRO, E. M. Comportamento de cultivares de arroz de terras altas no sistema plantio direto em duas profundidades de adubação. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 22, n. 1, p. 53-59, 2006b.

GUIMARÃES, C. M.; YOKOYAMA, L. P. O arroz em rotação com a soja. In: BRESEGHELLO, F.; STONE, L. F. (Ed.). **Tecnologia para o arroz de terras altas**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1998. p. 19-24.

HAMBLIN, A. P. The influence of soil structure on water movement, crop root growth, and water uptake. **Advances in Agronomy**, Western Australia, v. 38, p. 95-158, 1986.

HENKLAIN, J. C., Influência do tempo no manejo do sistema de semeadura direta e suas implicações nas propriedades físicas do solo. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 26, 1997, Rio de Janeiro. **Resumos...** Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p. 378.

HOFFMANN, C.; JUNGK, A. Growth and phosphorus supply of sugar beet as affected by soil compaction and water tension. **Plant and Soil**, Dodrecht, v. 176, n. 1, p. 15-25, 1995.

HUBER, D. M., Efeitos do glifosato em doenças de plantas. In: Simpósio sobre Problemas de Nutrição e de Doenças de Plantas na Agricultura Moderna: Ameaças à Sustentabilidade?, 1, 2007, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: INPI, 2007. CD Rom.

INSAM, H.; DOMSCH, K. H. Relationship between soil organic carbon and microbial biomass on chronosequences of reclamation sites. **Microbial Ecology**, Cambridge, v. 15, n. 2, p. 177-188, 1988.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Ohio, v. 79, n. 1, p. 9-16, 2000.

JAKELAITIS, A.; SILVA, A. A.; SANTOS, J. B.; VIVIAN, R. Qualidade da camada superficial de um solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 38, n. 2, p. 118-127, 2008.

JENKINSON, D. S.; LADD, J. N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: PAUL, E. A.; LADD, J. N. (Ed.). **Soil biochemistry**. New York: Marcel Decker, v. 5, 1981. p. 415-471.

JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. A method for measuring soil biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 8, n. 3, p. 209-213, 1976.

JORGE, J. A.; CAMARGO, O. A. D.; VALADARES, J. M. A. S. Condições físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro quatro anos após aplicação de lodo de esgoto e calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, n. 3, p. 237-240, 1991.

JOSHI, S. R.; SHARMA, G. D.; MISHRA, R. R. Microbial enzyme activities related to litter decomposition near a highway in a sub-tropical forest of North East India. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 25, n. 12, p. 1763-1770, 1993.

KAYOMBO, B.; LAL, R. Effects of soil compaction by rolling on soil structure and development of maize in no-till and disc ploughing systems on a Tropical Alfisol. **Soil and Tillage Research**, Giessen, v. 7, n. 1-2, p. 117-134, 1986.

KITUR, B. K.; SMITH, M. S.; BLEVINS, R. L.; FRYE, W. W. Fate of ¹⁵N depleted ammonium nitrate applied to no-tillage and conventional tillage corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 76, n. 2, p. 240-242, 1984.

KLUTHCOUSKI, J.; FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D.; RIBEIRO, C. M.; FERRARO, L. A. Manejo do solo e o rendimento de soja, milho, feijão e arroz em plantio direto. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 1, p. 97-104, 2000.

LAL, R.; GREENLAND, D. J. **Soil physical properties and crop production in the tropics**. Chichester: John Wiley & Sons Ltd., 1979, 273 p.

LANNA, A. C. **Impacto ambiental de tecnologias, indicadores de sustentabilidade e metodologias de aferição**: uma revisão. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002, 31 p. (Documentos, 144).

LANNA, A. C.; CARVALHO, M. A. F.; HEINEMANN, A. B.; STEIN, V. C. **Panorama Ambiental e Físio-Molecular do Arroz de Terras Altas**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2012, 32 p. (Documentos, 274).

LOPES, A. A. C.; SOUSA, D. M. G.; CHAER, G. M.; REIS JÚNIOR, F. B.; GOEDERT, W. J.; MENDES, I. C. Interpretation of Microbial Soil Indicators as a Function of Crop Yield and Organic Carbon. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 77, n. 2, p. 461-472, 2013.

LOPES, A. S. **Micronutrientes**: filosofias de aplicação e eficiência agrônômica. São Paulo: ANDA, 1999, 72 p. (Boletim Técnico nº 8).

MAGALHÃES, W. A.; CREMON, C.; MAPELI, N. C.; SILVA, W. M.; CARVALHO, J. M.; MOTA, M. S. Determinação da resistência do solo a penetração sob diferentes sistemas de cultivo em um Latossolo sob Bioma Pantanal. **Agrarian**, Dourados, v. 2, n. 6, p. 21-32, 2009.

MAGID, J.; TIESSEN, H.; CONDRON, L. M. Dynamics of organic phosphorus in soils under natural and agricultural ecosystems. In: PICCOLO, A. (Ed.). **Humic substances in terrestrial systems**. Amsterdam: Elsevier, 1996. p. 429-466.

MAPA - Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Arroz**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/arroz>>. Acesso em: 17 de julho de 2013.

MATSUOKA, M.; MENDES, I. C.; LOUREIRO, M. F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 425-433, 2003.

MELLO, F. A. F.; SOBRINHO, M. O. C. B.; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R. I.; NETTO, A. C.; KIEHL, J. C. **Fertilidade do solo**. 3ª ed. São Paulo: Nobel, 1989, 400 p.

MENDES, F. G.; MELLONI, E. G. P.; MELLONI, R. Aplicação de atributos físicos do solo no estudo da qualidade de áreas impactadas, em Itajubá/MG. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 3, p. 211-220, 2006.

MEURER, E. J. Fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento das plantas. In: NOVAIS, F. R.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. F. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 66-86.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2002, 626 p.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2 ed. Lavras: UFLA, 2006, 729 p.

MOURA NETO, F. P.; SOARES, A. A.; AIDAR, H. Desempenho de cultivares de arroz de terras altas sob plantio direto e convencional. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 5, p. 904-910, 2001.

NASCENTE, A. S. **Produtividade do arroz de terras altas em razão da época de dessecação das plantas de cobertura**. 2012. 94 f. Tese (Doutorado em Agronomia)– Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2012.

NASCENTE, A. S.; KLUTHCOUSKI, J.; RABELO, R. R.; OLIVEIRA, P.; COBUCCI, T.; CRUSCIOL, C. A. C. Desenvolvimento e produtividade de cultivares de arroz de terras altas em função do manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 2, 2011.

NASCIMENTO, J. B.; CARVALHO, G. D.; CUNHA, E. Q.; FERREIRA, E. P. B.; LEANDRO, W. M.; DIDONET, A. Determinação da biomassa e atividade microbiana do solo sob cultivo orgânico do feijoeiro-comum em sistema de plantio direto e convencional após cultivo de diferentes espécies de adubos verdes. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Curitiba, v. 4, n. 2, 2009.

NELSON, D. W.; SOMMERS, L. E. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: SPARKS, D. L.; PAGE, A. L.; HELMKE, P. A.; LOEPPERT, R. H.; SOLTANPOUR, P. N.; TABATABAI, M. A.; JOHNSTON, C. T.; SUMNER, M. E. (Ed.). **Methods of soil analysis. Part 3-chemical methods**. Madison: Soil Science of America and American Society of Agronomy, 1996. p. 961-1010.

NUNES, L. A. P. L.; ARAÚJO FILHO, J. A.; HOLANDA JÚNIOR, E. V.; MENEZES, R. Í. Q. Impacto da queimada e de enleiramento de resíduos orgânicos em atributos biológicos de solo sob caatinga no semi-árido nordestino. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 1, 2008.

ODUM, E. P. The strategy of ecosystem development. **Science**, New York, v. 164, n. 3877, p. 262-270, 1969.

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 and Tillage Research**, Giessen, v. 6, n. 4, p. 305-324, 1986.

OLIVEIRA, G. C.; DIAS JÚNIOR, M. S.; RESCK, D. V. S.; CURI, N. Alterações estruturais e comportamento compressivo de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 2, p. 291-299, 2003.

PARKIN, T. B.; DORAN, J. W.; FRANCO-VIZCAINO, E. Field and laboratory tests of soil respiration. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (Ed.). **Biology and Fertility of soils**. Madison: Soil Science Society of America Inc., 1996. p. 231-245. (Special Publication, 49).

PAUL, E. A.; CLARK, F. E. **Soil microbiology and biochemistry**. San Diego: Academic Press, 1989, 273 p.

PAUL, E. A.; HARRIS, D.; COLLINS, H. P.; SCHULTHESS, U.; ROBERTSON, G. P. Evolution of CO₂ and soil carbon dynamics in biologically managed, row-crop agroecosystems. **Applied Soil Ecology**, California, v. 11, n. 1, p. 53-65, 1999.

PEREIRA, J. A. **Cultura do arroz no Brasil**: subsídios para a sua história. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2002, 226 p.

PEREZ, K. S. S.; RAMOS, M. L. G.; MCMANUS, C. Nitrogênio da biomassa microbiana em solo cultivado com soja, sob diferentes sistemas de manejo, nos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 2, p. 137-144, 2005.

PINHEIRO, B. S.; CASTRO, E. M.; GUIMARÃES, C. M. Sustainability and profitability of aerobic rice production in Brazil. **Field Crops Research**, Bonn, v. 97, n. 1, p. 34-42, 2006.

PÔRTO, M. L.; ALVES, J. C.; DINIS, A. A.; SOUSA, A. P.; SANTOS, D. Indicadores biológicos de qualidade do solo em diferentes sistemas de uso no Brejo Paraibano. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 4, p. 1011-1017, 2009.

POWLSON, D. S.; PROOKES, 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 Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 19, n. 2, p. 159-164, 1987.

QUILCHANO, C.; MARANÓN, T. Dehydrogenase activity in Mediterranean forest soil. **Biology and Fertility of soils**, Berlin, v. 35, n. 2, p. 102-107, 2002.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **A language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing**. Viena, Áustria. 2011. Disponível em: <<http://www.r-project.org/>>. Acesso em: 25 Jan 2011.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Revista Ciência e Ambiente**, Santa Maria, v. 27, n. 1, p. 29-48, 2003.

REIS, M. S.; SOARES, A. A.; CORNÉLIO, V. M. O.; SOARES, P. C.; GUEDES, J. M.; COSTA JÚNIOR, G. T. Comportamento de genótipos de arroz de terras altas sob sistema de plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 4, p. 227-232, 2007.

RHEINHEIMER, D. S.; KAMINSKI, J.; LUPATINI, G. C.; SANTOS, E. J. S. Modificações em atributos químicos de solo arenoso sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 4, p. 713-722, 1998.

RODRIGUES, R. A. F.; SORATTO, R. P.; ARF, O. Manejo de água em arroz de terras altas no sistema de plantio direto, usando o tanque classe A. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 546-556, 2004.

ROSA, M. E. C.; OLSZEWSKI, N.; MENDONÇA, E. S.; COSTA, L. M.; CORREIA, J. R. Formas de carbono em Latossolo Vermelho eutroférrico sob plantio direto no sistema biogeográfico do Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 911-923, 2003.

SANDS, G. R.; PODMORE, T. H. A generalized environmental sustainability index for agricultural systems. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Ohio, v. 79, n. 1, p. 29-41, 2000.

SANTANA, D. P.; BAHIA FILHO, A. F. C., Soil quality and agricultural sustainability in the Brazilian Cerrado. In: World Congress of Soil Science, 1998, Montpellier. **Proceedings...** Montpellier: ISSS.

SANTANA, N. M. P.; SILVA, S. C.; STONE, L. F. Analogia de riscos climáticos para a cultura do arroz de terras altas em dois sistemas de cultivo no Estado de Goiás. In: BABINO, L. C.; VIEIRA, E. H. N. (Ed.). **1ª Semana de Iniciação Científica da Embrapa Arroz e Feijão e XII Semana de Iniciação Científica da Universidade Federal de Goiás - UFG**. 2004. p. 28-32. (Documentos 167).

SANTOS, G. G.; SILVEIRA, P. M.; MARCHÃO, R. L.; PETTER, F. A.; BECQUER, T. Atributos químicos e estabilidade de agregados sob diferentes culturas de cobertura em Latossolo do cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 11, p. 1171-1178, 2012.

SANTOS, T. E. B.; NAKAYAMA, F. T.; ART, O.; CASSIOLATO, A. M. R. Variáveis microbiológicas e produtividade do arroz sob diferentes manejos de solo e água. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 29, n. 3, p. 355-366, 2007.

SCHMITZ, J. A. K. **Indicadores biológicos de qualidade do solo**. 2003. 234 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo)–Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

SILVA, F. F.; FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F.; ARATANI, R. G.; FLÁVIA, A. F.; ANDRIOLI, I. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho cultivado no sistema plantio direto. **Irriga**, Botucatu, v. 13, n. 2, p. 191-204, 2008.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, F. N.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. F. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES,

J. C. L. N. (Ed.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 275-374.

SILVA, S. C.; HEINEMANN, A. B.; AMORIN, A. O. **Informações meteorológicas para pesquisa e planejamento agrícola, referentes ao ano de 2009, do município de Santo Antônio de Goiás, GO**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2010, 32 p. (Documentos, 256).

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Resistência mecânica do solo à penetração influenciada pelo tráfego de uma colhedora em dois sistemas de manejo do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 5, p. 795-801, 2000a.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REINERT, J. M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 1, p. 191-199, 2000b.

SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; GRISI, B. M.; HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R. S. **Microorganismos e processos biológicos do solo: perspectiva ambiental**. Brasília: Embrapa, 1994, 142 p. (Documento, 45).

SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M. C.; SCOPEL, E.; COSTA JÚNIOR, C.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Carbono total e atributos químicos com diferentes usos do solo no Cerrado. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 4, p. 709-717, 2009.

SOANE, B. D.; OUWERKERK, C. Soil compaction problems in world agriculture. In: SOANE, B. D.; OUWERKERK, C. (Ed.). **Soil compaction in crop production**. Amsterdam: Elsevier, 1994. p. 01-21.

SOARES, A. A. Desvendando o segredo do insucesso do plantio direto do arroz de terras altas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 25, n. 222, p. 61-69, 2004.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. - Embrapa Cerrados. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2 ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004, 416 p.

SOUZA, D. M. P.; LOBATO, E.; GOEDERT, W. J. Manejo da fertilidade do solo no Cerrado. In: ALBUQUERQUE, A. C. S.; SILVA, A. G. (Ed.). **Agricultura tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, v. 2, 2008. p. 203-260.

SPARLING, G. P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. **Australian Journal of Soil Research**, Australia, v. 30, n. 2, p. 195-207, 1992.

STENBERG, B. Monitoring soil quality of arable land: microbiological indicators. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Plant Soil Science**, Oxon, v. 49, n. 1, p. 1-24, 1999.

STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI NETO, V. L. VL Penetrômetro de impacto IAA/PLANALSUCAR-Stolf: Recomendação para seu uso. **Sociedade dos Técnicos Açucareiros Alcooleiros do Brasil (STAB)**, Piracicaba, v. 1, n. 3, p. 18-23, 1983.

STONE, L. F.; GUIMARÃES, C. M.; MOREIRA, J. A. A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro. I: efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 207-212, 2002.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 395-401, 2001.

TABATABAI, M. A. Soil enzymes: microbiological and biochemical properties. In: WEAVER, R. W.; ANGELIS, G. S.; BOTTOMLEY, P. S. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 778-835. (Special Publication, 5).

TARANTO, M. T.; ADAMS, M. A.; POLGLASE, P. J. Sequential fractionation and characterization (³¹P-NMR) of phosphorus-amended in *Banksia interfrifolia* (L.F.) woodland and adjacent pasture. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 32, n. 1, p. 169-177, 2000.

TAYLOR, H.; ROBERSON, G. M.; PARKER, J. J. Soil strength-root penetration relations for medium-to coarse-textured soil materials. **Soil Science**, New Brunswick, v. 102, n. 1, p. 18, 1966.

TAYLOR, J. P.; WILSON, B.; MILLS, M. S.; BURNS, R. G. Comparison of microbial numbers and enzymatic activities in surface soils and sub soil using various techniques. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 34, n. 3, p. 387-401, 2002.

TORMENA, C. A.; FRIEDRICH, R.; PINTRO, J. C.; COSTA, A. C. S.; FIDALSKI, J. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num Latossolo Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 1023-1031, 2004.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G.; SÁ, J. C. M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, s/n, p. 301-309, 1998.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microorganismos e processos microbiológicos como indicadores de qualidade dos solos. In: ALVARES, V. H.; SCHAEFFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V.; COSTA, L. M. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, v. 2, 2002. p. 195-276.

TURNER, B. L.; HOPKINS, D. W.; HAYGARTH, P. M.; OSTLE, N. β -Glucosidase activity in pasture soils. **Applied Soil Ecology**, England, v. 20, n. 2, p. 157-162, 2002.

URCHEI, M. A. **Efeitos do plantio direto e do preparo convencional sobre alguns atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Escuro argiloso no crescimento e produtividade do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) sob irrigação**. 1996. 150 f. Tese (Doutorado em Agronomia concentração em irrigação e drenagem)–Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 1996.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 19, n. 6, p. 703-707, 1987.

VARGAS, M. A. P.; HUNGRIA, M. **Biologia dos solos dos Cerrados**. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1997, 524 p.

VENTURA, W.; WATANABE, I.; KOMADA, H.; NISHIO, M.; CRUZ, A.; CASTILHO, M. **Soil sickness caused by continuous cropping of upland rice, mungbean and other crops**. Manila: IRRI, 1984, 13 p. (Research Paper Series, 99).

VERDADE, F. C. Influência da matéria orgânica na capacidade de troca de cátions do solo. **Bragantia**, São Paulo, v. 15, n. 4, p. 35-42, 1956.

WANG, X.-C.; LU, Q. Beta-glucosidase activity in paddy soils of the Taihu Lake region, China. **Pedosphere**, China, v. 16, n. 1, p. 118-124, 2006.

WARDLE, D. A.; HUNGRIA, M. A biomassa microbiana do solo e sua importância nos ecossistemas terrestres. In: ARAUJO, R. S.; HUNGRIA, M. E. (Ed.). **Microrganismos de importância agrícola**. Brasília, 1994. p. 195-216.

XU, X. N.; GUPTA, J. L. Compaction effect on the gas diffusion coefficient in soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 56, n. 6, p. 1743, 1992.

YOKOYAMA, L. P. Aspectos conjunturais e o custo de produção do arroz. In: BRESEGHELLO, F.; STONE, L. F. (Ed.). **Tecnologia para o arroz de terras altas**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1998. p. 9-14.

YUSUF, A. A.; ABAIDOO, R. C.; IWUAFOR, E. N. O.; OLUFAJO, O. O.; SANGINGA, N. 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**, Zürich, v. 129, n. 1-3, p. 325-331, 2009.

ZAMBERLAM, J.; FRONCHETI, A. **Agricultura ecológica**. 2ª ed. Petrópolis: Editora Vozes, 2001, 209 p.

ZILLI, J. É.; BOTELHO, G. R.; NEVES, M. C. P.; RUMJANEK, N. G. Efeito de glyphosate e imazaquim na comunidade bacteriana do rizoplano da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) e características microbiológicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 633-642, 2008.

ANEXO

Anexo 1. Correlação de Pearson entre os atributos do solo em três áreas sob cultivo sucessivo de arroz de terras altas sob sistema de semeadura direta (n = 39).

ID ¹	Atributo/ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Densidade do solo (Mg m ⁻³)	1,000**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Porosidade total (m ³ m ⁻³)	-1,000	1,000**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	Microporosidade (m ³ m ⁻³)	0,177	-0,177	1,000**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	Macroporosidade (m ³ m ⁻³)	-0,825**	0,825**	-0,702**	1,000**	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	Agregados com diâmetro > 2 mm (%)	-0,036	0,036	-0,007	0,030	1,000**	-	-	-	-	-	-	-	-
6	DMP dos agregados (mm)	-0,156	0,156	0,098	0,057	0,900**	1,000**	-	-	-	-	-	-	-
7	RP (MPa)	-0,089	0,089	0,049	0,036	-0,023	0,006	1,000**	-	-	-	-	-	-
8	Índice S	-0,886**	0,886**	-0,055	0,672**	-0,016	0,086	0,195	1,000**	-	-	-	-	-
9	Carbono total (g kg ⁻¹)	-0,025	0,025	-0,142	0,100	0,007	-0,056	-0,186	-0,017	1,000**	-	-	-	-
10	Nitrogênio total (g kg ⁻¹)	0,231	-0,231	-0,299	0,004	0,049	-0,194	-0,114	-0,249	0,630**	1,000**	-	-	-
11	pH em água	0,285	-0,285	0,075	-0,249	-0,052	-0,161	0,046	-0,205	-0,278	0,094	1,000**	-	-
12	Teor de cálcio trocável (mmol _c dm ⁻³)	0,211	-0,211	-0,069	-0,113	0,133	-0,132	-0,032	-0,194	0,304	0,631**	0,711**	1,000**	-
13	Teor de magnésio trocável (mmol _c dm ⁻³)	0,229	-0,229	-0,073	-0,124	0,148	-0,057	-0,135	-0,219	0,273	0,580**	0,662**	0,816**	1,000**
14	Teor de alumínio trocável (mmol _c dm ⁻³)	-0,172	0,172	-0,136	0,203	-0,161	0,008	0,000	0,078	0,207	-0,157	-0,849**	-0,746**	-0,712**
15	Teor de H ⁺ + Al ³⁺ (mmol _c dm ⁻³)	-0,226	0,226	-0,091	0,216	-0,025	0,144	-0,133	0,146	0,398*	-0,077	-0,862**	-0,655**	-0,612**
16	Teor de fósforo disponível (mg dm ⁻³)	-0,064	0,064	-0,045	0,072	-0,301	-0,237	-0,095	0,042	0,022	-0,226	0,005	-0,035	-0,310
17	Teor de potássio disponível (mg dm ⁻³)	0,088	-0,088	-0,064	-0,027	-0,269	-0,124	-0,078	-0,061	-0,136	-0,395*	0,101	-0,276	-0,241
18	Teor de cobre disponível (mg dm ⁻³)	0,051	-0,051	-0,619**	0,319*	0,310	0,191	-0,027	-0,136	-0,017	0,259	-0,344*	-0,096	-0,209
19	Teor de zinco disponível (mg dm ⁻³)	-0,322*	0,322*	0,220	0,107	-0,170	0,000	-0,246	0,272	0,254	-0,241	-0,156	-0,145	-0,229
20	Teor de ferro disponível (mg dm ⁻³)	0,059	-0,059	-0,592**	0,296	0,211	0,067	-0,004	-0,112	0,331*	0,433**	-0,497**	-0,076	-0,134
21	Teor de manganês disponível (mg dm ⁻³)	0,376*	-0,376*	-0,569**	0,054	0,183	-0,077	-0,128	-0,417**	0,318*	0,732**	0,184	0,566**	0,505**
22	CTC (mmol _c dm ⁻³)	-0,033	0,033	-0,209	0,144	0,102	0,051	-0,260	-0,052	0,855**	0,581**	-0,307	0,215	0,201

Continua...

Cont.

ID/ID	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	1,000**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	0,904**	1,000**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	0,098	0,118	1,000**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	0,127	0,130	0,296	1,000**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	0,291	0,228	-0,103	-0,010	1,000**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	0,258	0,390*	0,364*	0,373	-0,226	1,000**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	0,390*	0,385*	-0,113	-0,105	0,849**	-0,225	1,000**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	-0,266	-0,235	-0,175	-0,231	0,584**	-0,431**	0,576**	1,000**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	0,338*	0,575**	0,037	-0,040	0,143	0,347*	0,384*	0,308	1,000**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Continua...

Cont.

ID/ID	Atributo/ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
23	Saturação por bases (%)	0,259	-0,259	-0,016	-0,178	0,092	-0,136	0,015	-0,219	0,002	0,419**	0,872**	0,912**	0,853**
24	Carbono orgânico total (mg kg ⁻¹)	-0,134	0,134	-0,329*	0,286	0,227	0,168	-0,024	0,104	0,821**	0,609**	-0,303	0,241	0,265
25	C-BM (mg kg ⁻¹)	-0,099	0,099	-0,538**	0,380*	0,194	0,040	-0,071	-0,008	0,414**	0,543**	-0,448**	0,037	-0,042
26	N-BM (mg kg ⁻¹)	0,149	-0,149	-0,500**	0,179	0,251	0,076	-0,241	-0,296	0,472**	0,700**	-0,041	0,394*	0,374*
27	AET (µg FDA g solo seco ⁻¹ h ⁻¹)	-0,012	0,012	-0,578**	0,340*	0,129	0,084	-0,055	-0,112	0,560**	0,531**	-0,448**	0,003	0,028
28	ABG (µg p-nitrofenol g ⁻¹ solo seco h ⁻¹)	-0,102	0,102	-0,057	0,107	0,224	0,157	-0,087	0,065	0,675**	0,311	-0,182	0,248	0,355*
29	AFA (µg p-nitrofenol g ⁻¹ solo seco h ⁻¹)	0,195	-0,195	-0,571**	0,186	0,024	-0,167	-0,181	-0,306	0,552**	0,697**	-0,179	0,291	0,233
30	RBS (mg C-CO ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹)	-0,148	0,148	-0,064	0,143	0,159	0,111	-0,039	0,107	0,319*	0,392*	-0,239	0,044	0,118
31	qCO ₂ (mg C-CO ₂ kg ⁻¹ C-BM h ⁻¹)	0,029	-0,029	0,519**	-0,319*	-0,018	0,105	0,052	0,030	-0,124	-0,218	0,284	0,009	0,146
32	qMIC (%)	-0,058	0,058	-0,485**	0,320*	0,135	-0,033	-0,053	-0,042	0,191	0,435**	-0,372*	-0,006	-0,100
33	Relação N-BM:N total (%)	0,069**	-0,069	-0,496**	0,235	0,312	0,209	-0,249	-0,242	0,303	0,408**	-0,081	0,212	0,230

Continua...

Cont.

ID/ID	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
23	-0,897**	-0,885	-0,121	-0,166	-0,181	-0,271	-0,238	0,463**	-0,132	1,000**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	0,183	0,325*	-0,203	-0,130	0,267	0,054	0,520**	0,384*	0,707**	0,015	1,000**	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	0,307*	0,320*	-0,187	-0,280	0,634**	-0,254	0,764**	0,551**	0,406*	-0,158	0,532**	1,000**	-	-	-	-	-	-	-	-
26	-0,046	0,042	-0,229	-0,167	0,515**	-0,272	0,548**	0,822**	0,494**	0,233	0,542**	0,660**	1,000**	-	-	-	-	-	-	-
27	0,323*	0,367*	-0,030	-0,181	0,558**	-0,156	0,752**	0,570**	0,477**	-0,158	0,668**	0,693**	0,684**	1,000**	-	-	-	-	-	-
28	0,001	0,175	-0,098	-0,211	-0,011	0,200	0,203	0,196	0,541**	0,090	0,638**	0,300	0,266	0,338*	1,000**	-	-	-	-	-
29	0,101	0,147	-0,133	-0,203	0,564**	-0,218	0,717**	0,809**	0,493**	0,110	0,539**	0,685**	0,780**	0,747**	0,246	1,000**	-	-	-	-
30	0,239	0,295	-0,232	-0,117	0,255	0,175	0,366*	0,096	0,457**	-0,096	0,390*	0,430**	0,213	0,270	0,354*	0,132	1,000**	-	-	-
31	-0,109	-0,082	-0,043	0,184	-0,460**	0,413**	-0,504	-0,478**	-0,026	0,086	-0,208	-0,650**	-0,468**	-0,480**	0,000	-0,558	0,358*	1,000**	-	-
32	0,253	0,219	-0,151	-0,285	0,593**	-0,316	0,650**	0,494**	0,217	-0,149	0,262	0,951**	0,554**	0,526**	0,144	0,572**	0,365*	-0,655**	1,000**	-
33	-0,012	0,079	-0,176	-0,028	0,506**	-0,224	0,459**	0,699**	0,357*	0,113	0,387*	0,544**	0,932**	0,608**	0,209	0,642**	0,061	-0,474**	0,464**	1,000**

¹ID – Identificação relativa aos atributos do solo;

² - * $r \geq |0,317|$, $p < 0,05$;

³ - ** $r \geq |0,408|$, $p < 0,01$.

