



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**

**INTERPRETAÇÃO DE INDICADORES MICROBIOLÓGICOS EM
FUNÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO E DOS
RENDIMENTOS DE SOJA E MILHO**

ANDRÉ ALVES DE CASTRO LOPES

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM AGRONOMIA

**BRASÍLIA/DF
MARÇO/2012**



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**INTERPRETAÇÃO DE INDICADORES MICROBIOLÓGICOS EM
FUNÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO E DOS
RENDIMENTOS DE SOJA E MILHO**

ANDRÉ ALVES DE CASTRO LOPES

ORIENTADOR: WENCESLAU J. GOEDERT, PhD

CO-ORIENTADORA: IEDA DE CARVALHO MENDES, PhD

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM AGRONOMIA

PUBLICAÇÃO: 041/2012

**BRASÍLIA/DF
MARÇO/2012**



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**INTERPRETAÇÃO DE INDICADORES MICROBIOLÓGICOS EM
FUNÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO E DOS
RENDIMENTOS DE SOJA E MILHO**

ANDRÉ ALVES DE CASTRO LOPES

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA À FACULDADE DE AGRONOMIA
E MEDICINA VETERINÁRIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
AGRONOMIA.**

APROVADA POR:

WENCESLAU J. GOEDERT, PhD. Professor associado (UnB).
(Presidente da Banca) CPF: 005.799.550-87; E-mail: goedert@unb.br

MARIA LUCRÉCIA GEROSA RAMOS, PhD. Professor adjunto (UnB).
(Examinadora interna) CPF: 002.094.438-12; E-mail: lucrecia@unb.br

GUILHERME MONTANDON CHAER, PhD. Pesquisador (Embrapa/CNPAB).
(Examinador externo) CPF: 035.580.036-59; E-mail: gchaer@cnpab.embrapa.br

BRASÍLIA/DF, 22 de MARÇO de 2012.

FICHA CATALOGRÁFICA

Lopes, André Alves de Castro

Interpretação de indicadores microbiológicos em função da matéria orgânica do solo e dos rendimentos de soja e milho. / André Alves de Castro Lopes; orientação de Wenceslau J. Goedert ; co-orientação de Ieda de Carvalho Mendes - Brasília, 2012.

96 p. :il.

Dissertação de Mestrado (M) – Universidade de Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2012.

1 – Qualidade do Solo. 2 – Carbono da Biomassa Microbiana. 3 – Respiração Basal. 4 – Enzimas do Solo I. Goedert, W. J. II. PhD.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

LOPES, A. A. C. **Interpretação de indicadores microbiológicos em função da matéria orgânica do solo e dos rendimentos de soja e milho.** Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2012, 96 p. Dissertação de Mestrado.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: André Alves de Castro Lopes

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO: Interpretação de indicadores microbiológicos em função da matéria orgânica do solo e dos rendimentos de soja e milho.

GRAU: Mestre

ANO: 2012

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva-se a outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

André Alves de Castro Lopes

CPF: 023.595.231-12

Setor Tradicional. Av. Independência Q. 65 L. 14.

73330-650 Planaltina/DF – Brasil

E-mail: andrealvesagronomo@yahoo.com.br

(61) 33899953 / 99014123

AGRADECIMENTOS

Agradeço, a Deus, em primeiro lugar, por me dar forças para superar todos os desafios e direcionar o meu caminho.

Ao meu pai, Mário Antônio de Castro Lopes (*In Memoriam*) e minha mãe, Vilderete Castro Alves, por me apoiarem nos momentos mais difíceis e incentivando a obter conhecimento através dos estudos.

As minhas irmãs, Marília Alves de Castro Lopes e Marina Alves de Castro Lopes, que sempre nos momentos de felicidade ou tristeza me auxiliam para tomar as melhores decisões.

Ao meu orientador e professor Wenceslau J. Goedert pela oportunidade oferecida e ajuda durante o desenvolvimento da pesquisa, além de compartilhar com muita dedicação a sua experiência profissional e de “vida”.

A Ieda de Carvalho Mendes “amiga e grande colaboradora” pela co-orientação deste estudo, compartilhando os seus conhecimentos com muita ética e dedicação.

Ao amigo e pesquisador Fábio Bueno pelo apoio durante o desenvolvimento do estudo.

Ao amigo e pesquisador Djalma Martinhão Gomes de Sousa pelo apoio prestado a esta dissertação, sempre dedicado ao trabalho e didático com suas sugestões e conhecimentos.

Aos colegas do laboratório de Microbiologia dos Solos, Lucas, Clodoaldo, Osmar, Álisson, e os demais colegas pela ajuda, sempre com paciência e dedicação durante a realização das análises microbiológicas.

Aos colegas do laboratório de Química Analítica de solos, Francisco Delvico, Josias, Daniella, Ana, Almir e Fabiane pela ajuda nas análises químicas.

Aos colegas Valmir, José Ailson, José Dourado pela grande força e dedicação na etapa de amostragem de solo do estudo.

Aos professores da FAV/UnB, Lúcio José Vivaldi, Carlos Alberto, Sebastião, Cícero Célio, Lucrécia, Eiyti e Tairone pelas experiências em sala de aula e dedicação ao ensino.

Aos colegas e amigos de aulas da UnB, Rafael, Omar, William, Thais, Hermes, Mariana e outros, pelos conselhos, convivência e ajuda nos trabalhos das disciplinas.

A Embrapa Cerrados, UnB e CAPES pelo apoio à condução do estudo.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. HIPÓTESES E OBJETIVOS	3
2.1. Hipóteses	3
2.2. Objetivo Geral.....	3
2.3. Objetivos Específicos	3
3. REVISÃO DE LITERATURA	4
3.1. Bioma Cerrado e o Desenvolvimento Agrícola	4
3.2. Fósforo (P) e Produção Agrícola no Cerrado.....	6
3.3. Matéria Orgânica do Solo (MOS).....	7
3.4. Qualidade do solo (QS).....	10
3.4.1. Índices de Qualidade do solo	11
3.5. Indicadores microbiológicos.....	15
3.5.1. Carbono da biomassa microbiana (CBM) e Respiração Basal.....	16
3.5.2. Enzimas do solo	18
3.6. Avaliação da Fertilidade do solo baseados em análise química do solo.....	20
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22
CAPÍTULO ÚNICO	36
1. INTRODUÇÃO	37
2. MATERIAL E MÉTODOS	39
2.1. Caracterização das áreas experimentais.....	39
2.2. Seleção dos tratamentos e amostragem de solo	44
2.3. Análises Microbiológicas e Químicas	46
2.3.1. Carbono da Biomassa Microbiana (CBM).....	46
2.3.2. Respiração basal.....	46
2.3.3. Atividade enzimática	47
2.3.4. Matéria orgânica do solo facilmente oxidável (MOS).....	48
2.3.5. Fósforo (P).....	48
2.4. Análises Estatísticas.....	49
2.5. Interpretação dos atributos microbiológicos	49
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
3.1. Fósforo no solo (P) e Rendimento Relativo Acumulado de grãos de soja e milho (RRA).....	51
3.2. RRA x MOS	52
3.3. Interpretação dos atributos microbiológicos	54
3.3.1. Carbono da Biomassa Microbiana	56
3.3.2. Respiração Basal.....	57
3.3.3. β -Glicosidase	58
3.3.4. Celulase.....	59
3.3.5. Fosfatase ácida.....	60
3.3.6. Arilsulfatase	61
3.3.7. Interpretação dos valores de atributos microbiológicos do solo em função do RRA.....	62
3.3.8. Interpretação dos valores de atributos microbiológicos em função da MOS.....	62
3.4. Avaliação da proposta de interpretação dos atributos microbiológicos com os dados de literatura.	66
3.4.1. Carbono da Biomassa Microbiana (CBM) e Respiração Basal.....	68
3.4.2. β -glicosidase, celulase, fosfatase ácida e arilsulfatase	77
4. CONCLUSÕES	85
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	86
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Detalhe do ponto amostral com 7 furos na camada de	45
Figura 2: Relação entre rendimento relativo acumulado (RRA) de grãos de soja e milho e P- Mehlich no solo.	52
Figura 3: Relação entre Rendimento Relativo Acumulado de grãos de soja e milho (RRA) e Matéria Orgânica do Solo em Latossolo Vermelho argiloso e muito argiloso de Cerrado.	53
Figura 4: Relação entre o rendimento relativo acumulado de grãos de soja e milho (RRA) e carbono da biomassa microbiana (CBM).	56
Figura 5: Relação entre o rendimento relativo acumulado de grãos de soja e milho (RRA) e respiração basal. .	57
Figura 6: Relação entre o rendimento relativo acumulado de grãos de soja e milho (RRA) e atividade da enzima β -glicosidase.	58
Figura 7: Relação entre o rendimento relativo acumulado de grãos de soja e milho (RRA) atividade da enzima celulase.	59
Figura 8: Relação entre o rendimento relativo acumulado de grãos de soja e milho (RRA) e atividade da enzima fosfatase ácida.	60
Figura 9: Relação entre o rendimento relativo acumulado de grãos de soja e milho (RRA) e atividade da enzima Arilsulfatase.	61
Figura 10: Relação entre matéria orgânica do solo e os atributos microbiológicos.	64
Figura 11: Relação entre os valores de carbono da biomassa microbiana (CBM) (A), respiração basal(B) e matéria orgânica do solo (MOS)(C) da base de dados do Cerrado. A) conjunto de 40 observações. B) conjunto de 25 observações. C) conjunto de 16 observações. D) conjunto de 4 observações.	76
Figura 12: Relação entre os valores de atividade da enzima β -glicosidase e matéria orgânica do solo (MOS) da base de dados do Cerrado. A) conjunto de 23 observações. B) Conjunto de 17 observações.	80
Figura 13: Relação entre os valores de atividade das enzimas celulase (μg de glicose g^{-1} de solo 24h^{-1}) (A); fosfatase ácida (μg ρ -nitrofenol g^{-1} solo h^{-1}) (B); arilsulfatase (μg ρ -nitrofenol g^{-1} solo h^{-1}) (C) e matéria orgânica do solo (MOS) da base de dados do Cerrado. A) Conjunto de 6 observações. B) Conjunto de 17 observações. C) Conjunto de 15 observações.	81
Figura 14: Relações entre os valores de carbono da biomassa microbiana (CBM) (A), respiração basal(B) e atividade das enzimas β -glicosidase(C) e celulase (D) e matéria orgânica do solo (MOS) da base de dados da região Sul. A) conjunto de 14 observações. B) conjunto de 10 observações. C) conjunto de 6 observações. D) conjunto de 4 observações.	83
Figura 15: Relações entre os valores de atividade das enzimas fosfatase ácida (μg ρ -nitrofenol g^{-1} solo h^{-1}), arilsulfatase (μg ρ -nitrofenol g^{-1} solo h^{-1}) e (MOS) da base de dados da região Sul. A) conjunto de 10 observações. B) conjunto de 4 observações.	84

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Descrição dos 24 tratamentos selecionados do experimento I, II e III e valores acumulados dos diferentes rendimentos acumulados de grãos de soja e milho (RAG).....	40
Tabela 2: Análises Química e Granulométrica do solo das três áreas experimentais na camada de 0 a 20 cm, antes da implantação dos experimentos.....	41
Tabela 3: Cronograma de cultivos principais e de cobertura do experimento I.	42
Tabela 4: Cronograma de cultivos principais e de cobertura do experimento II.	43
Tabela 5: Cronograma de cultivos principais e de cobertura do experimento III.....	44
Tabela 6: Coeficientes de correlação de Pearson entre Rendimento relativo Acumulado de grãos de soja e milho (RRA) e Matéria Orgânica do Solo com as variáveis microbiológicas dos 24 tratamentos selecionados.....	54
Tabela 7: Valores médios dos atributos microbiológicos, rendimento acumulado relativo de grãos de soja e milho (RRA) e matéria orgânica do solo (MOS) em função dos tratamentos selecionados dos experimentos I, II e III na camada de 0 a 10 cm.....	55
Tabela 8: Interpretação dos valores de atributos microbiológicos para Latossolos Vermelhos argilosos e muito argilosos de Cerrado na camada de 0 a 10 cm com base no rendimento relativo acumulado de grãos de soja e milho (RRA).....	62
Tabela 9: Interpretação dos valores de atributos microbiológicos para Latossolos Vermelhos argilosos e muito argilosos de Cerrado na camada de 0 a 10 cm com base na matéria orgânica do solo (MOS).....	65
Tabela 10: Carbono da Biomassa Microbiana e atividade enzimática em solos sob áreas cultivadas, na região dos Cerrados.....	69
Tabela 11: Carbono da Biomassa Microbiana e atividade enzimática em solos sob áreas cultivadas, na região Sul do Brasil.....	72
Tabela 12: Valores médios de matéria orgânica do solo e atributos microbiológicos dos 24 tratamentos dessa dissertação e das bases de dados do Cerrado e Sul do Brasil.....	74

INTERPRETAÇÃO DE INDICADORES MICROBIOLÓGICOS EM FUNÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO E DOS RENDIMENTOS DE SOJA E MILHO

RESUMO

A dificuldade na interpretação dos valores individuais dos indicadores constitui um dos grandes obstáculos a serem transpostos nas avaliações de qualidade do solo. Com base na utilização dos princípios dos ensaios de calibração de nutrientes, neste estudo foi elaborada uma proposta de interpretação de atributos microbiológicos (carbono da biomassa microbiana, respiração basal e atividade das enzimas β -glicosidase, celulase, arilsulfatase e fosfatase ácida) para Latossolos Vermelhos de Cerrado de textura argilosa e muito argilosa. A proposta foi baseada nas relações desses atributos com o rendimento relativo acumulado de soja e milho (RRA) e com os teores de matéria orgânica do solo (MOS). Em três experimentos de longa duração conduzidos num Latossolo vermelho de textura argilosa e muito argilosa, foram selecionados 24 tratamentos, com conteúdos variáveis de fósforo extraível e, diferentes rendimentos acumulados de grãos de soja e milho. As amostras foram coletadas na profundidade de 0 a 10 cm, em janeiro de 2011. Foram avaliados os teores de MOS, o carbono da biomassa microbiana, respiração basal e a atividade das enzimas β -glicosidase, celulase, arilsulfatase e fosfatase ácida. Todos os atributos microbiológicos foram correlacionados positivamente com o RRA e com a MOS, o que possibilitou a delimitação de classes de suficiência (baixo, médio e adequado) para cada um, em função do RRA e da MOS. As tabelas de interpretação dos atributos microbiológicos desenvolvidas com base nessas relações, foram avaliadas utilizando dados de literatura para a região dos cerrados e região sul do Brasil. Nos casos onde houve dissimilaridade entre as classificações dos atributos microbiológicos com a classificação da MOS, foi possível verificar a importância não só da padronização das metodologias para determinação dos atributos microbiológicos e da MOS, mas também a influência de fatores relacionados a época, profundidade e modo de coleta das amostras de solo. Mesmo assim, apesar dessas limitações, nas duas bases de dados, as avaliações de atividade enzimática apresentaram correlação significativa com a MOS sendo que a β -glicosidase, enzima ligada à ciclagem de carbono, destacou-se com boas chances de utilização em laboratórios comerciais de análise de solo.

Termos de indexação: qualidade do solo, carbono da biomassa microbiana, respiração basal, enzimas do solo.

INTERPRETATION OF MICROBIOLOGICAL ATTRIBUTES AS A FUNCTION OF SOYBEAN AND CORN YIELDS AND SOIL ORGANIC MATTER

ABSTRACT

The difficulty in interpreting the values of individual bioindicators is one of the major constraints to be overcome in soil quality assessments. Based on the use of the principles of calibration tests for soil nutrients, this study aimed to elaborate a proposal for interpretation of microbiological attributes (microbial biomass carbon, basal respiration and soil enzymes: β -glucosidase, cellulase, arylsulfatase and acid phosphatase) in Rhodic Cerrado clayey and very clayey oxisols. The proposal was based on the relationships of these attributes with the cumulative relative yield of soybean and corn (CRY) and the levels of soil organic matter (SOM). In three long-term experiments conducted in Rhodic Cerrado clayey and very clayey oxisols, 24 treatments were selected, with variable content of extractable phosphorus and different cumulative yields of soybean and corn. Samples were collected to a depth of 0-10 cm in January 2011. The parameters evaluated were: SOM, microbial biomass carbon, basal respiration and soil enzymes β -glucosidase, cellulase, arylsulfatase and acid phosphatase. All microbiological attributes were positively correlated with CRY and SOM, which allowed the definition of reference levels (low, medium and adequate) for each attribute, as a function of CRY and SOM. The interpretation tables for microbial soil attributes developed based on these relationships were evaluated using literature data for the Cerrado and Southern region of Brazil. In cases where there was dissimilarity between the ratings of the microbiological attributes to the classification of SOM, we found not only the importance of standardization of methodologies for determining the microbiological attributes and the SOM, but also the influence of factors related to season, depth and soil sampling. Yet, despite these limitations, in the two databases, enzyme activities showed significant correlations with SOM. β -glucosidase, an enzyme linked to the carbon cycle, stood out with a good chance of commercial use in laboratories of soil analysis.

Index terms: soil quality, microbial biomass carbon, basal respiration, soil enzymes.

1. INTRODUÇÃO GERAL

Em um mundo globalizado onde a preocupação com a valoração dos serviços ambientais e as barreiras ao comércio internacional tendem a aumentar, existem evidências de que no século XXI a produção agrícola, pecuária e florestal estará atrelada também a processos de certificação ambiental que levem em conta as preocupações da sociedade com o uso racional dos recursos naturais e com a preservação do meio ambiente (Queiroz, 2005; Carfantan & Brum, 2006).

Assim, já existe hoje na agricultura moderna, uma demanda crescente para a identificação de parâmetros que avaliem, precocemente e de modo eficaz, as alterações que ocorrem no solo, indicando os manejos adequados para preservar/melhorar sua qualidade (Tótola & Chaer, 2002). Como os microrganismos constituem a parte viva e mais ativa da matéria orgânica, os atributos microbiológicos possuem a capacidade de detectar alterações provocadas por diferentes manejos do solo em um estágio anterior ao das mudanças nos parâmetros químicos e físicos (Dick, 1994; Balota et al., 1998; Hungria et al., 2009), funcionando como bioindicadores. Além disso, os bioindicadores fornecem informações sobre vários atributos relevantes para a compreensão do funcionamento do solo e conseqüentemente para a manutenção/melhoria de sua qualidade.

No Brasil, o número de trabalhos relacionados aos impactos de diferentes sistemas de manejo nos atributos microbiológicos do solo aumentou consideravelmente, a partir do final da década de 1990 (Kaschuk et al., 2009), repercutindo o interesse pelo tema "Qualidade de solo" originado nos Estados Unidos no fim da década de 1980 e início da década de 1990 (Doran et al, 1994). Enquanto que nas décadas de 1980 e 1990 a maior parte dos trabalhos de microbiologia se concentrou em avaliações de biomassa e atividade respiratória, principalmente na Região Sul e na Amazônia, verifica-se que a partir do fim dos anos 1990, é crescente o volume de informações sobre o funcionamento microbiológico de solos do bioma Cerrado, englobando não só avaliações de biomassa microbiana e respiração basal, mas também de atividade enzimática e de diversidade das comunidades microbianas presentes nesses solos.

A ampliação da base de dados de microbiologia dos solos brasileiros, o interesse crescente pelo pagamento de serviços ambientais e a possibilidade de certificação de fazendas/produtores que investem em práticas que garantem a conservação/restauração dos

recursos naturais permite vislumbrar a possibilidade de que num futuro próximo, além das propriedades químicas e físicas, determinações das propriedades biológicas poderão também fazer parte das rotinas de análises de solo e até mesmo de índices de qualidade de solo. O conhecimento e uso dos atributos microbiológicos, pelos agricultores, será importante tanto no sentido de incentivar aqueles que já estão adotando sistemas de manejo conservacionistas, bem como no sentido de alertar agricultores que estejam adotando sistemas de manejo que possam levar à degradação do solo.

Como a maior parte dos trabalhos já realizados com os atributos microbiológicos envolve a comparação de diferentes sistemas de manejo de solo e/ou culturas, inclusive usando como referência áreas não perturbadas, existe uma grande dificuldade na interpretação dos valores individuais desses parâmetros. Essa dificuldade constitui um dos grandes obstáculos a serem transpostos nas avaliações de qualidade do solo, uma vez que a inclusão desses atributos nessas avaliações pressupõe o estabelecimento de valores que possam separar solos com diferentes condições de sustentabilidade (Tótola & Chaer, 2002). Diferentemente do que ocorre com os indicadores químicos de fertilidade onde existem tabelas com níveis de suficiência (baixo, médio, adequado e alto) relativamente bem definidas para cada nutriente e tipo de solo, para os atributos microbiológicos esse tipo de informação ainda é escasso.

Com base na utilização dos princípios dos ensaios de calibração de nutrientes, neste estudo foi elaborada uma proposta de interpretação de atributos microbiológicos (carbono da biomassa microbiana, respiração basal e atividade das enzimas β -glicosidase, celulase, arissulfatase e fosfatase ácida) para Latossolos Vermelhos de Cerrado de textura argilosa e muito argilosa. A proposta foi baseada nas relações desses atributos com o rendimento relativo acumulado de soja e milho e com os teores de matéria orgânica do solo (MOS).

2. HIPÓTESES E OBJETIVOS

2.1. Hipóteses

2.1.1. Em Latossolo Vermelho de Cerrado de textura argilosa e muito argilosa cultivado com soja e milho existe uma relação entre os atributos microbiológicos com o rendimento relativo acumulado de grãos de soja e milho (RRA) e a matéria orgânica do solo (MOS).

2.1.2. É possível gerar uma interpretação dos valores dos atributos microbiológicos do solo através de uma calibração utilizando o RRA e a (MOS)

2.2. Objetivo Geral

Relacionar os atributos microbiológicos com o RRA e a MOS em Latossolo Vermelho de Cerrado de textura argilosa e muito argilosa cultivado com soja e milho, sob plantio direto e preparo convencional do solo.

2.3. Objetivos Específicos

2.3.1 – Elaborar tabelas de interpretação de atributos microbiológicos através de calibrações com o RRA e a MOS.

2.3.2 – Avaliar a proposta de interpretação dos atributos microbiológicos utilizando bases de dados das regiões do Cerrado e Sul do Brasil.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Bioma Cerrado e o Desenvolvimento Agrícola

A região dos Cerrados abriga o segundo maior bioma brasileiro, com 204 milhões de hectares, e possui grande destaque no cenário agrícola nacional e mundial, sendo ao mesmo tempo uma importante reserva da biodiversidade e potencial produtora de alimentos (Sano et al., 2009). No Cerrado, encontra-se o segundo maior volume de diversidade do planeta, superado apenas pela Amazônia. Nesse ambiente de rica biodiversidade já foram registrados mais de 10 mil espécies de plantas, 159 espécies de mamíferos, 837 de aves, 180 de répteis, 150 de anfíbios, 1200 de peixes, 67 mil espécies de invertebrados, e cerca de mil gêneros de fungos (Aquino e Oliveira, 2006; EMBRAPA, 2009). Além disso, o bioma Cerrado é o centro de origem das nascentes de seis grandes bacias hidrográficas brasileiras: Amazônica, Tocantins-Araguaia, Atlântico Norte-Nordeste, São Francisco, Atlântico-Leste e Paraná-Paraguai (Lima & Silva, 2007). É possível, com tecnologia, incorporar ao sistema produtivo até 127 milhões de hectares, mantendo 38% do Cerrado como reserva natural (Sano et al., 2009).

O clima predominante no Cerrado é o Tropical sazonal, com duas estações bem definidas, a de seca que dura de 4 a 7 meses (abril a setembro), e a chuvosa concentrando-se na primavera e verão (outubro a março). Na estação chuvosa, as precipitações variam de 1200 e 1800 mm. A temperatura média anual fica em torno de 22-23°C (Resck et al., 2008).

O relevo do Cerrado é em geral plano ou suavemente ondulado, e grande parte da área situa-se entre 300 a 900 m de altitude. Os solos em sua maioria são os Latossolos (46%), caracterizados como profundos e bem estruturados, com baixa fertilidade natural e argilas de baixa atividade, compostas basicamente por caulinita, gibsitita e óxidos de ferro e alumínio, com teores elevados de alumínio trocável em todo o perfil (Adámoli et al., 1986). Além disso, são caracterizados como solos com baixa disponibilidade de fósforo (P) disponível, e alta retenção desse elemento, tornando-se fundamental o uso fertilizantes fosfatados para a produção agrícola (Sousa et al., 2008 e 2010).

As primeiras políticas de desenvolvimento agrícola no cerrado foram estabelecidas no governo de Getúlio Vargas, por volta de 1940. No entanto, as principais mudanças foram iniciadas a partir de 1960, com o Plano de Metas desenvolvido pelo governo de Juscelino Kubitschek que visava atender o aumento do consumo de alimentos. Na década de 1970

foram criados outros programas, como o POLOCENTRO e PRODECER, incentivando o desenvolvimento na região a partir de pesquisas, assistência rural, créditos, seguro de riscos, incentivos fiscais e outros benefícios oferecidos ao produtor (Wagner, 1986).

Hoje, na região, existem 50 milhões de hectares de pastagens cultivadas, 30 milhões em pastos naturais, 15 milhões de hectares de culturas anuais e 3,5 milhões de hectares de culturas perenes e florestais (EMBRAPA, 2009). Segundo a CONAB (2011), na safra 2010/2011, a região do Cerrado foi responsável por 60%; 83%; 59%; 18% e 17%, da produção nacional de soja, algodão, milho, arroz e feijão, respectivamente. Na pecuária, dos cerca de 210 milhões de bovinos, cerca de 36% correspondem aos rebanhos da região do Cerrado (IBGE, 2010).

Desde o início da ocupação agrícola dos Cerrados, essa região vem apresentando um desenvolvimento excepcional. Para exemplificar, em 2010/2011 os Cerrados brasileiros foram responsáveis por 60,2% da produção nacional de soja, com níveis de produtividade (2.728 kg ha^{-1}) superiores à média nacional (2.495 kg ha^{-1}). Exemplos como esse podem ser estendidos a outras culturas, como a do milho (primeira safra), em que a produtividade média no Distrito Federal foi de 8.115 kg ha^{-1} , sendo esta superior em quase o dobro da média nacional, que é de 4.156 kg ha^{-1} 2010/2011 (CONAB, 2011).

Um dos principais fatores responsáveis por essa performance foi as pesquisas e a geração de tecnologias que permitiram a incorporação desses solos ácidos, altamente intemperizados e pobres em nutrientes, ao processo agrícola. Dentre essas tecnologias, as técnicas para a correção e adubação dos solos, o lançamento de estirpes de rizóbio para a soja e o desenvolvimento de cultivares e de sistemas de produção para soja, milho e trigo adaptados à região.

As projeções regionais para 2021 indicam que o maior aumento de produção, se dará nos estados onde predomina o bioma Cerrado, sendo que os mais significativos aumentos em milhões de toneladas serão: 10,69 na soja; 7,49 no milho; 1,20 da carne bovina; 1,10 de algodão pluma; 2,31 de café; 2,70 bilhões de litros no leite (MAPA, 2011).

Essas projeções indicam que a expansão da agricultura e pecuária, aumentarão a pressão sobre esse bioma. Apesar de excepcional do ponto de vista de participação no cenário agrícola nacional, o desenvolvimento agrícola da região dos Cerrados, em alguns casos tem sido acompanhado de problemas ambientais relacionados principalmente ao manejo inadequado do solo, resultando em decréscimos nos teores de matéria orgânica, destruição dos agregados, compactação e erosão (Silva et al., 1994; Hernani et al., 1999; Bayer et al., 2004), e a destruição de matas ripárias, reduzindo a disponibilidade e qualidade da água dos

mananciais (Albuquerque et al., 2010). Dessa forma, equacionar os problemas ambientais relacionados à conservação dos recursos naturais e proporcionar as condições para que a região do cerrado possa atender de forma sustentável a demanda crescente por alimentos no mundo constituem-se nos principais desafios para a agricultura dessa região no século XXI.

3.2. Fósforo (P) e Produção Agrícola no Cerrado

Os solos da região do Cerrado apresentam baixa disponibilidade de P, sendo imprescindível a adição deste nutriente para o desenvolvimento favorável das plantas para a produção de alimentos, fibras e carne, até mesmo de culturas menos exigentes como a braquiária e a mandioca (Sousa et al., 2010).

A baixa disponibilidade de P nesses solos ocorre nas condições de reação ácida a moderadamente ácida, onde os óxidos de ferro e alumínio apresentam-se preferencialmente com cargas positivas, possibilitando a retenção em sua superfície de vários tipos de ânions, como os íons fosfatos. Na caulinita e nos óxidos também pode ocorrer a adsorção específica de fosfato nos sítios ácidos (Volkswiss & Raji, 1977; Novais et al., 1991). Vários fatores podem influenciar na adsorção do P no solo, sendo os principais: o tipo e o teor de argila, de colóides amorfos, a acidez e a matéria orgânica (Novais & Smyth, 1999).

Na região do Cerrado, a resposta das culturas ao P é de grande magnitude, sendo necessário além de adubações de correção para elevar o nível de disponibilidade de P a valores aceitáveis antes da implantação dos sistemas produtivos. A adubação de manutenção é importante para manter o nível adequado de P ao longo das safras agrícolas, visando repor o P que foi retirado por ocasião das colheitas (Sousa & Lobato, 2004). Prado et al. (2001) avaliaram o efeito dos modos de aplicação e doses do adubo fosfatado superfosfato triplo na produção de milho em um Latossolo Vermelho-Escuro sob preparo convencional. Os autores observaram que houve aumento na produção de grãos de milho com o uso crescente das doses de P, e que os modos de aplicação em sulco simples e em sulco duplo foram mais eficientes que a lanço. Os incrementos variaram de 0,45 a 3,04 t ha⁻¹ no tratamento de sulco simples e 0,21 a 4,4 t ha⁻¹ no sulco duplo. Jerke (2011) observou em estudo realizado em Latossolo de Cerrado sob plantio direto cultivado com soja e milho, que houve efeito significativo da adubação fosfatada na produção acumulada de grãos, comparando-se com a testemunha não adubada, independentemente da fonte de P e do modo de aplicação utilizado. O rendimento médio acumulado de grãos nos 5 cultivos de soja e 3 de milho nos tratamentos adubados com

P foram de 38,54 t ha⁻¹, enquanto que para a testemunha a produção total acumulada foi de menos de 4 t ha⁻¹.

No entanto, o processo que constitui a construção da fertilidade do solo e sua manutenção ao longo do tempo, muitas vezes é relatado como ineficiente, em função da capacidade dreno do solo ser muito maior que a das plantas cultivadas, principalmente nesses solos intemperizados (Novais et al., 2007). Alguns trabalhos relatam que a eficiência da adubação fosfatada é baixa (Sousa et al., 2010; Cunha et al., 2011), sendo que a eficiência do uso do P via fertilizante fosfatado em média é de 52% (Cunha et al., 2011).

O uso eficiente do P aplicado ao solo via fertilizante é consequência da interação de vários fatores, tais como: o tipo de solo, a fonte de fósforo, a dose e o modo de aplicação, o sistema de preparo do solo e sequência de cultivos. Entre os componentes do solo que são mais importantes para aumentar essa eficiência, destaca-se a matéria orgânica do solo, devido à sua importância na ciclagem deste nutriente, reduzindo sua precipitação e adsorção, e favorecendo a solubilização de fosfatos de menor solubilidade (Sousa et al., 2010).

Considerando a MOS como componente que influencia o uso eficiente de P, sistemas como o plantio direto e de integração lavoura-pecuária, aliados a uma adubação criteriosa, proporcionam o aporte de restos culturais e raízes necessários para a manutenção da atividade biológica do solo, possibilitando manter, e até mesmo aumentar o teor de matéria orgânica do solo em relação à condição de vegetação nativa (Sousa et al., 2010).

3.3. Matéria Orgânica do Solo (MOS)

A MOS é um grande reservatório de nutrientes, sendo constituída basicamente por C, H, O, N, S e P, (Silva e Resck, 1997). Em regiões de clima tropical e subtropical, como o Cerrado, a MOS é considerada o componente principal de fertilidade do solo, desempenhando papel fundamental na capacidade de troca catiônica (CTC) e fornecimento de nutrientes, além da complexação de elementos tóxicos (Bayer e Mielnicsuk, 1999).

Essa alta contribuição da MOS na CTC em solos do Cerrado deve-se à presença de argilas de baixa atividade, composta basicamente por caulinita, gibsitita e óxidos de ferro e alumínio que possuem baixa CTC (Adámoli et al., 1986). Em solos intemperizados, como os do Cerrado, a contribuição da MOS é ainda maior, devido à ionização de grupos carboxílicos, enólicos e fenólicos e a aumentos do pH do meio (Silva & Resck, 1997). Comparando-se com a caulinita que apresenta CTC baixa (3-5 cmol_c kg⁻¹), a fração húmica da MOS pode gerar em torno de 400 a 1400 cmol_c kg⁻¹, justificando a sua significativa importância na CTC desses

solos. A contribuição da matéria orgânica na CTC dos solos é tanto maior quanto menor for a contribuição da fração mineral (Canellas et al., 2008).

Além disso, a MOS está ligada a disponibilidade de nutrientes, como o C, N, P, S e micronutrientes (Bayer & Mielniczuk, 2008). Esse fornecimento pode ser afetado dentre outros fatores, pela quantidade e qualidade dos resíduos aportados e pela atividade microbiana e suas enzimas, que controlam a decomposição desses resíduos e o acúmulo e liberação de nutrientes através dos processos de imobilização e mineralização, funcionando como fonte e dreno destes (Singh et al., 1989).

A MOS também está ligada às características físicas do solo, afetando diretamente sua agregação, que por sua vez influencia a densidade, porosidade, capacidade de retenção de água entre outras (Castro Filho et al., 1998). Os mecanismos de formação das classes dos agregados são influenciados pela MOS, sendo esta responsável pelas ligações de polímeros orgânicos com a superfície inorgânica por meio de cátions polivalentes (Tisdall & Oades, 1982). Castro Filho et al. (1998) em estudo realizado num Latossolo Roxo na camada de 0 a 10cm observaram que houve uma alta relação entre os teores de C orgânico do solo e os parâmetros de agregação avaliados, concluindo que os aumentos de C elevam o índice de estabilidade de agregados.

A MOS afeta diretamente as propriedades biológicas do solo, pois atua como fonte de carbono, energia e nutrientes para os organismos. Ela também pode reter água na estrutura ativa e na matéria macrorrgânica, sendo que esta água é fundamental para manter o equilíbrio biológico do solo, principalmente em regiões secas (Bayer & Mielniczuk, 2008).

O processo de decomposição realizado principalmente pelos microrganismos do solo é fundamental na liberação dos nutrientes e micronutrientes constituintes das estruturas dos compostos orgânicos. Os nutrientes liberados por esse processo podem ser imobilizados pelos microrganismos e utilizados na formação de novos compostos orgânicos, ou mineralizados e liberados na solução do solo (Silva & Mendonça, 2007).

Cerca de 95% da MOS é formada pelo componente não-vivo, incluindo a fração pesada que contém as substâncias húmicas (humina, ácidos húmicos e ácidos fúlvicos) e a fração leve (matéria macrorrgânica). Outro compartimento refere-se ao componente vivo, que representa aproximadamente 5% da MOS, composto pelas raízes das plantas (5-10%), macrorganismos (15-30%) e microrganismos (60-80%) (Hungria et al., 1997). A parte viva da MOS referente à biomassa microbiana do solo (BMS) é composta principalmente por fungos, bactérias e arqueas (Kaschuk et al., 2009). Esta exerce papel fundamental na decomposição de resíduos orgânicos, ciclagem de nutrientes e fluxo de energia no solo (Jenkinson et al., 2004).

Devido à complexidade da MOS e diferentes funções de seus compartimentos, técnicas de fracionamento químico e físico, tem sido utilizadas para avaliar os impactos causados pelos diferentes usos e manejos nas propriedades do solo (Guerra & Santos, 2008).

No fracionamento químico são avaliados os teores de carbono (C) das diferentes frações do material húmico, baseando-se na solubilidade em meio ácido e básico das substâncias húmicas (humina, ácido húmico e ácido fúlvico) que representam mais de 70% do carbono presente no solo (Guerra & Santos, 2008).

O fracionamento físico, de acordo com Roscoe e Machado (2002), pode ser dividido em densimétrico e granulométrico. O primeiro baseia-se na separação das frações orgânicas por densidade, obtendo-se as frações leve (FL), e pesada (FP) (associada aos minerais), podendo ainda subdividir a FL em FL livre e FL oclusa (dentro dos agregados).

Dentre as metodologias encontradas para o fracionamento granulométrico, Cambardella e Elliott (1992) propuseram um método considerando duas frações básicas da MOS, a matéria orgânica particulada (MOP) que corresponde às frações obtidas ao tamanho areia ($> 0,053$ mm), referente a resíduos de tecidos intactos, com pedaços de folhas e raízes, sendo mais sensíveis ao manejo. A outra é a matéria orgânica associada aos minerais (MOM) que são as frações inferiores a 0,053 mm, correspondente ao material orgânico associado à fração argila e silte (componente mineral do solo), formando complexos organo-minerais, sendo mais resistente ao manejo do solo (Bayer et al., 2004; Roscoe et al., 2006; Souza et al., 2006; Loss et al., 2009).

Segundo Resck et al. (2008), a manutenção e estabilização do carbono (C) no solo estão ligados a diversos fatores, tais como o clima, a quantidade e a qualidade de resíduos vegetais, textura do solo, atividade dos microrganismos, estrutura do solo, sistema de manejo adotado, adubação entre outros.

A conversão de sistemas naturais para a agricultura envolve uma série de atividades que afetam as taxas de aporte e decomposição da MOS, dentre elas a perturbação física ocasionada pelos implementos no preparo do solo, a qual expõe a MOS ao processo de decomposição microbiana, devido à destruição dos agregados (Hassink & Whitmore, 1997). Essa decomposição ainda pode ser acelerada em regiões tropicais devido às altas temperaturas e precipitações, principalmente sob preparo anual e intensivo (Resck et al., 2008).

A adoção do sistema de plantio direto (SPD) representa uma alternativa de manejo conservacionista. Por não revolver o solo, ele acumula resíduos na sua superfície do mesmo, o SPD interfere menos na taxa de decomposição, favorecendo a manutenção e até mesmo o

acúmulo da MOS, quando comparado a sistemas convencionais (Bayer & Mielniczuk, 1999; Resck, 1999).

3.4. Qualidade do solo (QS)

O conceito de Qualidade do Solo (QS) é recente, datado do fim dos anos 80 e início dos anos 90, e reflete a preocupação crescente com a sustentabilidade de produção de alimentos e a degradação dos solos. A QS foi conceituada de acordo com Doran e Parkin (1994) como a capacidade do solo de exercer várias funções dentro dos limites do uso da terra e do ecossistema para sustentar a produtividade biológica, manter ou melhorar a qualidade ambiental e contribuir para a saúde das plantas, dos animais e humana.

Nos últimos anos, tem havido um interesse a cerca da QS e de como avaliá-la, pois o solo é um dos principais suportes da produção agrícola. No entanto, a multiplicidade de fatores químicos, físicos e biológicos que controlam os processos biogeoquímicos e suas variações em função do tempo e espaço, aliados à complexidade do solo, dificultam a capacidade de acessar a sua qualidade e identificar parâmetros-chave que possam servir como indicadores de seu funcionamento (Doran e Parkin, 1994).

Além da dificuldade de identificar “parâmetros-chave” para estabelecer a qualidade ideal do solo, também não há consenso geral a respeito dos solos que devem ser considerados como referência de qualidade. As principais abordagens relacionadas nesta discussão são em utilizar áreas de vegetação clímax idealizadas por Fedoroff (1987), caracterizadas como áreas de vegetação nativa com mínima perturbação em que os atributos e propriedades estão em equilíbrio, sendo este adquirido em longo prazo. A outra opção refere-se à utilização de solos capazes de manter a alta produtividade, e de causar o mínimo de perturbação ao meio ambiente (Gil-Sotres et al., 2005).

No funcionamento ideal do solo os fatores químicos, físicos e biológicos estão em equilíbrio, e a seleção de atributos indicadores de qualidade do solo deve ser cautelosa. Segundo Elliot et al. (1994), um bom indicador deve conter os requisitos básicos: a) sensibilidade para um maior número de agentes degradantes; b) consistência na direção da mudança; c) capacidade de refletir os diferentes níveis de degradação; d) fácil mensuração e com preço de determinação acessível; e) fácil interpretação.

Ao longo desses anos de pesquisas e discussões sobre a QS e a sustentabilidade agrícola, basicamente três linhas de pensamentos surgiram, sendo uma linha que visa a busca de indicadores de natureza biológica, química e física, a outra idealiza a matéria orgânica do

solo como melhor indicador, e a última analisa os processos no sistema solo-planta (Vezzani & Mielniczuk, 2009).

O modelo de avaliação da QS proposto por Vezzani (2001), baseia-se na premissa de que o solo é resultado de interações entre os minerais, as plantas e a biota edáfica, sendo o fluxo de energia e matéria controlados pelos compostos orgânicos. A partir de relações específicas entre esses componentes são originadas estruturas complexas e diversificadas que geram as propriedades emergentes que capacitam o solo a exercer suas funções, atingindo a qualidade. Com isso, a matéria orgânica do solo passa a ser um importante atributo da QS, pois suas funções no solo estão estreitamente relacionadas às propriedades químicas, físicas e biológicas emergentes do solo que promovem a QS.

Apesar da MOS ser considerada como um atributo chave da QS, a quantificação da qualidade do solo é um trabalho bem complexo, pois a multiplicidade de fatores químicos, físicos e biológicos que resultam no funcionamento do solo, bem como as suas variações, em função do tempo e espaço, dificultam a capacidade de acessar a sua qualidade.

3.4.1. Índices de Qualidade do solo

A qualidade do solo pode ser quantificada a partir de um conjunto mínimo de atributos químicos, físicos e biológicos integrados em um índice de qualidade do solo (IQS), constituindo uma ferramenta para a agregação e simplificação de informações de natureza diversa (Sands & Podmore, 2000).

Os IQS podem ser obtidos através de uma expressão ou modelo matemático que contenha os atributos do solo considerados. Assim, a soma dos efeitos desses atributos (quantificados pelos seus respectivos indicadores) que são importantes para a promoção de qualidade do solo de um determinado ambiente, é expressa no índice de qualidade (Burger e Kelting, 1999).

Os IQS podem ser utilizados para o monitoramento da situação em que se encontra o solo, bem como na identificação de práticas de manejo e uso do solo mais adequado e sustentável. O IQS esses podem auxiliar no monitoramento de qualidade do solo em programas de recuperação de áreas degradadas, para orientar legislações e políticas relacionadas à ocupação do solo, podendo servir ainda como parâmetro de programas e políticas agrícolas bem como um referencial para valoração de terras (Tótola & Chaer, 2002).

Conforme Kelting et al. (1999) e Schoenholtz et al. (2000), o trabalho pioneiro em que se desenvolveu um índice de produtividade do solo foi elaborado por Storie (1933), onde o autor estabeleceu um quadro de pontuação para o solo com base em valores medidos para cinco propriedades: textura, profundidade, drenagem, alcalinidade e morfologia. Cada propriedade foi pontuada de 0 a 1, de acordo com sua contribuição para a produtividade agrícola, estas são multiplicadas originando uma pontuação relativa.

A partir dessa idéia, outros modelos foram desenvolvidos, combinando os atributos do solo em um índice geral de qualidade, conhecido como índice de produtividade (PI) (Kiniry et al., 1983). Este índice é composto de um modelo multiplicativo que integra medidas de campo, realizadas para diversas variáveis do solo, originando-se um índice relacionado à produtividade vegetal. Neste modelo, as raízes terão uma distribuição ideal se não houver restrições do solo ao crescimento com a profundidade, e caso haja uma restrição, as raízes irão desviar dessa distribuição ocasionando perdas de produtividade.

Kiniry et al. (1983) selecionaram cinco variáveis do solo para incluir em seu modelo: disponibilidade de água; densidade do solo; aeração; pH e condutividade elétrica. Os valores dessas variáveis são calculados a partir de curvas de suficiência desenvolvidas para cada variável considerando o desenvolvimento das raízes. O modelo também possui outras variáveis, como o RI (fator-peso, baseado na distribuição ideal das raízes) e *i* (camadas ou horizontes do solo). As curvas de suficiência definem a relação entre cada atributo da qualidade do solo e a produtividade (Kelting et al., 1999). As curvas de suficiência e o RI são padronizados entre zero e um, para que o PI fique nesse intervalo, logo, tanto quanto o PI se aproximar da unidade, a distribuição das raízes se aproxima da ideal, assim aumentando a produtividade.

Buscando uma maneira para avaliar o efeito de sistemas de produção sobre a QS, Karlen & Stott (1994) propuseram que esta pode ser avaliada pelo uso de curvas de pontuação normalizadas semelhantes às curvas de suficiência, estabelecidas por sistemas de aproximação criados por Wymore (1993). O modelo é similar em relação aos princípios básicos do modelo de PI. A QS é determinada utilizando-se um modelo aditivo, onde as pontuações são atribuídas para a 1) habilidade do solo de permitir a entrada de água, 2) facilitar a transferência e a absorção de água, 3) resistir à degradação e 4) sustentar o crescimento das plantas, multiplicando-se pelo peso relativo aplicado a cada atributo. Os pesos para cada atributo são definidos de acordo com a interpretação empírica da importância desses atributos em preencher todos os requisitos que mantêm a qualidade do solo sob uma determinada condição de uso. Sendo assim, considerando que os pesos para todas as funções do solo

devem somar 1, o solo ideal que preenchesse todas as funções consideradas importantes, teria a pontuação igual a 1, ou vice-versa. Este modelo de índice de qualidade foi testado em outros estudos (Hussain et al., 1999; Glover et al., 2000; Chaer 2001; Silva, 2008).

Seguindo essa linha, Chaer (2001) visando quantificar o efeito do diferentes manejos na cultura do eucalipto sobre a qualidade do solo, relacionou as propriedades físicas, químicas e biológicas com as seguintes funções do solo relacionadas à sustentabilidade da atividade florestal: (1) receber, armazenar e suprir água; (2) armazenar, suprir e ciclar nutrientes; (3) promover o crescimento das raízes; (4) promover a atividade biológica e (5) manter a homeostase. A cada função foi associado um peso numérico, expresso em porcentagem, que determina o seu peso dentro do modelo. Similarmente, foram definidos pesos para cada indicador associado a cada função do solo. Cada indicador do modelo foi pontuado em uma escala de 0 a 1 por meio de funções de pontuação padronizada (FPPs; Wymore, 1993). A partir disso o IQS foi calculado pela soma das pontuações obtidas por cada indicador, ponderada pelos pesos definidos de acordo com o grau de importância atribuído tanto ao indicador, em relação à função do solo ao qual ele foi associado, quanto à própria função, em relação à qualidade global do solo. Na profundidade de 0 a 5 cm, o maior IQS foi obtido no solo sob vegetação natural, seguido dos solos sob eucalipto submetidos a manejos que priorizaram a conservação dos resíduos orgânicos por ocasião da reforma do povoamento. Os valores mais baixos dos IQS foram observados nos tratamentos em que houve a remoção ou queima do material orgânico da superfície do solo.

As planilhas utilizadas no trabalho de Chaer (2001) constituíram a base para o desenvolvimento da versão 1.0 do software SIMOQS (Sistema de Monitoramento da Qualidade do Solo), uma ferramenta computacional desenvolvida na Universidade Federal de Viçosa. O SIMOQS permite a construção e condução de testes de modelos para cálculos de índices de qualidade de solos de forma rápida, com uma interface amigável e que podem ser aplicados a diferentes regiões e culturas.

Mendes et al. (2008) em trabalho realizado na região do cerrado, verificaram que o uso do SIMOQS foi eficaz para o monitoramento da qualidade do solo em diferentes agroecossistemas. O cálculo do IQS permitiu diferenciar os sistemas de manejo quanto às suas propriedades químicas, físicas e biológicas na camada de 0-10 cm, confirmando os benefícios das pastagens bem manejadas, em especial com o consórcio de leguminosas, da rotação lavoura/pastagem e do plantio direto como sistemas de manejo que contribuem para a promoção de qualidade do solo nos Cerrados.

Também com auxílio do SIMOQS, Souza (2011) avaliou a qualidade do solo utilizando-se atributos químicos, físicos e biológicos em áreas sob PD, PC e vegetação nativa na camada de 0-10 cm, num Latossolo Vermelho no Cerrado. Foram obtidos três diferentes modelos a partir do SIMOQS e os resultados mostraram que em ambos os modelos às áreas cultivadas sob PD apresentaram maiores índices de qualidade do solo.

Uma outra estratégia para elaboração de índices de qualidade do solo (IQS) são os modelos baseados em regressão múltipla (Trasar-Cepeda et al., 1998) ou em análises de componentes principais (ACP) (Andrews et al., 2002; Romaniuk et al., 2011).

Utilizando modelos de regressão múltipla Trasar-Cepeda et al. (1998) observaram em solos não perturbados de alta qualidade com vegetação clímax na Galícia, (Espanha) que existe um equilíbrio entre a matéria orgânica e as propriedades biológicas e bioquímicas avaliadas. Como grande parte desses atributos foram positivamente correlacionados, tanto com o carbono total quanto ao nitrogênio total, gerou-se uma equação polinomial, para expressar este equilíbrio, onde o conteúdo total de N foi estimado em função do C da biomassa microbiana, do N mineralizável, e das atividades das enzimas fosfatase, β -Glicosidase e urease ($R^2=0,97$). Diante disso, esses autores propuseram um índice bioquímico de qualidade do solo através da relação entre os teores reais e estimados de N do solo (razão N medido/N estimado).

Alguns trabalhos na mesma região validaram a versão simples dessa equação (relação N medido/N estimado) para indicar a o grau de degradação ou o distúrbio de solos afetados pelo manejo, mineração ou contaminação com efluentes orgânicos e metais pesados (Leiros et al., 1999; Trasar-Cepeda et al., 2000).

Armas et al. (2007) propuseram um índice de qualidade biológica (IQB) em estudo realizado nas Ilhas Canárias, Espanha. Foram selecionados tratamentos com graus diferentes de degradação do solo, em três habitats típicos da região sob dois tipos de solo. Uma equação por regressão múltipla foi gerada, e as variáveis selecionadas foram o carbono extraível em água quente, respiração microbiana, celulase, β -glicosidase e desidrogenase, explicando aproximadamente 100% da variação do conteúdo de carbono orgânico total (COT). Semelhante ao trabalho de Trasar-Cepeda et al. (1998), esses autores geraram um IQB através dos cálculos do valores reais de COT e os estimados pela equação (razão C medido/C estimado), sendo eficaz na predição da qualidade biológica em diferentes graus de degradação, em ambos habitats e solos estudados.

Zornoza et al. (2007) avaliaram alguns atributos físicos, químicos e bioquímicos de diferentes solos em quatro florestas não perturbadas na Espanha. Os autores utilizaram a

análise de componentes principais (ACP) para verificar a dependência e relação entre as variáveis analisadas e os diferentes tipos de solo, e observaram comportamento distinto entre os solos estudados, possibilitando a geração de duas equações polinomiais. Também foram avaliadas as razões (C medido/C estimado) e (N medido/N estimado) em duas áreas desmatadas nesses dois tipos de solo, mostrando que os modelos foram adequados em prever os níveis de perturbação comparado-se aos de vegetação clímax.

Chaer et al. (2009) utilizando a mesma estratégia proposta por Trasar-Cepeda et al. (1998), observaram que o teor de C total de diferentes solos sob cobertura florestal de coníferas do noroeste dos EUA pôde ser explicado apenas pelo C da biomassa microbiana e pela atividade da fosfatase, independentemente do horizonte do solo ou da época de coleta das amostras. A relação entre o C medido (C_{med}) e o C estimado (C_{est}) por meio de um modelo de análise de regressão linear múltipla ($R^2=0,97$), provou ser um indicador simples para acessar os efeitos de diferentes estresses (pH e metais pesados) e distúrbios (ciclos de umedecimento e secagem e de congelamento e descongelamento) aplicados aos solos daquela região.

3.5. Indicadores microbiológicos

Os microrganismos juntamente com a fauna (micro, meso e macro) e as raízes das plantas, constituem a fração viva da matéria orgânica do solo e podem ser utilizados como indicadores biológicos ou bioindicadores uma vez que estão intimamente relacionados ao funcionamento do solo, apresentando uma estreita inter-relação com os componentes físicos e químicos (Mendes et al., 2009).

Como o estabelecimento de diferentes agroecossistemas influencia diretamente a biota do solo e os processos realizados por ela, o uso de indicadores microbiológicos pode ser visto como um componente importante dos estudos envolvendo a avaliação da qualidade dos solos agrícolas, devido à sua sensibilidade para detectar, em etapa anterior em comparação a outros parâmetros físicos e químicos, alterações que ocorrem nesse ambiente em função do seu uso e manejo, seja ele mantenedor, melhorador ou degradador da qualidade (Doran, 1980; Dick, 1994; Matsuoka et al. 2003; Silva et al., 2009; Carneiro et al. 2009).

Ao contrário do que ocorre com os indicadores químicos de fertilidade, em que os níveis (muito baixo, baixo, médio, adequado e alto) já foram relativamente definidos para cada nutriente e tipo de solo (tendo em vista as características como, textura, teor de matéria orgânica e etc.) ainda há muita carência em base de informações disponíveis a cerca de dados biológicos.

Assim, tem havido dificuldades na interpretação dos bioindicadores de qualidade, ou seja, de saber realmente quando é que os valores obtidos indicam ou não um bom solo, isso é um dos grandes obstáculos a serem passados para o uso dessas variáveis nas avaliações de qualidade do solo (Tótola & Chaer, 2002).

Outro aspecto a ser destacado é que os valores ideais para os bioindicadores podem variar conforme o tipo de solo, sistemas de manejo e condições climáticas. Santana & Bahia-Filho (1999) utilizaram o termo limite de sustentabilidade para separar a condição sustentável de não-sustentável e propuseram dois enfoques para o estabelecimento de critérios de referências: 1) condição de solo nativo e 2) condições que maximizem a produção e conservem o meio ambiente. Além disso, os critérios de variação temporal podem ser adotados quando ocorre o acompanhamento de uma mesma área ao longo do tempo. Nesse caso, os valores determinados para os indicadores microbiológicos podem ser monitorados para se avaliar tendências ao longo do tempo. Tanto as avaliações comparativas usando as áreas de referências como, as avaliações temporais são complementares, pois permitem diferentes escalas de avaliação. Destes critérios de referência, o uso de áreas nativas com mínimos impactos antropogênicos, tem prevalecido (Dick, 1994; Doran & Parkin, 1994; Trasar-Cepeda et al., 1998; Mendes et al., 2003).

Dentre os parâmetros que mais tem sido avaliados nos estudos de indicadores microbiológicos destacam-se, a biomassa microbiana do solo, a atividade e diversidade microbiana e atividade enzimática (Matsuoka et al., 2003, Carneiro et al., 2004, Carneiro et al., 2008).

3.5.1. Carbono da biomassa microbiana (CBM) e Respiração Basal

A biomassa microbiana do solo (BMS) geralmente é expressa em μg de C. g^{-1} de solo ou mg de C. kg^{-1} de solo sendo a parte viva e mais ativa da matéria orgânica do solo, constituída principalmente por fungos, bactérias e arqueas (Kaschuk et al., 2009). Considera-se que as bactérias e fungos são responsáveis por cerca de 90% da atividade da BMS (Siqueira, 1994). Ela tem participação direta nas modificações ocorridas na matéria orgânica do solo, na ciclagem de nutrientes e no fluxo de energia (Gama-Rodrigues e De Polli, 1999), apesar de seu tamanho ser relativamente pequeno, variando de 1% a 5% do carbono orgânico total do solos. Além disso, participam nos processos de biorremediação de poluentes e metais pesados (Reis Jr. e Mendes, 2007).

As determinações da biomassa microbiana não fornecem indicações sobre os níveis de atividade das populações microbianas do solo, ou seja, podem ocorrer casos em que os solos apresentem elevadas quantidades de biomassa inativa e vice-versa. Assim, os parâmetros que medem a atividade microbiana ganham importância, dentre eles a respiração basal, representada pela quantidade de CO₂ liberada pela respiração dos microorganismos (também conhecida como C prontamente mineralizável) geralmente expressa em µg de CO₂. g⁻¹ dia⁻¹. Esta depende do estado fisiológico das células e é influenciada por diferentes fatores, tais como: umidade, temperatura e disponibilidade de nutrientes (Mendes e Reis Jr. 2004).

Em estudo realizado em áreas sob cultivo de soja no Cerrado do sudoeste do Piauí, Matias et al. (2009), encontraram valores superiores de biomassa microbiana no sistema de plantio direto, comparando-se aos valores obtidos no sistema de plantio convencional e numa área recém-desmatada. Os valores de respiração foram superiores no plantio convencional, apesar dos valores de biomassa serem inferiores ao de SPD, indicando que o preparo do solo influencia a BMS e sua atividade, e que sistemas conservacionistas podem melhorar a qualidade do solo.

Matsuoka et al., (2003) avaliou o carbono da biomassa microbiana (CBM) em sistemas de cultivos anuais, perenes e solo sob vegetação nativa de Cerradão num latossolo vermelho-amarelo em Primavera do Leste - MT. Houve reduções nos valores de CBM em ambas as profundidades amostradas (0-5 e 5-20) em todos os sistemas de cultivo comparando-se ao Cerradão, mostrando a sensibilidade deste atributo frente às alterações no solo provocadas pelos diferentes sistemas de uso da terra.

D'Andréa et al., (2002) avaliaram a BMS em cinco diferentes propriedades sob diferentes sistemas de manejo num latossolo vermelho no sul de Goiás, em três profundidades (0-10; 10-20 e 20-40 cm). Os valores obtidos de BMS foram significativos na camada superficial (0-10cm) para os sistemas de manejo, com o Cerrado apresentando maiores teores de carbono microbiano, mostrando que o sistema de manejo altera a BMS.

Os valores de BMS mais altos no cerrado nativo, comparando-se a outros sistemas de manejo é decorrente pelo fornecimento contínuo de materiais orgânicos com diferentes graus de suscetibilidade à decomposição, originados da vegetação, que em ampla diversidade, também deposita substratos orgânicos oxidáveis (D'Andréa et al., 2002). Com isso, há uma grande quantidade de microfauna saprófita e predadora destes, e essas diferentes condições sob a vegetação natural, juntamente com a ausência de revolvimento do solo podem explicar os valores elevados de BMS, indicando um maior equilíbrio neste ecossistema (Matsuoka et al., 2003; D'Andréa et al., 2002).

O sistema de plantio direto (SPD) proporciona condições favoráveis para o desenvolvimento dos microorganismos na camada superficial do solo, devido ao não revolvimento do solo e a deposição de resíduos vegetais originados das culturas instaladas. Com isso a BMS é maior nas camadas superficiais do solo neste sistema quando comparado ao sistema convencional (Matias et al., 2009; D'Andréa et al., 2002).

As alterações na BMS devido o preparo do solo podem ocorrer em função da disponibilidade e acesso ao substrato de carbono pelos microrganismos e/ou ainda pelas variações nos padrões metabólicos, ou ainda pelas alterações na composição das comunidades microbianas, causadas pelo preparo do solo e pela espécie vegetal que é cultivada (Alvarez et al., 1995). Uma maior aeração e incorporação de resíduos orgânicos, devido ao revolvimento e mobilização do solo, como no preparo convencional, a princípio pode elevar a BMS, mas com o passar do tempo, pode ter efeitos desfavoráveis em seus teores (Perez et al., 2004).

3.5.2. Enzimas do solo

As enzimas do solo participam das reações metabólicas intercelulares, responsáveis pelo funcionamento e pela manutenção dos seres vivos e também desempenham papel fundamental, atuando como catalisadoras de várias reações que resultam na decomposição de resíduos orgânicos (ligninases, celulases, proteases, glucosidases, galactosidases), ciclagem de nutrientes (fosfatases, amidases, urease, sulfatase), formação da matéria orgânica e da estrutura do solo (Mendes e Vivaldi, 2001).

A atividade enzimática do solo é o resultado do somatório da atividade enzimática dos organismos vivos (plantas, microrganismos e animais) e das enzimas abiônicas (enzimas associadas à fração não-viva que se acumulam no solo protegidas da ação de proteases através da adsorção em partículas de argila e na matéria orgânica do solo (Mendes e Reis Junior, 2004).

A celulase é um complexo multienzimático denominado celulosomo, sendo constituído por endoglucanase (EC 3.2.1.4), exoglucanase (EC 3.2.1.91) e β -Glicosidase (EC 3.2.1.21) (Tabatabai, 1994), responsável pelas reações de catalisação da celulose. A endoglucanase (EG) hidrolisa de forma aleatória as regiões amorfas da cadeia polissacarídea da celulose, liberando novos oligossacarídeos de diversos tamanhos. A exoglucanase (CBH) atua nas regiões redutoras e não redutoras liberando glicoses ou celobiose, podendo ainda a

sua ação causar um desgaste da estrutura microcristalina da celulose. E por fim, a β -Glicosidase, que hidrolisa celobioses, liberando a glicose (Makoi & Ndakidemi, 2008).

A decomposição da celulose é controlada pelos níveis de celulose encontradas nos solos. Essa enzima é excretada por bactérias e fungos, dependendo das condições do ambiente, como a temperatura (30 – 50°C) e pH (5-6), e sua atividade pode ser afetada pela qualidade da matéria orgânica (Doyle et al., 2006).

A celulose é considerada como uma das únicas fontes renováveis de carbono, além de ser disponível em grandes quantidades na forma de resíduos celulósicos, representando mais de 60 % dos resíduos provindos da agricultura, participando na formação da matéria orgânica e é importante no ciclo global do carbono (Coelho et al., 2008). Ela representa a maior parte de CO₂ fixado pelos vegetais, e é considerada um homopolissacarídeo insolúvel em água, sendo constituída por unidades de glicose unidas entre si por ligações glicosídicas β - 1,4 (Rodrigues, 2008).

A β -Glicosidase é uma das enzimas mais comuns encontradas no solo, tem papel fundamental na hidrólise de celobiose, atuando na etapa final de degradação da celulose, liberando como produto a glicose, que é uma importante fonte de energia para os microrganismos (Makoi & Ndakidemi, 2008). Esta enzima pode ser encontrada em microrganismos, plantas e células animais, e sua atividade pode ser influenciada pela temperatura do solo, pH, qualidade e conteúdo de matéria orgânica (Tabatabai, 1994).

As fosfatases são enzimas do solo que catalisam a hidrólise de ésteres de fosfatos, liberando fosfato solúvel, a partir do P orgânico, tendo papel importante no ciclo do fósforo. Elas são secretadas pelas raízes de plantas e por microrganismos. São classificadas de acordo com o pH ótimo de atividade, sendo, ácida (pH 4– 6,5), neutra e alcalina (pH 9-10). A atividade das fosfatases é fortemente influenciada pelos valores de fósforo no solo, de pH, temperatura, pelo conteúdo de matéria orgânica e outros (Tabatabai, 1994).

A arilsulfatase é amplamente distribuída nos solos, sendo responsável pela hidrólise de ésteres de sulfato no solo. Pouco ainda se sabe sobre gêneros ou espécies microbianas específicas que desempenham um papel importante no ciclo orgânico do enxofre no solo, e também em relação à arilsulfatase, principalmente os fatores ambientais que influenciam a atividade desta enzima (Kertesz & Mirleau, 2004).

Marchiori Junior e Melo, (1999) em experimento realizado no município de Paulo Faria (SP), sob Terra Roxa Estruturada, obtiveram resultados superiores de 47% e 74% da atividade da enzima celulase comparando-se o tratamento sob pastagem cultivada há 25 anos com a mata natural nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm respectivamente, evidenciando

a influência da cultura e a sensibilidade da enzima em relação à qualidade do resíduo adicionado no sistema.

Matsuoka et al., (2003) avaliaram a atividade das enzimas fosfatase ácida, arilsulfatase e da β -Glicosidase em sistemas de cultivos anuais, perenes e solo sob vegetação nativa de Cerradão num latossolo vermelho-amarelo em Primavera do Leste - MT. Foram observados maiores valores na atividade das enzimas β -glicosidase e arilsulfatase na entrelinha do sistema de cultivo perene nas duas profundidades avaliadas (0-5 e 5-20 cm) comparando-se aos demais tratamentos. Na atividade da fosfatase ácida o maior valor foi obtido na camada de 0-5 cm no Cerradão, sendo esses superiores aos demais tratamentos. Valores superiores da atividade da fosfatase ácida também foram encontrados por Conte et al., (2002) na camada de 0-10 sob mata natural, comparando-se aos tratamentos de doses acumuladas de fósforo.

Carneiro et al., (2008) avaliando atributos biológicos de dois tipos de solos, encontraram maiores valores da atividade da fosfatase ácida para o sistema de cultivo de milho/braquiária, até mesmo em comparação ao cerrado nativo para o Neossolo Quartzarênico, no Latossolo Vermelho não houve diferença significativa entre os tratamentos.

Assim como a BMS e sua atividade, a atividade enzimática é um indicador sensível, podendo ser utilizado no monitoramento de alterações ocorridas no ambiente devido à atividade agrícola, podendo ser utilizada como ferramenta para o melhor planejamento e avaliação de práticas de manejo, visando à sustentabilidade do solo.

3.6. Avaliação da Fertilidade do solo baseados em análise química do solo

A avaliação da fertilidade do solo envolve processos de amostragem, métodos de análise, técnicas de diagnóstico dos resultados e modelos de interpretação e de recomendação de corretivos e fertilizantes. Essa avaliação, geralmente, é baseada na análise química do solo, e tem sido utilizada para avaliar o estado nutricional do mesmo, para gerar recomendações de corretivos e fertilizantes de modo racional e econômico (Schlindwein & Gianello, 2008).

Os dados obtidos da análise de solo devem ser interpretados e para isso há necessidade de uma série de trabalhos experimentais para cada região. Esses trabalhos baseiam-se na seleção de métodos de análise, calibração do método de análise e recomendação de adubação (Goedert et al., 1991).

Na etapa de seleção de métodos de análise são utilizados extratores químicos para remover do solo as formas químicas dos nutrientes consideradas disponíveis para a planta, geralmente realizada em experimentos em casa de vegetação. Esse nutriente recuperado será

indicador da disponibilidade se apresentar correlação significativa com algum indicador da planta, como por exemplo, a produção que usualmente é convertida em produção relativa, indicando o potencial de resposta da cultura à aplicação do nutriente (Cantarutti et al., 2007).

Através da análise correlação, observa-se se há uma intensidade linear entre as variáveis aleatórias e dependentes, geralmente expressa pelo coeficiente de correlação de Pearson, ou também pode ser expressa graficamente pelo procedimento gráfico desenvolvido por Cate & Nelson (1965). Caso apresente alta correlação, significa que o teor do nutriente está bem correlacionado com a resposta da cultura, e o método de análise foi eficiente na predição da disponibilidade do nutriente no solo (Cantarutti et al., 2007).

A partir disso, torna-se necessário estabelecer valores de referência para a disponibilidade dos nutrientes e a definição das doses a serem aplicadas com base na resposta da cultura. Assim, utiliza-se a calibração, que tem por objetivos estabelecer os níveis críticos, e as classes de fertilidade. Nessa etapa são implantados experimentos em campo, em geral, caracterizados como curvas de resposta, que relacionem os fatores que influem na fertilidade e na nutrição da planta, e que mostrem a resposta da cultura em função do aumento da disponibilidade do nutriente no solo (Goedert et al., 1991).

O nível crítico (NC) corresponde ao valor do limite superior da faixa médio, correspondendo ao valor do nutriente extraído acima da qual há pouca probabilidade de resposta à adição de fertilizantes (Anghinomi & Meurer, 2004). O NC pode ser obtido pelo método gráfico de Cate e Nelson (1965), pelo método estatístico de Cate & Nelson (1971), por função descontínua (Linear Response Plateau), funções curvilíneas ou ainda estimado entre 80 e 95% da produção relativa, tendo em vista que essa faixa corresponde à produção de máxima eficiência econômica (Miranda et al., 1980; Sousa & Lobato, 2003).

Após a definição do NC, são definidas outras classes de fertilidade para facilitar a interpretação dos resultados, tais como: muito baixa, baixa, média e alta, baseadas na probabilidade de resposta à aplicação de fertilizantes. Normalmente são estabelecidas entre 3 a 5 classes, sendo os limites relacionados com produções relativas específicas (Goedert et al., 1991).

Para a recomendação de adubação, em geral, utilizam-se experimentos em campo baseados em curvas de respostas, objetivando estimar a produção máxima da cultura, e ao mesmo tempo, as doses necessárias para atingi-las. Essas doses estão associadas às classes delimitadas anteriormente, e a partir disso, a dose pode ser definida com base em uma análise econômica (Cantarutti et al., 2007).

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADÁMOLI, J.; MACÊDO, J.; AZEVEDO, L. G.; NETTO, J. M. Caracterização da região dos Cerrados. In: GOEDERT, W. J. (Ed.). **Solos do Cerrado: tecnologias e estratégias de manejo**. Planaltina-DF: Embrapa-CPAC; São Paulo: Nobel, p. 33-74, 1986.

ALBUQUERQUE, L. B.; ALONSO, A. M.; AQUINO, F. G.; REATTO, A.; SILVA, J. C. S.; LIMA, J. E. F. W.; SOUSA, A. C. S. A.; SOUSA, E. S. **Restauração ecológica de matas ripárias: uma questão de sustentabilidade**. Planaltina-DF. Embrapa cerrados – (Documentos/Embrapa cerrados), 75p. 2010.

ALVAREZ, R.; DOAZ, R.A.; BARBERI, N.; SANTANATOGLIA, O.J.; BALOTA, L. Soil organic carbon, microbial biomass and CO₂-C production from tree tillage systems. **Soil & Tillage Research**, v.33, p.17-28, 1995.

ANDREWS, S.S., MITCHELL, J. P., MANCINELLI, R., KARLEN, D. L., HARTZ, T. K., HORWATH, W. R., PETTYGROVE, G. S., SCOW, K. M., MUNK, D. S. On-farm assessment of soil quality in California's Central Valley. **Agronomy Journal**, Davis, v. 94, p.12-23, 2002.

ANGHINONI, I.; MEURER, E.J. Suprimento de nutrientes pelo solo e sua absorção pelas plantas. In: BISSANI, C.A.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M.J.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.) **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. Porto Alegre: Genesis, 2004. p.33-43.

AQUINO, F. G.; OLIVEIRA, M. C. **Reserva legal no bioma cerrado: uso e preservação**. Planaltina-DF. Embrapa Cerrados – (Documentos/Embrapa Cerrados), 25p. 2006.

ARMAS, C. M.; SANTANA, B.; MORA, J. L.; NOTARIO, J. S.; ARBELO, C. D.; RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ, A. A biological quality index for volcanic Andisols and Aridisols (Canary Islands, Spain): variations related to the ecosystem development. **Science of the Total Environment**, v. 378, p. 238–244, 2007.

BALOTA, E.L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D.S. & HUNGRIA, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p.641-649, 1998.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.677-683, 2004.

BAYER, C.; MIELNICSUK, J. Fundamentos da matéria orgânica do solo. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2ª. ed, Porto Alegre, Metrópole, 2008, p. 7-18.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 9-26.

BURGER, J. A. & KELTING, D. L. Using soil quality indicators to assess forest stand management. **Forest Ecology Management**, v. 122, p. 155-166, 1999.

CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOTT, E.T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of American Journal**, v. 56, p. 777-783, 1992.

CANELLAS, L. P.; MENDONÇA, E. S.; DOBBS, L. B.; BALDOTTO, M. A.; VELLOSO, A. C. X.; SANTOS, G. A.; SOBRINHO, N. M. B. A. Reações da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2ª Ed., Porto Alegre: metrópole, 2008. p. 45-64.

CANTARUTTI, R.B.; BARROS, N.F. de; PRIETO, H.E.; NOVAIS, R.F. Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F. de; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.769-850.

CARFANTAN, J. Y.; BRUM, A. L. Agronegócio brasileiro e as novas regras de acesso ao mercado da união européia. **Desenvolvimento em Questão**, Ijuí, n.8, p.119-157, 2006.

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**, v. 33, p. 147-157, 2009.

CARNEIRO, M.A.C.; SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S. & SOARES, A.L.L. Carbono orgânico, nitrogênio total, biomassa microbiana e atividade microbiana do solo em duas cronossucessões de reabilitação após mineração de bauxita. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 621-632, 2008.

CARNEIRO, R.G.; MENDES, I.C.; LOVATO, P.E.; CARVALHO, A.M.;VIVALDI, L.J. Indicadores biológicos associados ao ciclo do fósforo em solos de Cerrado sob plantio direto e plantio convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.39, p. 661-669, 2004.

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

CATE, R.B.; NELSON, L.A. **A rapid method for correlation of soil test analysis with plant response data**. Raleigh : International Soil Testing, 1965. 24p. (Technical Bulletin, 1).

CATE, R.B.; NELSON, L.A. A simple statistical procedure for partitioning soil correlation data into classes. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.35, p.658-660, 1971.

CHAER, G.M. **Modelo para determinação de índice de qualidade do solo baseado em indicadores físicos, químicos e microbiológicos**. 2001. 89p. Tese (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

CHAER, G.M.; MYROLD, D.D.; BOTTOMLEY, P.J. A soil quality index based on the equilibrium between soil organic matter and biochemical properties of undisturbed coniferous forest soils of the Pacific Northwest. **Soil Biology and Biochemistry**, v.41, p.822-830, 2009.

COELHO, D. G.; SANTOS, T. M. C.; ALBUQUERQUE, L. S.; CAMPOS, V. B.; PRAZERES, S. S. Quantificação de fungos celulolíticos em solos de três ecossistemas. **Revista Verde**, v.1, n.3, p.45-49, 2008.

CONAB, COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos -3º Levantamento da Safra de Grãos**, 2011.

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**, v.26, p. 925-930, 2002.

CUNHA, J. F.; CASARIN, V.; PROCHNOW, L. I. **Balço de nutrientes na agricultura brasileira no período de 1988 a 2010**. Piracicaba, IPNI, 2011. 28 p. (Informações Agronômicas, 135).

D'ANDRÉA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURTI, N.; SIQUEIRA, J.O. & CARNEIRO, M.A.C. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do cerrado no sul do Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p. 913-923, 2002.

DICK, R.P. Soil enzymes activities as indicators of soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A., ed. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p.107-124. (Special Publication number, 35).

DORAN, J.W. Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. **Soil Science Society of America Journal**, v.44, p.765-771. 1980.

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A., ed. **Defining soil quality for a**

sustainable environment. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 3-21. (Special Publication number, 35).

DOYLE, J.; PAVEL, R.; BARNES, G.; STEINBERGER, Y. Cellulase dynamics in a desert soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v.38, p. 371–376, 2006.

ELLIOT, E.T.; BURKE, I.C.; MONZ, C.A.; FREY, S.D.; PAUSTIAN, K.H.; COLLINS, H.P.; PAUL, E.A.; COLE, C.V.; BLEVINS, R.L.; FRYE, W.W.; LYON, D.J.; HALVORSON, A.D.; HUGGINS, D.R.; TURCO, R.F. & HICKMAN, M.V. Terrestrial carbon pools in grasslands and agricultural soils: Preliminary data from the Corn Belt and Great Plains regions. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. **Defining soil quality for a sustainable environment.** Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 179-191. (Special Publication number, 35).

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Apresentação. (2009). Disponível em: <<http://www.cpac.embrapa.br/unidade/apresentacao/>>. Acesso em: 10/11/11.

FEDOROFF, N. The production potential of soils. Part 1. Sensitivity of principal soil types to the intensive agriculture of north-western Europe. In: Barth, E., L'Hermite, P. (Eds.), **Scientific Basis for Soil Protection in the European Community.** Elsevier, London, p. 65–86, 1987.

GAMA-RODRIGUES, E. F. & DE POLLI, H. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Eds.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais.** Porto Alegre: Gênese, p. 227-243, 1999.

GIL-SOTRES, F.; TRASAR-CEPEDA, C. LEIRÓS, M. C.; SEOANE, S. Different approaches to evaluating soil quality using biochemical properties. **Soil Biology and Biochemistry.** v. 37, p. 877–887, 2005.

GLOVER, J. D.; REGANOLD, J. P. & ANDREWS, P. K. Systematic method for rating soil quality of conventional, organic, and integrated apple orchards in Washington State. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 80. p .29-45, 2000.

GOEDERT, W. J.; SOUSA, D. M. G.; SCOLARI, D. O. G. 1991. **Crêterios para recomenda o de calagem e aduba o**. In: OLIVEIRA, A. J. ; GARRIDO, W. E.; ARAUJO, J. D.; LOURENÇO, S. (Coord.). Métodos de pesquisa em fertilidade do solo. Brasília: EMBRAPA-SEA. p. 363-392.

GUERRA, J.G.M.; SANTOS, G.A. Métodos Químicos e Físicos. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. (Eds) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2^a Ed. Porto Alegre: Metrópole. p 185-198, 2008.

HASSINK, J. & WHITMORE, A.P. A model of the physical protection of organic matter in soils. **Soil Science Society of America Journal**, 61:131-139, 1997

HERNANI, L.C.; KURIHARA, C.H.; SILVA W.M. Sistema de manejo de solos e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.145-54, 1999.

HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; BRANDÃO-JUNIOR, O.; KASCHUK, G.; SOUZA, R. A. Soil microbial activity and crop sustainability in a long-term experiment with three soil-tillage and two croprotation systems. **Applied Soil Ecology**, v. 42, p. 228-296, 2009.

HUNGRIA, M.; VARGAS, M. A. T.; ARAUJO, R. S. Fixa o biológica do nitrogênio em feijoeiro. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. (Ed.). **Biologia dos solos dos Cerrados**. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1997. p. 189-295.

HUSSAIN, I; OLSON, K.R.; WANDER, M.M.; KARLEN, D.L. Adaptation of soil quality indices and application to three tillage systems in southern Illinois. **Soil and tillage Research**, v.50, p. 237-249, 1999.

IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. **Produ o da Pecuária Municipal**. – Rio de Janeiro, v. 38, p. 1-65, 2010.

JENKINSON, D.; BROOKES, P. C.; POWLSON, D. S. Measuring soil microbial biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 40., n. 1, p. 61-73, 2004.

JERKE, C. **Distribuição do carbono orgânico em solo sob plantio direto, em função de fontes e modos de aplicação de fertilizantes fosfatados**. Dissertação (Mestrado). 2011. 83p. Universidade de Brasília, Brasília.

KARLEN, D.L.; STOTT, D.E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.R.; STEWART, B.A. (Ed). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 53-72. (Special Publication, 35).

KASCHUK, G., ALBERTON, O. HUNGRIA, M. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: Lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 42, p. 1-13, 2009.

KELTING, D. L., BURGER, J. A., PATTERSON, S. C., AUST, W. M., MIWA, M., TRETTIN, C. C. Soil quality assessment in domesticated forests - a south pine example. **Forest Ecology and Management**, v.122, p.167-185, 1999.

KERTESZ, M. A. & MIRLEAU, P. The role of soil microbes in plant sulphur nutrition. **Journal of Experimental Botany**, v. 55, p. 1939-1945, 2004.

KINIRY, L. N.; SCRIVNER, C. L., KEENE, M. E. A. Soil productivity index based upon predicted water depletion and root growth. **Res. Bull.** University of Missouri – Columbia College of Agriculture, Columbia, n. 1051, p. 1-26, 1983.

LEIROS, M.C.; TRASAR-CEPEDA, C.; GARCIA-FERNANDEZ, F. & GIL-SOTRES, F. Defining the validity of a biochemical index of soil quality. **Biology and Fertility of Soils**, 30:140-146, 1999.

LIMA, J. E. F. W.; SILVA, E. M. Gestão de recursos e manejo da irrigação no Cerrado. In: FALEIRO, F. G.; SOUSA, E. D. **Pesquisa, desenvolvimento e inovação para o Cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2007. p. 33-44.

LOSS, A.; MORAES, A. G. L.; PEREIRA, M. G.; SILVA, E. M. R.; ANJOS, L. H. C. Carbono, matéria orgânica leve e frações oxidáveis do carbono orgânico sob diferentes sistemas de produção orgânica. **Comunicata Scientiae**, v. 1, p. 57-64, 2010.

MAKOI, J. H. J. R.; NDAKIDEMI. Selected soil enzymes: Examples of their potential roles in the ecosystem. **African Journal of Biotechnology** Vol. 7 (3), p. 181–191, 2008.

MAPA, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Projeções do Agronegócio Brasil 2010/2011 a 2020/2021**. Brasília-DF, 2011.

MARCHIORI JÚNIOR, M. & MELO, W.J. Carbono da biomassa microbiana, e atividade enzimática em um solo sob mata natural, pastagem e cultura do algodoeiro **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 257-263, 1999.

MATIAS, M. C. B. S; SALVIANO, A. A. C; LEITE, F. D; ARAÚJO, S. F. Biomassa microbiana e estoques de C e N do solo em diferentes sistemas de manejo, no Cerrado do Estado do Piauí. **Acta Scientiarum. Agronomy** Maringá, v. 31, n. 3, p. 517-521, 2009.

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**, v.27, p.425-433, 2003.

MENDES, I. C. ; HUNGRIA, Mariangela ; REIS JUNIOR, Fábio Bueno dos ; Fernandes, M.F. ; CHAER, G. M. ; MERCANTE, Fábio Martins ; Zilli, J.E. . Bioindicadores para a avaliação da qualidade dos solos tropicais: utopia ou realidade?. **In: XXXII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2009, Fortaleza. XXXII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo: O solo e produção de bioenergia: perspectivas e desafios**, 2009.

MENDES, I. C.; REIS JUNIOR, F. B.; . **Uso de parâmetros microbiológicos como indicadores para avaliar a qualidade do solo e a sustentabilidade dos agroecossistemas**. Planaltina –DF. Embrapa Cerrados - (Documentos / Embrapa cerrados) p.34, 2004.

MENDES, I. C.; SOUZA, L. V.; RESCK, D. V.S.; GOMES, A. C. Propriedades biológicas em agregados de um Latossolo Vermelho-Escuro sob plantio convencional e direto no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 435-443, 2003.

MENDES, I. C. ; SILVA, L. G. ; REIS JUNIOR, F. B. ; TÓTOLA, M.R. . Cálculo de um índice de qualidade de solo para diferentes agroecossistemas do Cerrado. **In: IX Simposio Nacional sobre o Cerrado e II Simposio Internacional sobre Savanas Tropicais**, 2008, Brasília. Anais. Planaltina : Embrapa Cerrados, 2008.

MENDES, I.C; VIVALDI, L. Dinâmica da biomassa e atividade microbiana em uma área sob mata de galeria na região do DF. In: RIBEIRO, J. F.; FONSECA, C. E. L. da; SOUSA-SILVA, J. C. (Ed.). **Cerrado: caracterização e recuperação de Matas de Galeria**. Planaltina: Embrapa-CPAC, 2001. p 664-687.

MIRANDA, L. N.; MIELNICZUK, J.; LOBATO, E. Calagem e adubação corretiva. In: MARCHETTI, D.; MACHADO, A. D. (Eds.) **Cerrado: uso e manejo**. Brasília, DF: Editerra, 1980. p. 523-591.

NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F. Aspectos físicoquímicos envolvidos na fixação do fósforo no solo. **In: ENCONTRO NACIONAL DE ROCHA FOSFÁTICA**, 5., 1991. São Paulo. *Anais...* São Paulo: 1991. p. 133-177.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J.; NUNES, F.N. Fósforo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.471-537.

PEREZ, K.S.S; RAMOS, M.L.G.; MCMANUS, C.; Carbono da biomassa microbiana em solo cultivado com soja sob diferentes sistemas de manejo nos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.567-573, 2004.

PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M.; ROQUE, C.G. Resposta da cultura do milho a modos de aplicação e doses de fósforo, em adubação de manutenção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p. 83-90, 2001.

QUEIROZ, F. A. de. Meio ambiente e comércio na agenda internacional: a questão ambiental nas negociações da OMC e dos blocos econômicos regionais. **Ambiente & Sociedade**, Campinas, v.8, n.2, p. 1-22, 2005.

REIS JUNIOR, F. B.; MENDES, I. C. **Biomassa microbiana do solo**. Planaltina –DF. Embrapa Cerrados - (Documentos/Embrapa Cerrados), p. 40, 2007.

RESCK, D. V. S.; FERREIRA, E. A.B.; FIGUEIREDO, C. C.; ZINN, Y. L. Dinâmica da matéria orgânica no Cerrado. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. Ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 359-417.

RESCK, D.V.S. O plantio direto como alternativa de sistema de manejo e conservação do solo e da água na região dos cerrados. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27., Brasília, 1999**. Resumo expandido. Brasília, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. CD-ROM.

RODRIGUES, G. R. **Prospecção de genes de celulasas presentes em biblioteca metagenômica**. 2008. 152p. Tese (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal.

ROMANIUK, R.; GIUFFRÉ, L.; ROMERO, R. A Soil Quality Index to Evaluate the Vermicompost Amendments Effects on Soil Properties. **Journal of Environmental Protection**, 2:502-510, 2011.

ROSCOE, R.; MACHADO, P. L. O. A. **Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica**. Dourados, MS, Embrapa Agropecuária Oeste, 2002, 88p.

ROSCOE, R.; MADAR, B. E.; MACHADO, P. L. O. A. Fracionamento físico do solo na obtenção de frações mensuráveis para uso em simuladores da dinâmica da matéria orgânica.

In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. S. (Eds) **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. p.107-132.

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

SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L. S.; FERREIRA, L. G.; BEZERRA, H. S. Mapeamento da Cobertura vegetal natural e antrópica do bioma Cerrado por meio de imagens Landsat ETM. In: **XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, 2009, p. 1199-1206.

SANTANA, D. P.; BAHIA-FILHO, A. F. C. Indicadores de qualidade do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO, 27., 1999, Brasília. **Resumos...** Brasília: Embrapa Cerrados; UnB, 1999. CD-ROM

SCHLINDWEIN, J.A.; GIANELLO, C. Calibração de métodos de determinação de fósforo em solos cultivados sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.2037-2049, 2008.

SCHOENHOLTZ, S. H.; VAN MIEGROET, H.; BURGER, J. A. A review of chemical and physical properties as indicators of forest quality: challenges and opportunities. **For. Ecol. Manage.**, v. 138, p. 335-356, 2000.

SILVA, R. I. da; MENDONÇA, E. S. da. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F. et al. (Eds). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 275 – 374.

SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S. Matéria orgânica do solo. In: VARGAS, M.A.T. ; HUNGRIA, M. **Biologia dos solos dos Cerrados**. Planaltina, Embrapa, 1997. p.467-524.

SILVA, L. G. **Uso e monitoramento de indicadores microbiológicos para avaliação de qualidade dos solos de cerrado sob diferentes agroecossistemas**. Tese (Mestrado). 2008. 137p. Universidade de Brasília, Brasília.

SILVA, L.G.; MENDES, I. C.; REIS JUNIOR, F.B.; FERNANDES, M.F.; MELO, J.T; KATO, E. Atributos físicos, químicos e biológicos de um Latossolo de cerrado sob plantio de espécies florestais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.613-620, 2009.

SILVA, J.E.; LEMAINSKI, J.; RESCK, D.V.S. Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região de Cerrados do oeste baiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.18, p. 541-547, 1994.

SINGH, J. S.; RAGHUBANSHI, A. S.; SINGH, R, S.; SRIVASTAVA, S. C. Microbial biomass acts as source of plant nutrients in dry tropical forest and savanna. **Nature**, v.338, p. 499-500, 1989.

SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; GRISI, B. M.; HUNGRIA, M.; ARAUJO, R. S. **Microrganismos e processos biológicos do solo: perspectiva ambiental**. Brasília: EMBRAPA – SPI, 1994. 142p. (EMBRAPA – CNAPF, Documentos, 45).

SOUSA, D. M. G. e LOBATO, E. ed. **Cerrado: Correção do solo e adubação**. 2^a ed. Planaltina, Embrapa Cerrados, 2004. 416p.

SOUSA, D. M. G.; REIN, T. A.; GOEDERT, W. J.; LOBATO, E. & NUNES, R. S. Fósforo. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V. & STIPP, S. R., EDS. **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: Nutrientes**. Piracicaba, IPNI, 2010. v.2. p. 67-132.

SOUSA, D. M. G.; REIN, T. A.; LOBATO, E. Solubilidade e eficiência agronômica de fosfatos naturais reativos avaliados com a cultura da soja em um Latossolo de Cerrado. In: SIMPÓSIO NACIONAL DO CERRADO, 9.; SIMPÓSIO INTERNACIONAL SAVANAS TROPICAIS, 2., 2008, Brasília. **Desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais**: anais. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008.

SOUSA, D.M.G. & LOBATO, E. **Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado**. Piracicaba, Potafos, 2003. 16p. (Informações Agronômicas, 102).

SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B.; SILVA, C. A.; BUZZETI, S. Frações do carbono orgânico, biomassa e atividade microbiana em um Latossolo Vermelho

sob cerrado submetido a diferentes sistemas de manejos e usos do solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 28, n. 3, p. 323-329, 2006.

SOUZA, L. M. **Atributos químicos, físicos e biológicos, estrutura das comunidades bacterianas e qualidade de solos de cerrado sob plantio direto e preparo convencional.** Tese (Mestrado). 2011. 183p. Universidade de Brasília, Brasília.

STORIE, R. E. An index for rating the agricultural value of soils. University of California, 1933. **Coop. Ext. Bull.** 556.

TABATABAI, M.A.. Soil enzymes. In: Weaver, R.W.; Angle, S.; Bottomley, P.S.; Bezdicek, D.; Smith, S.; Tabatabai, A.; Wollum, A. (ed.) **Methods of Soil Analysis**. Part 2: Microbiological and Biochemical Properties. Inc. Madison: Soil Science Society of America. 1994. p. 778-833.

TISDALL, J.M. & OADES, L.M. Organic matter and water-stable aggregates in soil. **Journal of Soil Science**. v. 33, p.141-163, 1982.

TÓTOLA, M.R.; CHAER, G.M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. In: ALVAREZ, V.H; SCHAEFER, C.E.G.R; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V.; COSTA, L.M. (eds) **Tópicos em Ciência do Solo, Vol. 2**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.195-276, 2002.

TRASAR-CEPEDA, C.; LEIRÓS, M.C.; GIL-SOTRES, F.; SEOANE, S. Towards a biochemical quality index for soils: An expression relating several biological and biochemical properties. **Biology and Fertility of Soils**, v. 26, p. 100-106. 1998.

TRASAR-CEPEDA, C.; LEIRÓS, M.C.; SEOANE, S.; GIL-SOTRES, F. Limitations of soil enzymes as indicators of soil pollution. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 32, p. 1867-1875, 2000.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 33, p. 743-755, 2009.

VEZZANI, F.M. **Qualidade do sistema solo na produção agrícola.** Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001. 184p. (Tese de Doutorado).

VOLKSWEISS, S.; RAIJ, B. van. Retenção e disponibilidade de fósforo em solos. In: FERRI, M. G., (Coord.) **SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO: BASES PARA UTILIZAÇÃO AGROPECUÁRIA**, 4., 1977, Belo Horizonte. *Anais...* São Paulo: Universidade de São Paulo, 1977. p. 317-332.

WAGNER, E. Desenvolvimento da região dos Cerrados. In: GOEDERT, W. J. (Ed.). **Solos do Cerrado: tecnologias e estratégias de manejo.** Planaltina-DF: Embrapa-CPAC; São Paulo: Nobel, p. 19-31, 1986.

WYMORE, A.W. Model-Based systems engineering: An Introduction to the mathematical theory of discrete systems and to the tricategory theory of system design. CRC, **Boca Raton**, FL, 1993.

ZORNOZA, R.; MATAIZ-SOLERA, J. GUERRERO, C. ARCENEGUI, V.; GARCÍA-ORENES, F.; MATAIX-BENEYTO, J.; MORUGÁN, A. Evaluation of soil quality using multiple lineal regression based on physical, chemical and biochemical properties. **Science of the Total Environment**, v. 378, p. 233–237, 2007.

CAPÍTULO ÚNICO

INTERPRETAÇÃO DE INDICADORES MICROBIOLÓGICOS EM FUNÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO E DOS RENDIMENTOS DE SOJA E MILHO

1. INTRODUÇÃO

Vários estudos mostram que os atributos microbiológicos ou bioindicadores são mais sensíveis que alguns indicadores químicos e físicos para detectar com mais antecedência, alterações que ocorrem no solo em função do seu uso e manejo (Doran, 1980; Powlson et al., 1987; Dick, 1994; Matsuoka et al. 2003). Isto ocorre porque os microrganismos são a parte viva e mais ativa da matéria orgânica do solo e atuam em processos-chave que vão desde a decomposição de resíduos de plantas e animais, ciclagem biogeoquímica dos elementos, formação da matéria orgânica e da estrutura do solo, até a biorremediação de pesticidas e metais pesados. A participação dos microrganismos em todos esses processos justifica a importância da inclusão dos indicadores biológicos nos índices de qualidade do solo e de estudos visando selecionar quais indicadores biológicos seriam os mais apropriados para este fim (Mendes et al., 2011).

Como a maior parte dos trabalhos com bioindicadores envolve a comparação de diferentes sistemas de manejo de solo e/ou culturas, inclusive, existe uma grande dificuldade na interpretação dos valores individuais dos bioindicadores em áreas agrícolas. Conforme destacado por Tótola & Chaer (2002) essa dificuldade constitui um dos grandes obstáculos a serem transpostos nas avaliações de qualidade do solo, uma vez que a inclusão dos bioindicadores nessas avaliações pressupõe o estabelecimento de valores que possam separar solos com diferentes condições de sustentabilidade. Diferentemente do que ocorre com os indicadores químicos de fertilidade, cujos níveis (baixo, médio, adequado e alto) já estão relativamente bem definidos para cada elemento e tipo de solo (sempre levando em consideração características como: textura, teor de matéria orgânica, etc.) a base de informações disponível sobre os dados biológicos ainda é muito pequena.

Nos estudos de fertilidade do solo os níveis de suficiência dos nutrientes no solo são determinados utilizando métodos de calibração, em que os teores dos nutrientes fornecidos pelo solo ou pelos fertilizantes e corretivos são relacionados com algum indicador da planta, como a produção. A partir dessas relações determina-se o Nível Crítico (NC) para cada nutriente que é definido como sendo a concentração do nutriente no tecido vegetal ou no solo, acima do qual pequenos ou nenhum aumento na produção é esperado (Escano et al., 1981) ou ainda a concentração que separa populações de baixa e alta probabilidade de resposta à adição do nutriente. Nos ensaios de calibração visando o estabelecimento dos níveis críticos, são conduzidos experimentos do tipo curva de resposta onde os diferentes teores de nutrientes no solo são ajustados em função das produtividades das culturas através de modelos

matemáticos, como o de Mitscherlich, quadrático, exponencial, etc. Em muitos casos, o nível crítico corresponde à concentração do nutriente, referente a 80% ou 90% da produtividade de máxima eficiência econômica (Maia et al., 2001; Cantarutti et al., 2007).

O objetivo desse estudo foi relacionar os atributos microbiológicos (CBM, espiração basal, β -glicosidase, celulase, arilsulfatase e fosfatase ácida com o RRA e a MOS em Latossolo Vermelho de Cerrado de textura argilosa e muito argilosa cultivado com soja e milho, sob plantio direto e preparo convencional do solo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização das áreas experimentais

O estudo foi realizado na Embrapa Cerrados (Planaltina-DF). O clima da região de acordo com a classificação de Köppen é Cwa, com precipitação média anual de 1570 mm e temperatura média anual de 21,3 °C. Foram selecionados três experimentos de campo sob Latossolo Vermelho, onde a vegetação original das áreas é o Cerrado *sensu stricto*. Em cada um desses experimentos foram selecionados alguns tratamentos baseando-se no rendimento acumulado de grãos de soja e milho, totalizando 24 tratamentos fertilizados com superfosfato triplo granulado como fonte de fósforo (P), aplicados no sulco de plantio anualmente, ou a lanço, no primeiro cultivo, além de tratamentos sem adubos fosfatados (Tabela 1).

O solo do experimento I possui textura muito argilosa. Esse experimento foi instalado em 1994 com o objetivo principal de avaliação agrônômica de fontes (superfosfato triplo granulado, fosfato natural de GAFSA, fosfato natural ARAD parcialmente acidulado), modos de aplicação (lanço ou em sulco de plantio) e diferentes doses de fósforo no solo. O delineamento experimental utilizado é de blocos casualizados com três repetições, em sistema de plantio direto e de preparo convencional. As parcelas experimentais possuem 8 m x 4 m, com espaçamento entre linhas de 50 cm, 80 cm e 20 cm, para soja (*Glycine max*), milho (*Zea mays*) e milheto (*Pennisetum glaucum*), respectivamente. A área foi desmatada no ano de 1976, permanecendo sem uso agrícola até o ano de 1985, quando foi novamente desmatada e cultivada com espécies de adubos verdes por três anos (mucuna-preta, guandu e crotalária). A área permaneceu novamente sem cultivo até o ano de 1994, quando foi estabelecido o experimento. A análise química e granulométrica antes da implantação do experimento é apresentada na tabela 2. A correção dos níveis de acidez e fertilidade foi feita de acordo com as recomendações de Sousa & Lobato (2004), visando o alto rendimento de grãos. Cultivou-se soja do ano de 1994 até a safra de 2002/2003 sem a utilização de plantas de cobertura. No ano de 2003/2004 cultivou-se milheto como planta de cobertura, repetindo o cultivo nos anos seguintes, cultivando-se o milho (2004/2005) e a partir desse cultivo a sucessão milho/soja (Tabela 3).

Tabela 1: Descrição dos 24 tratamentos selecionados do experimento I, II e III e valores acumulados dos diferentes rendimentos acumulados de grãos de soja e milho (RAG).

Trat ¹	Fonte ²	Dose		Modo de Aplicação ³	Sistema de Cultivo ⁴	RAG kg ha ⁻¹
		kg ha ⁻¹ ano ⁻¹ 1º ano	2º ano em diante			
Experimento I						
1	-	0	0	-	SPC/MIL	3,385
2	SFT	80	0	Lanço	SPC/MIL	7,371
3	SFT	160	0	Lanço	SPC/MIL	13,627
4	SFT	240	0	Lanço	SPC/MIL	17,997
5	SFT	480	0	Lanço	SPC/MIL	30,325
6	SFT	80	80	Lan/Sul.	SPC/MIL	88,609
7	SFT	240+80	80	Lan/Sul.	SPC/MIL	92,662
8	SFT	80	80	Sulco	SPD/MIL	96,553
Experimento II						
9	-	0	0	-	SPD/MUC	51,484
10	SFT	50	50	Sulco	SPD/MUC	86,201
11	SFT	100	100	Sulco	SPD/MUC	91,486
12	SFT	0	0	-	SPD/MIL	51,173
13	SFT	50	50	Sulco	SPD/MIL	87,334
14	SFT	100	100	Sulco	SPD/MIL	91,493
15	SFT	0	0	-	SPC/MIL	44,153
16	SFT	50	50	Sulco	SPC/MIL	84,156
17	SFT	100	100	Sulco	SPC/MIL	92,858
Experimento III						
18	-	0	0	-	SPD/MIL	5,443
19	SFT	0	80	Sulco	SPD/MIL	75,508
20	SFT	240	0	Lanço	SPD/MIL	28,936
21	SFT	240	80	Lan/Sul.	SPD/MIL	79,328
22	SFT	0	40	Sulco	SPD/MIL	58,978
23	SFT	0	60	Sulco	SPD/MIL	66,451
24 ^(*)	SFT	0	80	Sulco	SPD/MIL	40,594

¹ Trat = Tratamento; ²Fonte (SFT) = superfosfato triplo granulado; ³ Modo de Aplicação (Lan/Sul.) = Lanço/Sulco, dose de P₂O₅ no primeiro ano aplicada a lanço; ⁴ Sistema de Cultivo (SPC/MIL = sistema de preparo convencional com milho como planta de cobertura; SPD/MIL = sistema de plantio direto com milho como planta de cobertura; SPD/MUC = sistema de plantio direto com mucuna como planta de cobertura); ^{*}Tratamento = adubação anual de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ iniciada nos últimos dois anos.

Tabela 2: Análises Química e Granulométrica do solo das três áreas experimentais na camada de 0 a 20 cm, antes da implantação dos experimentos e das áreas de Cerrado nativo.

Experimentos	pH (H ₂ O)	H+Al cmol _c dm ⁻³	Ca+Mg cmol _c dm ⁻³	P mg dm ⁻³	K mg dm ⁻³	Al ₃ ⁺ cmol _c dm ⁻³	Matéria orgânica (g kg ⁻¹)	Argila ----- (g kg ⁻¹) -----	Areia	Silte
I	5,4	5,27	4,42	1,0	43,5	0,08	28,0	640	270	90
II	5,4	3,66	4,54	10,5	58	0	23,0	571	357	72
III	4,5	8,1	0,4	1,2	40	1,4	28,0	540	410	50
Cerrado I	4,99	7,85	0,89	1,03	37,7	1,04	34,3	-	-	-
Cerrado II	4,96	7,53	0,41	0,96	32,3	1,38	31,0	-	-	-
Cerrado III	5,14	8,98	0,19	0,74	28,0	1,21	36,37	-	-	-

Obs: Os dados de textura das áreas de Cerrado não foram adquiridos.

Tabela 3: Cronograma de cultivos principais e de cobertura do experimento I.

Safra	Cultivo de cobertura	Cultivo principal	Safra	Cultivo de cobertura	Cultivo principal
1994/95	-	Soja	2003/04	Milheto	Milho
1995/96	-	Soja	2004/05	Milheto	Milho
1996/97	-	Soja	2005/06	Milheto	Soja
1997/98	-	Soja	2006/07	Milheto	Milho
1998/99	-	Soja	2007/08	Milheto	Soja
1999/00	-	Soja	2008/09	Milheto	Milho
2000/01	-	Soja	2009/10	Milheto	Soja
2001/02	-	Soja	2010/11	Milheto	Milho
2002/03		Soja			

O solo do experimento II possui textura argilosa. O experimento foi instalado em 1999 com o objetivo de avaliação de fontes (superfosfato triplo e fosfato natural reativo), modos (lanço e no sulco de plantio) e doses de aplicação de P (0, 50 e 100 kg P₂O₅ ha⁻¹) em área de elevada fertilidade (10,0 mg dm⁻³ de P - Mehlich 1, na camada de 0 a 20 cm). O delineamento experimental utilizado é de blocos ao acaso em parcelas divididas, sendo que nas parcelas são distribuídos aleatoriamente três sistemas de manejo: sistema de preparo convencional, constituído de uma aração e uma gradagem, realizadas imediatamente antes do plantio, tendo o milheto (*Pennisetum glaucum*) como planta de cobertura (SPC milheto), sistema plantio direto com milheto (SPD milheto) e sistema plantio direto com mucuna (*Mucuna aterrima*) (SPD mucuna). Nas subparcelas são aplicados os tratamentos de adubação fosfatada. Estas possuem área de 11m x 4,5m com espaçamento entre linhas de 0,45 m para soja, 0,75 m para o milho, 0,20 m para o milheto e 0,60 m para a mucuna. A área foi convertida para o uso agrícola no ano de 1976, sendo utilizada para pastagem e produção de grãos por 20 anos. No ano de 1996 a área foi novamente preparada, e foram realizadas as análises química e granulométrica antes da implantação do experimento (Tabela 2). A correção dos níveis de acidez e fertilidade foi feita de acordo com as recomendações de Sousa & Lobato (2004), visando o alto rendimento de grãos. Cultivou-se soja nos anos de 1996/1997 e 1997/1998, no ano de 1998/1999 cultivou-se milho, e a partir do ano 1999/2000 o experimento foi iniciado, adotando-se a sucessão soja-milho com plantas de cobertura no inverno (Tabela 4)

Tabela 4: Cronograma de cultivos principais e de cobertura do experimento II.

Safra	Cultivo de cobertura	Cultivo principal	Safra	Cultivo de cobertura	Cultivo principal
1996/97	-	Soja	2004/05	Gra/Leg ⁽¹⁾	Milho
1997/98	-	Soja	2005/06	Gra/Leg ⁽¹⁾	Soja
1998/99	-	Milho	2006/07	Gra/Leg ⁽¹⁾	Milho
1999/00	Gra/Leg ⁽¹⁾	Soja	2007/08	Gra/Leg ⁽¹⁾	Soja
2000/01	Gra/Leg	Milho	2008/09	Gra/Leg ⁽¹⁾	Milho
2001/02	Gra/Leg	Soja	2009/10	Gra/Leg ⁽¹⁾	Soja
2002/03	Gra/Leg	Milho	2010/11	Gra/Leg ⁽¹⁾	Milho
2003/04	Gra/Leg	Soja			

⁽¹⁾Gra/Leg = cultivo de cobertura com milheto ou mucuna, respectivamente.

O solo do experimento III possui textura argilosa. Este experimento foi instalado em 1999 e tem como objetivo principal a avaliação agrônômica de três fontes de fósforo (superfosfato triplo granulado – STg, fosfato natural reativo – FNR e mistura na proporção 1:1 de superfosfato triplo microgranulado com fosfato natural reativo – STmg + FNR), aplicadas na dose de 80 kg ha⁻¹ em dois modos de aplicação (lanço na superfície do solo e sulco de semeadura) e em três condições iniciais de P no solo (condição natural, corrigido com FNR e com STg, na dose de 240 kg ha⁻¹ de P₂O₅ total), adotando-se o sistema de plantio direto (SPD) como sistema de preparo. O delineamento experimental é de blocos ao acaso, com três repetições e com estrutura fatorial completa. As parcelas possuem 11m x 4,5m, com espaçamento entre linhas de 0,45 m para soja, 0,75 m para o milho e 0,20 m para o milheto. A área foi convertida para o uso agrícola em 1976, permanecendo sob vegetação espontânea até o ano de 1999. Neste ano foram realizadas as análises química e granulométrica antes da implantação do experimento (Tabela 2), e em seguida a correção dos níveis de acidez e fertilidade de acordo com Sousa & Lobato (2004). Cultivou-se soja nos dois primeiros anos (1999/2000 e 2000/2001), iniciando a sucessão soja-milho no ano de 2001/2002, utilizando-se o milheto como planta de cobertura de inverno (Tabela 5).

Tabela 5: Cronograma de cultivos principais e de cobertura do experimento III.

Safra	Cultivo de cobertura	Cultivo principal	Safra	Cultivo de cobertura	Cultivo principal
1999/00	-	Soja	2005/06	Milheto	Soja
2000/01	-	Soja	2006/07	Milheto	Milho
2001/02	Milheto	Soja	2007/08	Milheto	Soja
2002/03	Milheto	Milho	2008/09	Milheto	Milho
2003/04	Milheto	Soja	2009/10	Milheto	Soja
2004/05	Milheto	Milho	2010/11	Milheto	Milho

2.2. Seleção dos tratamentos e amostragem de solo

Para este estudo as amostras de solo foram coletadas em janeiro de 2011 nos três experimentos anteriormente apresentados, na fase de pendoamento do milho. Nas parcelas dos tratamentos selecionados (na camada de 0 a 10 cm) coletaram-se sub-amostras em 4 diferentes pontos, alternando-se a coleta nas duas linhas centrais de plantio da área útil. Em cada ponto foram retirados 7 porções de solo equidistantes em 12,5 cm, sendo um furo no centro e 3 furos de cada lado até o centro da entrelinha, perpendiculares à linha de plantio, utilizando-se um trado holandês de 5 cm de diâmetro (Figura 1). As quatro sub-amostras foram homogeneizadas formando-se uma única amostra por parcela. No total foram coletadas 72 amostras nos três experimentos (24 tratamentos com 3 repetições). No laboratório, o solo foi separado em duas porções, uma para análises químicas e outra para avaliação dos atributos microbiológicos. A porção de solo destinada para as análises microbiológicas foi peneirada em malha de 4 mm e acondicionada em geladeira (temperatura entre 3 e 7° C) até o momento das análises, iniciadas no máximo em uma semana após a amostragem. A porção de solo destinada às análises químicas foi seca ao ar e peneirada em malha de 2 mm e de 0,5 mm.



Figura 1: Detalhe do ponto amostral com 7 furos na camada de 0 a 10 cm do solo.

2.3. Análises Microbiológicas e Químicas

2.3.1. Carbono da Biomassa Microbiana (CBM)

Para a estimativa do CBM do solo foi utilizado o método de fumigação-extração (CFE), proposto por Vance et al. (1987). Para cada amostra utilizaram-se três repetições fumigadas com clorofórmio (F) e três repetições não-fumigadas (NF). Após a coleta no campo, o teor de umidade das amostras contendo 20g de solo foi elevado a 70% da capacidade de campo, quando necessário, e estas foram pré-incubadas, no escuro e à temperatura ambiente, por um período de sete dias. No sexto dia de pré-incubação, metade das amostras foram fumigadas por 48 horas em um dessecador, contendo uma placa de Petri com 25 ml de clorofórmio livre de álcool. Durante este período, as amostras não-fumigadas foram mantidas à temperatura ambiente. O carbono da biomassa microbiana do solo foi extraído pela adição de 50ml de uma solução de sulfato de potássio ($K_2SO_4 - 0,5 \text{ mol L}^{-1}$) às amostras de solo, que em seguida foram submetidas à agitação horizontal (150rpm) por 40 minutos. Após a filtragem das amostras com o papel filtro Whatman n.º 2, adicionou-se 2ml de dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7 - 0,4 \text{ mol L}^{-1}$) e 15 ml de solução ácida ($H_2SO_4 - 99\%$ e $H_3PO_4 85\%$) numa proporção de 1:2 em erlenmeyers de 250ml. As amostras foram fervidas sob refluxo por 30 minutos, acrescentando-se 20ml de água destilada. O dicromato residual foi determinado pela titulação com uma solução de sulfato ferroso amoniacal [$(NH_4)_2Fe(SO_4).6H_2O 0.033 \text{ mol L}^{-1}$] em ácido sulfúrico concentrado, na presença de um indicador composto por fenantrolina ($0,075 \text{ mol L}^{-1}$) e sulfato ferroso ($0,041 \text{ mol L}^{-1}$). A quantidade de CBM foi determinado pela diferença entre o carbono orgânico extraído das amostras de solo fumigadas e não fumigadas, usando um fator de correção (Kc) igual a 0,35 conforme (Joergensen, 1995). Os resultados da medição do CBM foram expressos em $mg C \text{ kg}^{-1}$ de solo.

2.3.2. Respiração basal

Foi utilizado o método da respirometria (evolução de CO_2) nas amostras não-fumigadas destinadas a análise de CBM, com a umidade das amostras de solo ajustadas para 70% de sua capacidade de campo. As amostras de 20 g em triplicatas foram colocadas em

recipientes hermeticamente fechados, individualmente, onde o C-CO₂ produzido foi captado por uma solução de KOH 0,3 mol L⁻¹. Após um período de incubação de sete dias, o C-CO₂ foi quantificado por titulação com HCl 0.1 mol L⁻¹, acrescentando-se uma solução saturada de BaCl₂ (1 mol L⁻¹) para precipitação de Na₂CO₃. O resultado foi expresso em mg de C-CO₂ kg⁻¹.

2.3.3. Atividade enzimática

Foram determinadas as atividades das enzimas β-glicosidase, fosfatase ácida e arilsulfatase de acordo com Tabatabai (1994), baseando-se na determinação colorimétrica do *p*-nitrofenol liberado por essas enzimas, quando o solo é incubado com uma solução tamponada de substratos específicos para cada uma. Para cada amostra utilizou-se duas repetições analíticas mais um controle. Utilizou-se uma curva padrão preparada com as concentrações conhecidas de *p*-nitrofenol (0, 10, 20, 30, 40 e 50 µg de *p*-nitrofenol ml⁻¹) para determinação da quantidade de *p*-nitrofenol liberada das amostras. Os valores de atividade foram expressos em µg *p*-nitrofenol h⁻¹ g⁻¹ solo.

Também foi determinada a atividade da enzima celulase baseada na determinação colorimétrica de açúcares redutores liberados após a incubação das amostras de solos com carboxy methyl cellulose (CMC) por 24 horas a 50 °C (Schinner & Von Mersi, 1990). Para cada amostra utilizou-se duas repetições analíticas mais um controle. Utilizou-se uma curva padrão preparada com as concentrações de glicose (0, 3, 6, 9, 12, 15, 18 e 21 µg de glicose ml⁻¹) para determinação da quantidade de glicose liberada das amostras. Os valores de atividade de celulase foram expressos em µg glicose g solo⁻¹ 24h⁻¹.

Para a determinação de atividade da celulase, porções de 1g foram pesadas e colocadas em erlenmeyers de 50 ml, logo em seguida, adicionou-se 3 ml de tampão acetato (2 mol L⁻¹) pH 5,5 em todas as amostras e 3,0 ml de CMC (0,007 mol L⁻¹), exceto nos controles. Os erlenmeyers contendo os solos e as soluções de substrato foram vedados com rolhas de borracha e incubados por 24 horas. Após esse período, todos erlenmeyers foram agitados manualmente, colocando-se uma alíquota de aproximadamente 1ml em microtubos de 1,5 ml. Estes foram transferidos para uma centrífuga e agitados durante 4 min a 10000 RPM para obter o sobrenadante. Em seguida, uma alíquota de 100 µl do sobrenadante foi transferida para tubos “Falcon” de 10 ml, acrescentando 0,9 ml de água destilada. Adicionou-se 1ml de Solução A (16 g de carbonato de sódio anidro + 0,9 g d cianeto de potássio L⁻¹ de água destilada) e 1ml de Solução B (0,5 g de hexacianeto férrico de potássio L⁻¹ de água destilada)

em todos os tubos, e estes foram vedados e colocados em “banho-maria” a 100°C por 15 minutos. Após esta etapa, os tubos foram resfriados em água fria por 5 minutos, quando adicionou-se 5ml de Solução C (1,5 g de sulfato férrico de amônio + 1 g de sulfato de sódio dodecyl-SDS + 4,2 ml de H₂SO₄ em L⁻¹). Após 1 hora procedeu-se a leitura das amostras com a utilização de um espectrofotômetro no comprimento de onda de 690 nm.

2.3.4. Matéria orgânica do solo facilmente oxidável (MOS)

A MOS foi determinada pela oxidação por via úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico, seguido da titulação com sulfato ferroso amoniacal (Walkley e Black, 1934). Segundo Nelson & Sommers (1982) as amostras de solo para análise de MOS devem ser moídas e passadas em malha de 0,5 mm. No presente estudo a MOS foi determinada em amostras peneiradas na malha de 0,5 mm e 2,0 mm. Os teores de MOS obtidos nas amostras passadas na peneira de 0,5 mm foram em média 6,5% superiores aos das amostras de 2 mm. Tendo em vista à alta relação dos teores de MOS obtidos entre as duas malhas ($R^2=0.92$), optou-se em utilizar os dados obtidos com a peneira de 2 mm, conforme ocorre em grande parte dos laboratórios comerciais de análises de solo. Utilizou-se 0,5 g das amostras de solo destinadas às análises químicas. Estas foram distribuídas em erlenmeyers, onde adicionou-se 10 ml de uma solução de dicromato de potássio (0,5 mol L⁻¹) e em seguida 20 ml de ácido sulfúrico concentrado. Após 30 minutos adicionou-se 200 ml de água destilada para aumentar a alíquota e facilitar o processo de titulação. Depois de 30 minutos cada amostra foi titulada com sulfato ferroso amoniacal (1 mol L⁻¹), e a matéria orgânica facilmente oxidável foi calculada segundo Jackson (1970).

Nesse cálculo não foi utilizado o fator de correção para carbono total (fator de 1,3), conforme proposto por Walkley, (1947) por isso essa determinação foi denominada matéria orgânica facilmente oxidável (Jackson, 1970).

2.3.5. Fósforo (P)

Na determinação do P utilizou-se o método Mehlich I. Foram transferidos 5 cm³ de TFSA para beakers de 50 ml, e adicionou-se 50ml da solução extratora de ácido duplo (H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹ + HCL 0,05 mol L⁻¹). Os frascos foram agitados em agitador de hélices por 5 minutos e permaneceram em repouso por 16h para decantação do solo. Após isso, uma alíquota de 5 ml foi transferida para outro recipiente, adicionando-se ainda 5 ml de água

destilada e 10 ml de solução de trabalho (1 g de ácido ascórbico + 300 ml de molibdato de amônio) . Os teores de P-Mehlich foram determinados pela leitura em um espectrofotômetro a 820 nm, a partir de uma curva de calibração pré estabelecida (Embrapa, 1997).

2.4. Análises Estatísticas

As relações entre o P-Mehlich e a MOS, entre a MOS e o rendimento relativo acumulado de grãos de soja e milho (RRA), e entre os atributos microbiológicos (CBM, respiração basal, β -glicosidase, celulase, fosfatase ácida, arilsulfatase) com o RRA e destes com a MOS foram determinadas por meio de análises de regressão. As equações e os coeficientes de determinação (R^2), bem como a significância dos modelos e dos parâmetros dos modelos foram obtidos com auxílio do procedimento PROC REG do programa SAS versão 9.1. Foram ajustados modelos lineares ou quadráticos entre RRA e MOS com os atributos microbiológicos, sendo o melhor modelo selecionado de acordo com a menor raiz quadrada média do erro RQME, significância dos parâmetros do modelo e maior coeficiente de determinação (R^2). As correlações entre o RRA e a MOS com os atributos microbiológicos do solo também foram obtidas com auxílio do procedimento PROC CORR do SAS versão 9.1.

Os dados para gerar os modelos entre o RRA e a MOS, RRA e atributos microbiológicos e MOS e atributos microbiológicos foram submetidos à detecção de pontos de influência pela análise de Cook's distance no PROC REG do SAS versão 9.1. Foram removidos da análise valores com elevados valores de Cook's, utilizando-se o critério convencional de corte de $4/n$, onde n é o número de observações (SAS, 2012).

O RRA é o rendimento acumulado de grãos de soja e milho relativizado em função da maior produção acumulada obtida em cada experimento. A opção de uso do RRA foi devido ao fato de que os três experimentos possuem diferentes rotações (sucessões) de culturas e tempos de estabelecimento (17 anos – Experimento I; 12 anos – Experimentos II e III), permitindo reunir em uma única base de dados os resultados obtidos nessas diferentes condições (Danke & Olson, 1990).

2.5. Interpretação dos atributos microbiológicos

Para realizar a interpretação dos valores dos atributos microbiológicos foram utilizadas duas estratégias. A primeira baseou-se nas relações entre os dados de CBM, respiração basal e

de atividade das enzimas β -glicosidase, celulase, fosfatase ácida, arilsulfatase com os dados de RRA. A partir dos modelos de melhores ajustes para cada variável, assumiu-se como nível crítico (NC) o valor do bioindicador capaz de propiciar 80% do rendimento relativo acumulado máximo, considerando este valor como a produção de máxima eficiência econômica. Estratégia semelhante foi estabelecida por Sousa & Lobato (2004) para a interpretação dos teores P-Mehlich para solos da região do Cerrado. Para facilitar a interpretação dos resultados foram definidas três classes (baixa, média, adequada) de acordo com os respectivos valores de RRA: < 40% (baixa), 41-80% (média) e > 80% (adequada). Embora esta divisão em classes seja subjetiva, nos estudos para diagnóstico de fertilidade de solo, elas estão associadas a uma probabilidade de resposta econômica decrescente à fertilização (Cantarutti et al. 2007).

A segunda estratégia para a interpretação dos atributos (CBM, respiração basal, β -glicosidase, celulase, fosfatase ácida e arilsulfatase) baseou-se nos valores de MOS. Com base na relação entre o RRA e a MOS, inicialmente foi gerado um NC para a MOS (equivalente a 80% do RRA) e a seguir definidas classes de interpretação para a MOS em função do RRA (< 40% (baixa) , 41-80% (média), > 80% (adequada). A partir das classes obtidas para os teores de MOS, foram obtidos valores correspondentes para os atributos, com bases nas relações entre estes e a MOS.

A aplicação das tabelas de interpretação geradas com bases nas duas estratégias foi avaliada utilizando dados de atributos microbiológicos obtidos na literatura para latossolos argilosos e muito argilosos com uma base de dados da região do Cerrado e da região Sul do Brasil.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Fósforo no solo (P) e Rendimento Relativo Acumulado de grãos de soja e milho (RRA)

Os solos de Cerrado apresentam, em condições naturais, baixa disponibilidade de P na solução do solo, além de alta capacidade em reter o P na fase sólida, tornando-se necessário elevar o nível de disponibilidade a valores aceitáveis para produção ao longo dos cultivos (Sousa & Lobato, 2004).

Na figura 2 é apresentada a relação entre os teores de P e os dados de RRA, obtidos em cada um dos 24 tratamentos selecionados dos experimentos que avaliam o manejo de fertilizantes fosfatados.

O modelo matemático que melhor expressou essa relação foi o de Mitscherlich com R^2 de 0,94 ($p < 0,0001$). Em função da aplicação de diferentes quantidades de adubos fosfatados, os níveis de P no solo variaram de 0,9 a 36 mg dm^{-3} , enquanto que os níveis de RRA variaram entre 3 e 100%. Resultados semelhantes foram reportados por Sousa & Lobato (2003), que observaram aumentos significativos na produtividade de soja, trigo, milho, braquiária e mandioca em latossolos argilosos de Cerrado com adição de P, e produções muito pequenas ou nulas quando não ocorre aplicação de fertilizantes fosfatados.

Com base na equação da figura 2 é possível estimar que nesses latossolos o NC de P Mehlich-1 (para 80% do RRA) foi de aproximadamente 8 mg dm^{-3} semelhante ao valor reportado por Sousa & Lobato (2004) em latossolos argilosos no sistema de sequeiro na região dos Cerrados, na profundidade 0 a 20 cm.

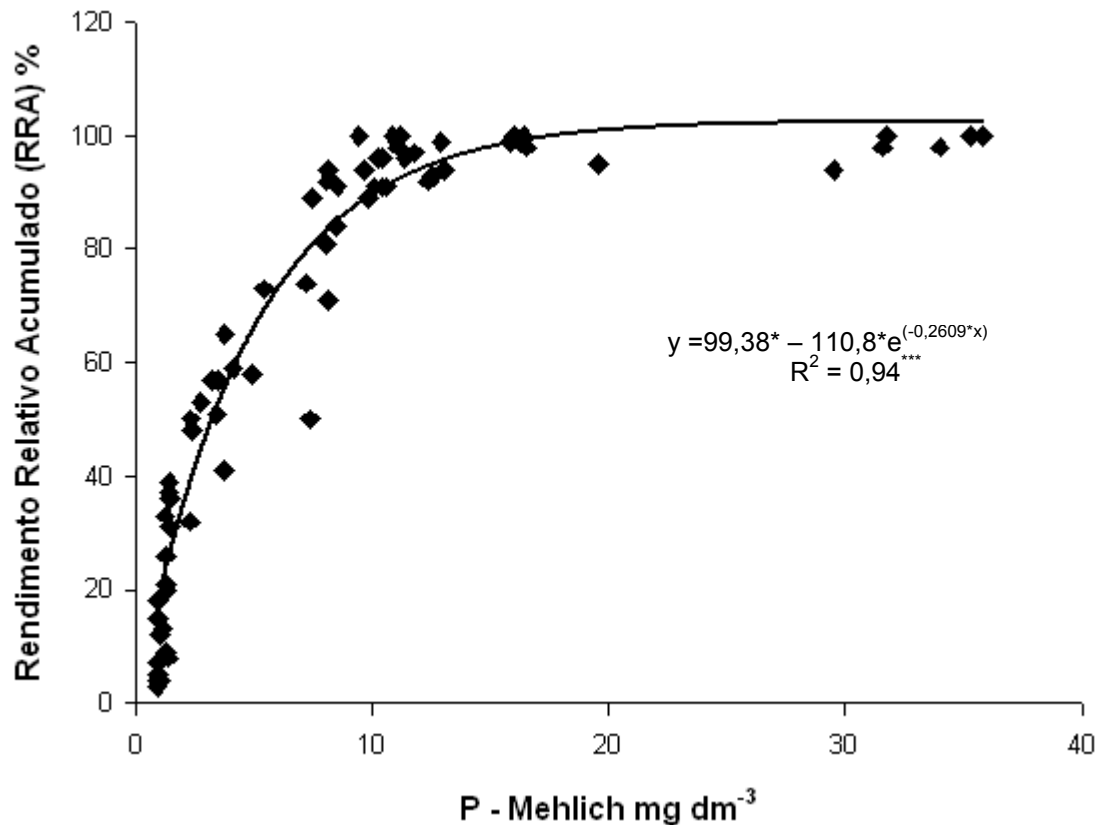


Figura 2: Relação entre rendimento relativo acumulado (RRA) de grãos de soja e milho e P-Mehlich no solo.

(***)Significativo a 1% pelo test F.

3.2. RRA x MOS

O aumento expressivo no RRA em resposta à aplicação do P, também se refletiu nos teores de MOS, apresentando uma relação linear e direta ($R^2=0,90$) conforme pode ser verificado na figura 3. O aumento no teor de MOS foi devido ao aporte dos restos culturais e raízes no solo, que são proporcionais ao rendimento de grãos, além da contribuição do C adicionado pelas plantas de cobertura. Esta relação entre o conteúdo de MOS e os restos culturais pode ser estimada (Balesdent & Balabane, 1992; Bolinder et al., 1997; Bayer et al., 2000c; Lovato et al., 2004; Bernardon, 2005; Costa et al., 2008; Kuss et al., 2008). Com base nessas premissas e estimativa da MOS, a partir da produção total de grãos (Tabela 1) estima-se que foram adicionados no solo de 4,4 a 125 ton ha⁻¹ de restos de cultura (folhas, haste ou colmo, raízes) das culturas principais, gerando os teores de MOS variando de 20,2 a 36,4 g kg⁻¹ (Figura 3).

Sousa et al. (2010) reportaram que a relação entre o teor de matéria orgânica do solo e o teor de matéria seca acumulada de grãos (para o sistema anual) e da parte aérea da *brachiaria* (para o sistema anual-pastagem) no período de 13 anos é diretamente proporcional à produtividade dos sistemas de cultivo.

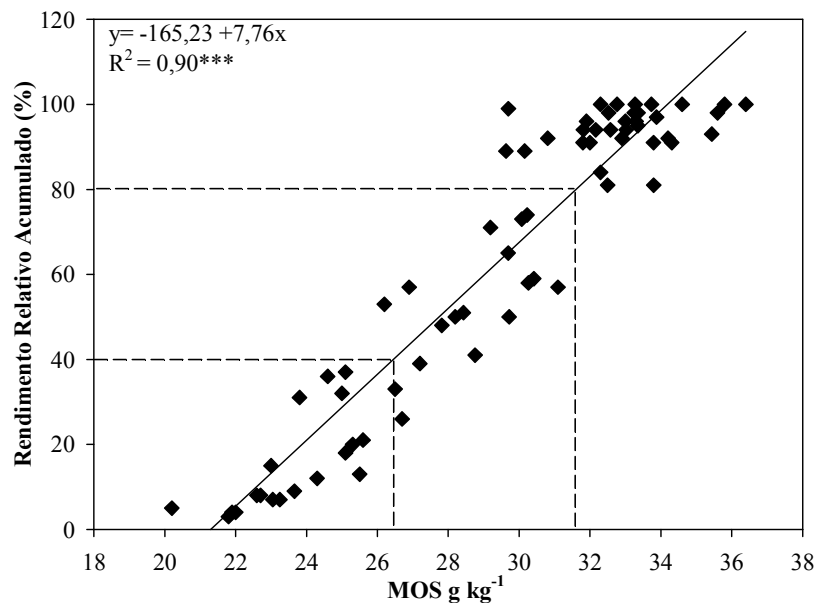


Figura 3: Relação entre Rendimento Relativo Acumulado de grãos de soja e milho (RRA) e Matéria Orgânica do Solo em Latossolo Vermelho argiloso e muito argiloso de Cerrado.

(***)Significativo a 1% pelo test F.

Nunes et al. (2011) avaliaram o efeito de sistemas de manejo baseados em sistemas de preparo, plantas de cobertura e adubação fosfatada nos estoques de C em experimento com adequado teor de P inicial cultivado por 11 anos com sucessão soja-milho em Latossolo Vermelho argiloso de Cerrado. Os autores observaram que a adubação fosfatada por 11 anos promoveu aumentos nos estoques de C orgânico comparando-se aos solos que não receberam a adubação com P, independente do sistema de preparo e das plantas de cobertura.

Os microrganismos constituem a parte viva e mais ativa da MOS. Ao utilizá-la como fonte de nutrientes e energia eles também participam dos processos relacionados à sua formação/decomposição, apresentando assim, uma estreita relação com esse parâmetro (Balota et al., 1998; Conte et al., 2002; Pinto & Nahas, 2002). Essa relação também foi observada com os dados do presente estudo (Tabela 3) por meio de coeficientes de Correlação de Pearson entre os bioindicadores (carbono da biomassa microbiana, respiração basal e atividade das enzimas b-glicosidase, celulase, arisulfatase e fosfatase ácida) e o RRA e entre

os os bioindicadores e a MOS. Verifica-se na tabela 6 que as correlações obtidas foram positivas e significativas, variando entre 0,7381 e 0,8650 ($p < 0.001$).

Essas observações aliadas à oportunidade identificada nos 24 tratamentos selecionados para a realização desse estudo, onde através da aplicação de diferentes doses de P foi possível modular não só a produtividade das culturas (Figura 2), mas também os teores de MOS (Figura 3), permitiram a aplicação dos critérios dos ensaios de calibração de nutrientes, utilizados nos estudos de fertilidade de solo, para auxiliar na interpretação dos valores de carbono da biomassa microbiana, respiração basal e atividade das enzimas β -glicosidase, celulase, arilsulfatase e fosfatase ácida, utilizados como bioindicadores de qualidade do solo.

Optou-se pela utilização do RRA, pois, diferentemente da produtividade atual de cada cultivo, este parâmetro reflete todas as modificações que ocorreram no solo ao longo de todo o período de condução dos experimentos (17 anos para o experimento I e 12 anos para os experimentos II e III).

Tabela 6: Coeficientes de correlação de Pearson entre Rendimento relativo Acumulado de grãos de soja e milho (RRA) e Matéria Orgânica do Solo com as variáveis microbiológicas dos 24 tratamentos selecionados.

Variáveis	RRA	MOS
MOS ⁽¹⁾	0,9197***	-
CBM ⁽²⁾	0,7628***	0,7381***
Respiração Basal ⁽³⁾	0,8650***	0,8283***
β -Glicosidase	0,8434***	0,8542***
Celulase	0,7669***	0,7964***
Fosfatase	0,7398***	0,7882***
Arilsulfatase	0,8234***	0,8646***

¹ MOS = Matéria Orgânica do Solo; ² CBM = Carbono da Biomassa Microbiana; ³ Respiração Basal = coeficientes de correlação obtidos entre 22 tratamentos selecionados.

*** $p < 0,0001$.

3.3. Interpretação dos atributos microbiológicos

A partir dos valores de cada atributo microbiológico obtido nos 24 tratamentos selecionados (Tabela 7), foi feita a primeira tentativa de interpretação desses resultados, utilizando-se a relação entre o RRA com esses atributos. As relações individuais entre cada bioindicador e o RRA são apresentadas nas figuras 4, 5, 6, 7, 8, e 9.

Tabela 7: Valores médios dos atributos microbiológicos, rendimento acumulado relativo de grãos de soja e milho (RRA) e matéria orgânica do solo (MOS) em função dos tratamentos selecionados dos experimentos I, II e III na camada de 0 a 10 cm.

Exp ¹	Trat ²	CBM ³	Resp ⁴	Glico ⁵	Cel ⁶	Fosf ⁷	Aril ⁸	RRA ⁹	MOS ¹⁰
I	1	96	14,45	33	51	446	13	4	21,90
I	2	214	13,91	37	53	477	20	8	23,32
I	3	186	14,73	37	55	508	26	14	24,97
I	4	84	19,42	51	63	555	22	19	24,63
I	5	226	12,48	36	55	512	17	32	25,93
I	6	423	104,19	124	111	1073	138	93	33,00
I	7	373	128,71	123	123	1033	78	97	33,87
I	8	394	102,82	196	116	1222	180	99	35,33
II	9	279	68,96	96	105	1054	63	56	29,63
II	10	337	95,08	123	106	1280	148	93	33,52
II	11	292	94,51	139	109	1153	128	99	33,13
II	12	405	65,36	134	112	1446	130	54	29,85
II	13	486	128,43	186	109	1515	196	93	33,97
II	14	430	91,19	177	113	1527	188	97	32,79
II	15	284	54,08	77	77	890	41	47	26,03
II	16	367	82,40	107	100	999	99	90	30,20
II	17	412	86,04	125	87	785	76	99	28,50
III	18	281	38,79	51	61	710	8	7	21,83
III	19	414	98,88	186	129	1075	138	93	32,28
III	20	269	82,16	89	100	894	39	36	25,37
III	21	538	144,19	191	160	1191	109	98	33,12
III	22	362	94,17	159	122	1395	89	73	29,83
III	23	545	-	167	133	1234	110	82	32,87
III	24	336	-	126	119	1125	53	50	28,65
Média	-	335	74,32	115	99	1004	88	64	29,36
Cerrado	I	620	10,18	68	114	1298	60	-	34,3
Cerrado	II	632	13,62	52	121	1741	63	-	31
Cerrado	III	750	4,25	51	127	1450	70	-	36,37
Média*	-	667	9,35	57	121	1496	64	-	33,89

¹ Exp = Experimento; ² A descrição dos tratamentos selecionados é apresentada na Tabela 1; ³ CBM = carbono da biomassa microbiana expresso em mg C Kg⁻¹ de solo; ⁴ Resp = respiração basal expressa em mg de C-CO₂

Kg⁻¹ de solo (valores dos tratamentos 23 e 24 não foram obtidos); ⁵ Glico = β-glicosidase; ⁶ Cel = celulase expresso em μg de glicose g⁻¹ de solo 24h⁻¹; ⁷ Fosf = fosfatase ácida; ⁸ Aril = arilsulfatase; ^(5,6,7) μg p-nitrofenol g⁻¹ solo h⁻¹; ⁹ RRA = rendimento relativo acumulado de grãos de soja e milho em %; ¹⁰ MOS = matéria orgânica do solo expressa em g Kg⁻¹. Média* = média dos Cerrados.

3.3.1. Carbono da Biomassa Microbiana

A biomassa microbiana do solo é a parte viva e mais ativa da MOS, sendo constituída por fungos, bactérias, actinomicetos (Mendes et al., 2011). Ela controla a decomposição e o acúmulo de matéria orgânica no ambiente, regulando o fluxo desse componente e energia no solo, bem como a ciclagem de nutrientes (Roscoe et al., 2006). Apesar de sua importância, o tamanho dos componentes vivos da MOS é relativamente pequeno, variando entre 1 e 5% do C orgânico total dos solos (Jenkinson & Ladd, 1981; Smith & Paul, 1990).

O modelo que melhor descreveu a relação entre o CBM e o RRA foi o linear, com R² = 0,92 (Figura 4). O valor do CBM equivalente ao NC de 80% da RRA foi de 400 mg de C kg⁻¹ de solo, gerado a partir do modelo matemático obtido pela análise de regressão. Os demais valores para as classes de suficiência (baixo, médio e adequado) são apresentados na tabela 8.

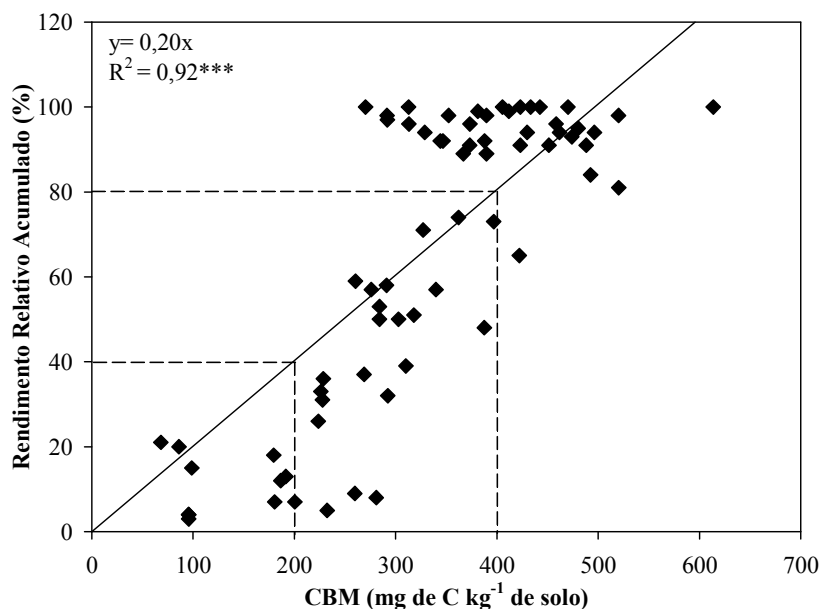


Figura 4: Relação entre o rendimento relativo acumulado de grãos de soja e milho (RRA) e carbono da biomassa microbiana (CBM).

(***) Significativo a 1% pelo test F.

3.3.2. Respiração Basal

A respiração basal consiste na avaliação da quantidade de CO₂ liberada pela respiração dos microrganismos, sendo um dos métodos mais tradicionais e mais utilizados para se medir a atividade metabólica da população microbiana. A respiração basal depende do estado fisiológico das células e é influenciada por diversos fatores, tais como: umidade, temperatura e disponibilidade de nutrientes (Roscoe et al., 2006).

O modelo que melhor descreveu a relação entre respiração basal e o RRA foi o quadrático, com $R^2 = 0,97$ (Figura 5). Os dados dos tratamentos 23 e 24 não foram obtidos para este atributo, utilizando-se para a análise de regressão os dados dos 22 tratamentos (Tabela 4). O valor de respiração basal equivalente ao NC de 80% da RRA foi de 90 mg de C kg⁻¹ de solo, gerado a partir do modelo matemático obtido pela análise de regressão. Os demais valores para as classes de suficiência (baixo, médio e adequado) são apresentados na tabela 8.

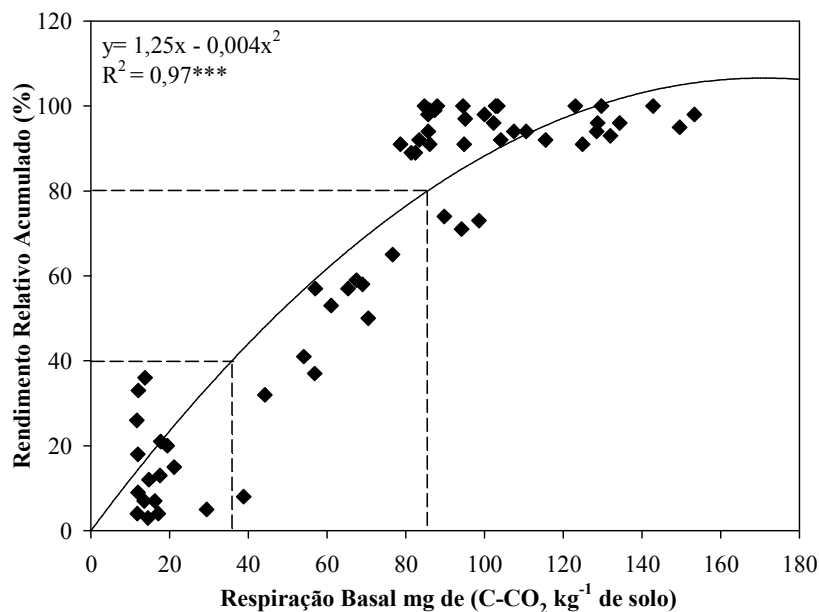


Figura 5: Relação entre o rendimento relativo acumulado de grãos de soja e milho (RRA) e respiração basal.

(***)Significativo a 1% pelo test F.

3.3.3. β -Glicosidase

A enzima β -Glicosidase no solo atua na etapa final de degradação da celulose, hidrolisando os resíduos de celobiose, liberando glicose, importante fonte de energia para os microrganismos (Makoi & Ndakidemi, 2008). Dentre os principais fatores que afetam a sua atividade, destacam-se a quantidade e qualidade dos resíduos vegetais (Mendes e Reis Jr., 2004) e também o pH do solo (Ekenler e Tabatabai, 2003).

Verifica-se na Figura 6, que o modelo que melhor descreveu a relação entre a β -glicosidase e o RRA foi o quadrático, com $R^2 = 0.79$ (Figura 6). O valor de β -glicosidade equivalente ao NC de 80% da RRA foi de $130 \mu\text{g}$ de *p*-nitrofenol g^{-1} solo h^{-1} , gerado a partir do modelo matemático obtido pela análise de regressão. Os demais valores para as classes de suficiência (baixo, médio e adequado) são apresentados na tabela 8.

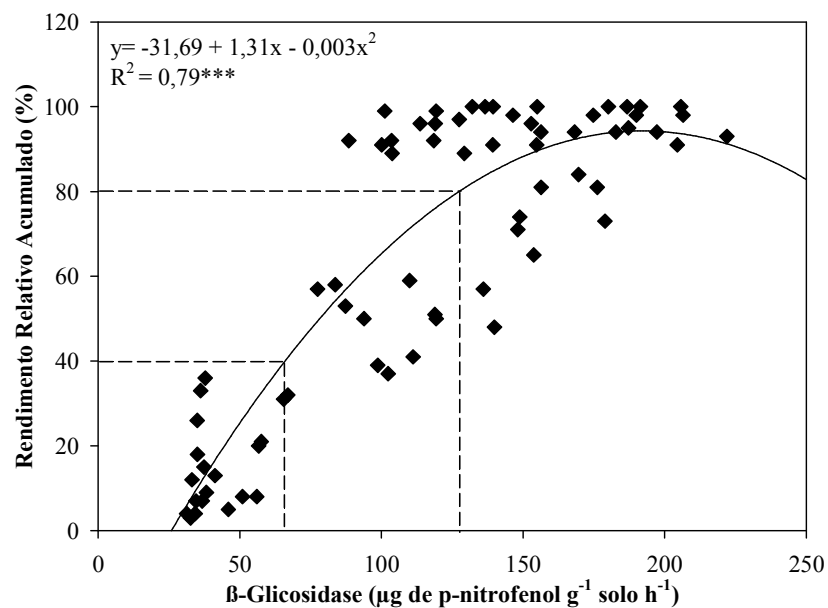


Figura 6: Relação entre o rendimento relativo acumulado de grãos de soja e milho (RRA) e atividade da enzima β -glicosidase.

(***)Significativo a 1% pelo test F.

3.3.4. Celulase

A enzima Celulase é um complexo enzimático que atua na decomposição da celulose, um dos componentes vegetais mais abundantes na natureza, tendo grande importância no ciclo do carbono (Tabatabai, 1994). Dentre os principais fatores que afetam a sua atividade, destaca-se a temperatura e o pH, e a qualidade da matéria orgânica (Doyle et al., 2006). Em solos de Cerrado os trabalhos sobre a atividade dessa enzima são poucos, mas alguns trabalhos mostram que a atividade de celulase está diretamente ligada à adição de material orgânico, principalmente ricos em celulose (Marchiori Junior e Melo 1999; Cenciane et al., 2008).

O modelo que melhor descreveu a relação entre a celulase e o RRA foi o quadrático, com $R^2 = 0,70$ (Figura 7). O valor de atividade de celulase equivalente ao NC de 80% da RRA foi de $105 \mu\text{g}$ de glicose g^{-1} de solo 24h^{-1} , gerado a partir do modelo matemático obtido pela análise de regressão. Os demais valores para as classes de suficiência (baixo, médio e adequado) são apresentados na tabela 8.

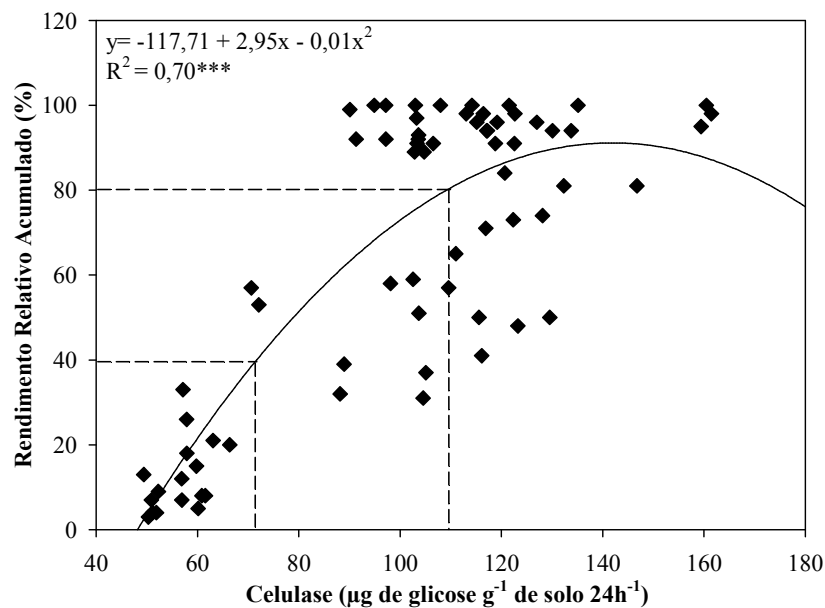


Figura 7: Relação entre o rendimento relativo acumulado de grãos de soja e milho (RRA) atividade da enzima celulase.

(***)Significativo a 1% pelo test F.

3.3.5. Fosfatase ácida

A enzima fosfatase ácida atua na hidrólise de ésteres e anidros de P, tendo grande importância na mineralização do P orgânico do solo, principalmente em regiões de solos intemperizados, como os do Cerrado, em que a disponibilidade de P é restrita (Tabatabai, 1994). Dentre os principais fatores que afetam a sua atividade, destaca-se a quantidade de Ortofosfato, liberado pelos fertilizantes como fontes de P (Tabatabai, 1994).

O modelo que melhor descreveu a relação entre a fosfatase ácida e o RRA foi o quadrático, com $R^2 = 0,70$ (Figura 8). O valor de atividade de fosfatase ácida equivalente ao NC de 80% da RRA foi de 1110 μg de *p*-nitrofenol g^{-1} solo h^{-1} , gerado a partir do modelo matemático obtido pela análise de regressão. Os demais valores para as classes de suficiência (baixo, médio e adequado) são apresentados na tabela 8.

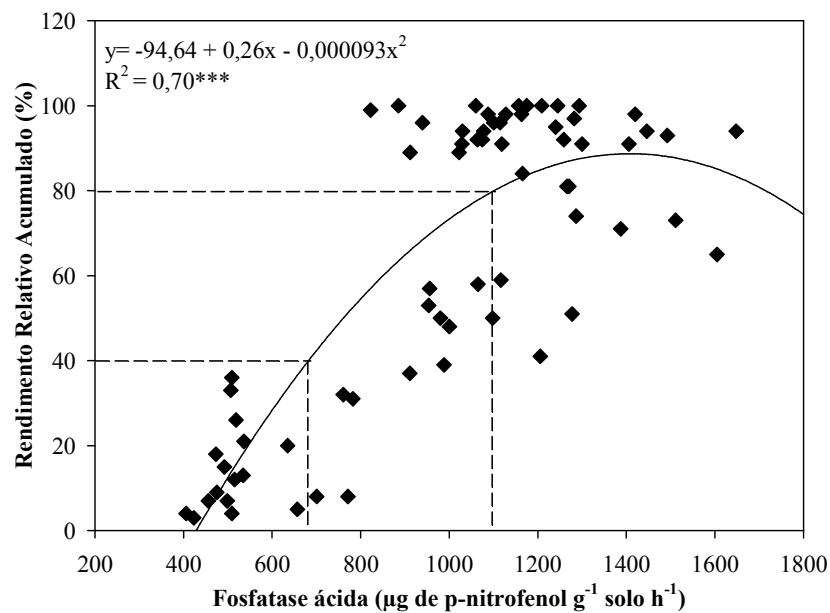


Figura 8: Relação entre o rendimento relativo acumulado de grãos de soja e milho (RRA) e atividade da enzima fosfatase ácida.

(***)Significativo a 1% pelo test F.

3.3.6. Arilsulfatase

A enzima arilsulfatase atua na hidrólise de ésteres de sulfatos do solo, tendo grande importância na mineralização do S orgânico (Tabatabai, 1994). Dentre os principais fatores que afetam a sua atividade, destaca-se a quantidade de matéria orgânica, que é rica em ésteres de sulfato, substrato dessa enzima (Nogueira & Mello, 2003).

O modelo que melhor descreveu a relação entre a arilsulfatase e o RRA foi o quadrático com $R^2 = 0,98$ (Figura 9). O valor de atividade de arilsulfatase equivalente ao NC de 80% da RRA foi de 95 μg de *p*-nitrofenol g^{-1} solo h^{-1} , gerado a partir do modelo matemático obtido pela análise de regressão. Os demais valores para as classes de suficiência (baixo, médio e adequado) são apresentados na tabela 8.

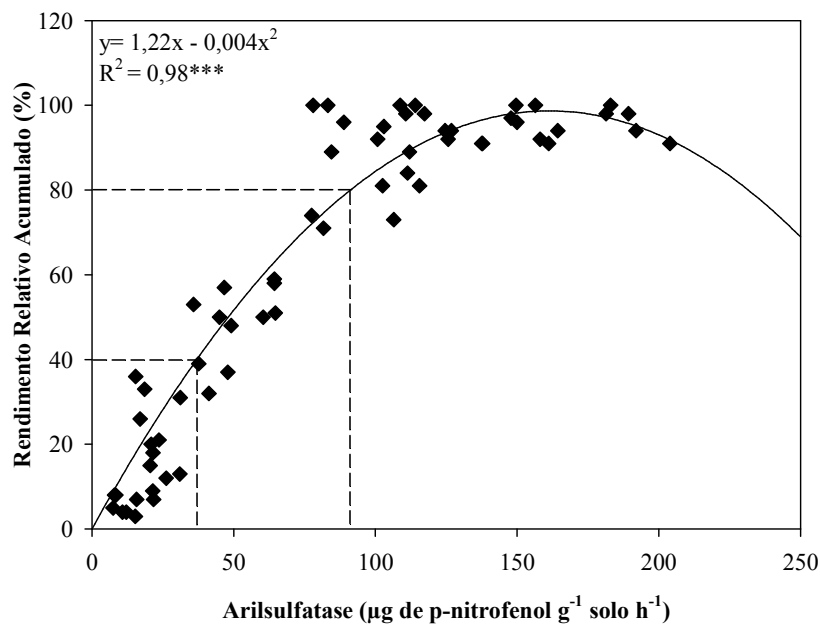


Figura 9: Relação entre o rendimento relativo acumulado de grãos de soja e milho (RRA) e atividade da enzima Arilsulfatase.

(***) Significativo a 1% pelo test F.

3.3.7. Interpretação dos valores de atributos microbiológicos do solo em função do RRA

Com base nessas relações foi possível elaborar uma primeira tentativa de interpretação dos valores dos indicadores microbiológicos em função do RRA para áreas agrícolas com cultivo de soja e milho (Tabela 8). Foram estimados os níveis críticos (equivalentes a 80% do RRA) para cada indicador, e definidas três classes (baixa, média, adequada) de suficiência de acordo com os respectivos valores de RRA: < 40% (baixa), 41-80% (média) e > 80% (adequada).

Tabela 8: Interpretação dos valores de atributos microbiológicos para Latossolos Vermelhos argilosos e muito argilosos de Cerrado na camada de 0 a 10 cm com base no rendimento relativo acumulado de grãos de soja e milho (RRA).

Atributos ⁽¹⁾	Valores de Atividade ou Teor no solo		
	Baixo	Médio	Adequado
CBM	≤200	201 a 400	>400
Respiração Basal	≤35	36 a 90	>90
β-Glicosidase	≤65	66 a 130	>130
Celulase	≤70	71 a 105	>105
Fosfatase ácida	≤680	681 a 1110	>1110
Arilsulfatase	≤40	41 a 95	>95

⁽¹⁾ Valores de β-glicosidase, fosfatase ácida e arilsulfatase expressos em μg de *p*-nitrofenol g⁻¹ solo h⁻¹; Celulase em μg de glicose g⁻¹ de solo 24h⁻¹; carbono da biomassa microbiana (CBM) em mg de C kg⁻¹ de solo; respiração basal em mg de C-CO₂ kg⁻¹ de solo em sete dias.

3.3.8. Interpretação dos valores de atributos microbiológicos em função da MOS

Considerando que para muitos dos possíveis usuários das avaliações microbiológicas o acesso a dados de MOS é mais fácil do que a dados de RRA de uma determinada área, foi delineada a segunda estratégia para a interpretação dos bioindicadores, baseada nos valores de MOS. Inicialmente, com base na relação entre o RRA e a MOS (Figura 3), foi gerado um NC para a MOS (equivalente a 80% do RRA) de 31,6 g kg⁻¹ solo, resultado semelhante ao NC descrito por Sousa & Lobato (2004) para solos argilosos na camada de 0 a 20 cm. Em seguida, foram definidas classes de interpretação para a MOS em função do RRA: baixo (≤

26,5 g kg⁻¹) médio (26,6 a 31,6 g kg⁻¹) e adequado (> 31,6 g kg⁻¹), para ≤ 40%, 41 a 80% e > 80 da RRA, respectivamente. Com base nos valores de MOS em cada uma dessas classes foram obtidos valores correspondentes para os atributos microbiológicos (Figura 10).

Para todos os atributos houve tendência de aumento à medida que houve incrementos nos teores de MOS (Figura 10), evidenciando que a disponibilidade e qualidade de MOS influencia a biomassa e a atividade dos microrganismos do solo pois, além de promover proteção física, também atua como fonte de carbono, energia e nutrientes para as comunidades microbianas (Bayer e Mielniczuk, 2008).

A interpretação dos valores dos atributos microbiológicos para Latossolos Vermelho argilosos e muito argilosos, na camada da 0 a 10 cm, utilizando essa estratégia é apresentada na tabela 9. Comparando-se as tabelas 8 e 9 verifica-se que, de maneira geral, o grau de concordância entre as duas foi elevado sendo que pequenas discrepâncias entre os valores obtidos usando o RRA ou a MOS foram observadas.

As relações entre os atributos microbiológicos e a MOS apresentadas na figura 10, juntamente com as relações entre RRA e os bioindicadores apresentadas nas figuras 4, 5, 6, 7, 8 e 9 evidenciam que solos com elevados níveis de produtividade também apresentam maiores níveis de biomassa e atividade microbiana, o que juntamente com os elevados teores de MOS nas áreas de elevada produtividade de grãos resultaria em uma melhor qualidade do solo.

Como a produtividade das culturas pode ser influenciada por inúmeros fatores não ligados à qualidade do solo, tais como clima, genótipo e ocorrência de pragas, existem poucos trabalhos na literatura que avaliam a relação entre os atributos microbiológicos e esse parâmetro (Verstraete & Voets, 1977; Dick et al., 1988; Hungria et al., 2009). Nesse sentido, dados oriundos de experimentos de longa duração, como os três experimentos avaliados nesse estudo, onde a influência de fatores não relacionados à qualidade do solo (QS) foi minimizada durante todo o período de condução constituem uma valiosa oportunidade para avaliar as relações entre produtividade das culturas e os bioindicadores de QS.

Hungria et al (2009) reportaram, por meio de regressões lineares, relações significativas entre o carbono da biomassa microbiana (avaliado pelos métodos de extração e incubação) e o qCO₂ com o rendimento de grãos da soja, mas não com o rendimento de grãos do milho. Entretanto, deve ser destacado que embora o estudo também tenha sido conduzido num experimento de longa duração, os autores utilizaram apenas os dados de produtividade obtidos no ano em que foram realizadas as avaliações microbiológicas.

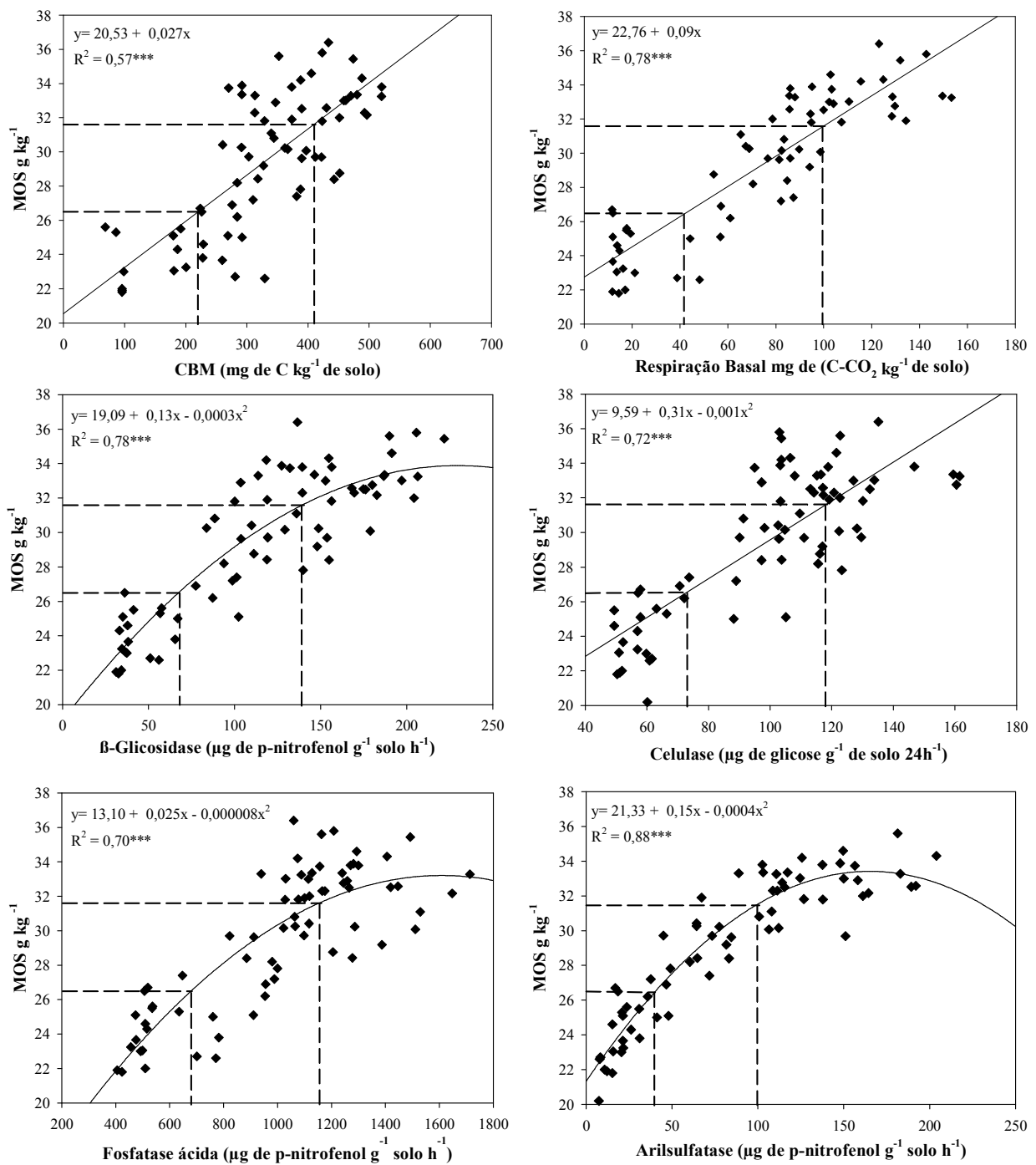


Figura 10: Relação entre matéria orgânica do solo e os atributos microbiológicos.

(***) Significativo a 1% pelo test F.

Tabela 9: Interpretação dos valores de atributos microbiológicos para Latossolos Vermelhos argilosos e muito argilosos de Cerrado na camada de 0 a 10 cm com base na matéria orgânica do solo (MOS).

Atributos ⁽¹⁾	Valores de Atividade ou Teor no solo		
	Baixo	Médio	Adequado
CBM	≤220	221 a 410	>410
Respiração Basal	≤40	40 a 100	>100
β-Glicosidase	≤65	66 a 140	>140
Celulase	≤70	71 a 110	>110
Fosfatase ácida	≤690	691 a 1180	>1180
Arilsulfatase	≤40	41 a 95	>95

⁽¹⁾ Valores de β-glicosidase, fosfatase ácida e arilsulfatase expressos em µg de *p*-nitrofenol g⁻¹ solo h⁻¹; celulase em µg de glicose g⁻¹ de solo 24h⁻¹; carbono da biomassa microbiana (CBM) em mg de C kg⁻¹ de solo; respiração basal em mg de C-CO₂ kg⁻¹ de solo em sete dias.

3.4. Avaliação da proposta de interpretação dos atributos microbiológicos com os dados de literatura.

A interpretação com base no rendimento das culturas para avaliar a qualidade do solo em áreas de cultivo de grãos de soja e milho, parece mais adequada e realista que o uso de dados de referência obtidos de áreas sob vegetação nativa. As áreas de Cerrado nativo, por exemplo, possuem algumas peculiaridades quanto ao seu funcionamento biológico (Mendes et al., 2012) que se não forem bem entendidas podem levar a conclusões equivocadas. Por exemplo, na tabela 7 as áreas de Cerrado nativo cujos teores de MOS são semelhantes ou pouco maiores que os encontrados em algumas das parcelas cultivadas, apresentam sempre atividade inferiores de β -glicosidase. Esta observação que poderia ser considerada uma anomalia (Stott et al., 2010) é, de fato, uma consequência da qualidade e quantidade de resíduos retornados ao solo pelas plantas nativas que é mais complexo do que os resíduos depositados das áreas agrícolas. Considerando que a β -glicosidase atua na etapa final de degradação da celulose, isso resulta em menor atividade dessa enzima em áreas de Cerrado nativo (Peixoto et al., 2010).

A respiração basal nas áreas nativas também segue o mesmo raciocínio, pois, em ecossistemas naturais as populações microbianas do solo estão em equilíbrio e as taxas de respiração tendem a ser mais baixas. Devido à complexidade dos resíduos vegetais encontrados nas áreas nativas de Cerrado o acúmulo de C prontamente mineralizável é menor do que em áreas cultivadas, resultando em níveis mais baixos de respiração do solo em condições de laboratório nas áreas nativas, em relação a solos cultivados com teores semelhantes de MOS (Tabela 7).

O uso de classes de interpretação com base nas relações dos atributos microbiológicos com o RRA e a MOS, também mostra uma forte evidencia que os níveis de CBM encontrados em áreas de Cerrado nativo (geralmente superiores a 500 mg de C kg⁻¹ de solo, Tabela 7) dificilmente podem ser alcançados em solos sob cultivo de grãos no Cerrado, mesmo sob as melhores práticas de manejo. Em outras palavras, a seleção de uma área de Cerrado sob vegetação nativa como critério de referência para solos agrícolas, resultaria no fato de que mesmo solos agrícolas com altos teores de MOS e altos níveis de produtividade, seriam penalizados por não apresentarem níveis de CBM similares aos das áreas nativas.

A proposta de interpretação dos atributos microbiológicos em função da MOS também foi avaliada usando dados da literatura. Embora a base de dados de microbiologia de solos brasileiros ainda seja relativamente pequena, nas tabelas 10 e 11 são apresentadas compilações de dados de carbono da biomassa microbiana, respiração basal e atividade

enzimática de Latossolos argilosos e muito argilosos da Região do Cerrado (clima tropical) e da Região Sul (clima subtropical) do Brasil, respectivamente.

A tabela 12 apresenta um resumo dos valores médios de MOS e dos atributos microbiológicos dos 24 tratamentos avaliados nessa dissertação (Tabela 7) e das duas bases (Tabelas 10 e 11). Verifica-se que de um modo geral os valores médios obtidos nesse trabalho não se distinguiram muito dos valores médios da base de Cerrado com relação a: MOS, CBM, β -glicosidase, celulase e arilsulfatase. Em relação à respiração basal e a fosfatase ácida, os valores médios da base do Cerrado foram 37% superiores e 58% inferiores aos dessa dissertação, respectivamente.

A comparação dos dados dessa dissertação com a base de dados da região Sul, mostra que os teores de MOS foram em média 16% maiores no Sul, enquanto que o CBM e a respiração basal foram em média, 14% e 21% inferiores aos valores médios dessa dissertação. Essas diferenças podem estar associadas às diferentes condições edafoclimáticas dessas duas regiões. A fosfatase ácida da base de dados do Sul foi inferior em 72% em relação à média dos dados dessa dissertação. Semelhante ao verificado com a base de Cerrado, os valores médios de β -glicosidase dessa dissertação e da base do Sul praticamente não diferiram. Devido ao pequeno o número de observações para celulase e arilsulfatase na base de dados da Região Sul (apenas 4) optou-se por não fazer essa comparação.

Para a interpretação dos atributos microbiológicos das duas bases de dados (Tabelas 10 e 11) foi utilizada a tabela para Latossolos Vermelhos argilosos e muito argilosos de Cerrado na camada de 0 a 10 cm com base na matéria orgânica do solo, proposta nessa dissertação (Tabela 9). Optou-se por utilizar essa tabela de interpretação, tendo em vista que a maioria dos trabalhos da base de dados não dispõe de dados de produtividade das culturas, mas dispunha dos teores de MOS. Devido ao maior número de observações da base de dados do Cerrado (Tabela 10), apenas os dados dessa base serão discutidos detalhadamente.

3.4.1. Carbono da Biomassa Microbiana (CBM) e Respiração Basal

Na base de dados para a Região dos Cerrados (Tabela 10) foram encontradas 40 observações para o CBM em latossolos argilosos e muito argilosos. Desse total e seguindo a tabela de interpretação proposta nessa tese (Tabela 6) verificou-se que 25% das observações apresentaram valores adequados de CBM, 65% valores médios e 10% valores baixos. De acordo com as classes de interpretação para a MOS em função do RRA (Figura 3), verificou-se que os valores de MOS nessas 40 observações foram classificados como adequados em 42% dos casos, como médios em 45% e como baixos em 13%. Ocorre que em três trabalhos da base de dados a MOS foi determinada por métodos que tendem a extrair maiores quantidades de carbono do que o método Walkley-Black utilizado nesse trabalho (oxidação quente no trabalho de Souza et al. (2006) e com o analisador CHNS nos trabalhos de Nunes et al. (2011) e Mendes et al. (2012). Em trabalho de comparação de métodos de determinação de C de solos, Gatto et al. (2009) observaram que o C obtido pelo método de Walkley-Black, em média, foi inferior em 27% ao do método de combustão seca (CHNS/O) em decorrência do processo analítico. Em geral se utiliza um fator de 1,3 para corrigir o percentual de C que não tenha oxidado durante o processo pelo método de Walkley-Black (Walkley, 1947; Smith e Weldon, 1941).

Com a exclusão desses três trabalhos o número de observações na base de dados passa a ser de 25. Nesse novo sub-conjunto de dados, verifica-se que 28% das observações de CBM apresentam valores adequados, 64% valores médios e 8% valores baixos, enquanto que para a classificação de MOS 24% das observações apresentam valores adequados, 56% médios e 20% baixos. Entretanto, apesar dessa correspondência entre as classificações, em nenhum dos dois conjuntos de dados (40 e 25 observações), houve correlação significativa entre o CBM e a MOS ($r = -0,070$, $p > 0,5$). Além disso, a similaridade entre as classificações de CBM e MOS foram baixas (40 e 36%), para as 40 observações e 25 observações, respectivamente, ou seja, nem sempre valores adequados de CBM estiveram associados a valores adequados de MOS, médios a médios e baixos a baixos, tendo em vista a classificação entre as mesmas observações para CBM e MOS (Figura 11A e 11B)

Tabela 10: Carbono da Biomassa Microbiana e atividade enzimática em solos sob áreas cultivadas, na região dos Cerrados.

Local/Solo/Profundidade/Data da coleta	Tratamentos	MOS ¹	CBM ²	Resp ³	Gli ⁴	Cef ⁵	Fos ⁴	Aril ⁴	Referência
Planaltina-DF (Embrapa-CPAC)- Latossolo Vermelho, argiloso, 0 a 5 cm, janeiro de 1999 e 2000.	PC cultivado com soja (janeiro de 1999) PC cultivado com milho (janeiro de 2000)	29	209	-	-	-	-	-	Oliveira et al., 2001
Município de Costa Rica, MS- Latossolo Vermelho, muito argiloso, 0 a 10 cm, março (safrinha).	Sequência de cultivos (safrinha): milho/milheto/soja/milheto soja/nabo/milho/nabo soja/milho/soja/sorgo	34,9 ^(b) 39,13 ^(b) 34,8 ^(b)	236 106 171	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	Souza et al., 2006
Fazenda Água Limpa (Estação experimental da UnB, DF)- Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico, muito argiloso, 0 a 5 cm.	Área sob cultivo convencional de milho	31	310 ^(b)	57	-	-	-	-	Araújo et al., 2007
Costa Rica, MG- Latossolo Vermelho, argila 62%, 0 a 10 cm, fevereiro 2005.	Cultivos (safrinha): milho/milheto/soja/milheto soja/nabo/milho/nabo soja/milho/soja/sorgo	28,1 32,9 33	343 351 285	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	Carneiro et al., 2008
Planaltina, DF Latossolo Vermelho Amarelo, com 61% de argila, 0 a 10 cm, abril de 2006	Lavoura contínua – Soja PD Pastagem consorciada/lavoura- Soja	31,3 31,2	384 277	- -	130 120	- -	622 792	73 101	Silva, 2008
Planaltina, DF- Latossolo Vermelho de textura argilosa (52%), 0- a 5 cm, Fevereiro de 2006.	Soja cv. Raimunda com lodo de esgoto na dose de 4,5 Mg ha ⁻¹	26,9	523	74	127	-	574	52	Souza et al 2009
Planaltina, DF- Latossolo Vermelho Amarelo de textura argilosa, 0- a 5 cm, Janeiro de 2003.	Milho- PD 11 anos Milho- PC 11 anos	37 27	277 152	- -	230 71	- -	1009 488	- -	Peixoto et al, 2010

Campos das Vertentes MG- Latossolo Vermelho-Amarelo acrítico típico, argiloso, 0 a 10 cm, Janeiro de 2001.	PD com milho	26	344	187	-	-	-	-	Silva et al., 2010
	PC com milho	29	325	104	-	-	-	-	
Planaltina-DF (Embrapa-CPAC)- Latossolo Vermelho distrófico, 57% argila, 0 a 20 cm, março de 2010 (Cultivo de soja, doses de 0 e 100 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅).	SPC milho P0	29,39 ^(c)	261	99	-	-	-	-	Nunes et al., 2011
	SPD milho P0	31,81 ^(c)	370	100	-	-	-	-	
	SPD mucuna P0	30,17 ^(c)	335	43	-	-	-	-	
	SPC milho P100	30,95 ^(c)	268	128	-	-	-	-	
	SPD milho P100	33,96 ^(c)	367	103	-	-	-	-	
	SPD mucuna P100	32,58 ^(c)	362	79	-	-	-	-	
Planaltina, DF- Latossolo Vermelho Amarelo de textura argilosa, 0- a 10 cm, Fevereiro de 2008.	Soja PD- 16 anos	28,6	560	-	119	-	659	70	Souza et al.
	Soja PC- 16 anos	25,5	521	-	92	-	571	45	2011
	Milho PD-16 anos	30,1	537	-	127	-	627	74	
	Milho PC-16anos	24,7	455	-	79	-	438	50	
Planaltina, DF- Latossolo Vermelho Amarelo de textura argilosa, 0- a 10 cm, Fevereiro de 2009.	Soja PD- 17 anos	32,3	252	-	129	-	581	86	Souza et al.
	Soja PC- 17 anos	26,1	248	-	75	-	403	68	2011
	Milho PD-17 anos	31,6	404	-	136	-	523	104	
	Milho PC-17 anos	25,9	231	-	96	-	429	70	
Planaltina, DF- Latossolo Vermelho de textura argilosa, 0- a 10 cm, Fevereiro de 2009.	Milho – PD 15 anos com SFT	36,6	480	-	213	-	1012	104	Souza et al.
	Milho – PC 15 anos com SFT	30,8	426	-	156	-	895	78	2011
Planaltina, DF- Latossolo Vermelho de textura argilosa, 0- a 10cm, Fevereiro de 2010.	Soja- PD 16 anos com SFT	35,2	320	-	157	-	738	96	Souza et al.
	Soja – PC 16 anos com SFT	31	322	-	113	-	531	67	2011
Planaltina-DF (Embrapa-CPAC)- Latossolo Vermelho distrófico, 57% argila, 0 a 10 cm, março de 2010 (Cultivo	SPC milho P0	30,34 ^(c)	231	88	58	72	-	-	Mendes et al., 2012
	SPD milho P0	36,9 ^(c)	455	127	121	107	-	-	

de soja, doses de 0 e 100 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅).										
	SPD mucuna P0	34,5 ^(c)	425	77	104	99	-	-	-	-
	SPC milho P100	32,93 ^(c)	264	139	77	95	-	-	-	-
	SPD milho P100	40,69 ^(c)	471	155	162	112	-	-	-	-
	SPD mucuna P100	37,93 ^(c)	396	110	121	102	-	-	-	-
Nº de observações		40	40	16	23	6	17	15		
Média		31,51	340	104	122	98	641	76		

⁽¹⁾MOS = matéria orgânica do solo expressa em g kg⁻¹; ⁽²⁾CBM = carbono da biomassa microbiana em mg de C kg⁻¹ de solo; ⁽³⁾Resp = respiração basal em mg de C-CO₂ kg⁻¹ de solo em sete dias; ⁽⁴⁾Gli = β-glicosidase; Fos = fosfatase ácida e Aril = arilsulfatase, expressos em µg de p-nitrofenol g⁻¹ solo h⁻¹; ⁽⁵⁾Cel = celulase em µg de glicose g⁻¹ de solo 24h⁻¹. ^(a) = CBM extraído pelo método clorofórmio-fumigação-incubação (Jenkinson & Powlson 1976a,b); ^(b) carbono orgânico do solo determinado por oxidação a quente (Embrapa, 1997). ^(c) carbono orgânico total determinado por combustão seca em analisador Perkin Elmer Series II CHNS/O 2400.

Tabela 11: Carbono da Biomassa Microbiana e atividade enzimática em solos sob áreas cultivadas, na região Sul do Brasil.

Local/Solo/Profundidade/Data da coleta	Tratamentos	MOS	CBM ¹	Resp ²	Gl ³	Cel ⁴	Fos ³	Ari ³	Referência
Santo Ângelo RS- Latossolo Vermelho distroférrico típico (Experimento doses acumuladas), muito argiloso, 0 a 10 cm, janeiro de 2000.	Soja PD doses de P ₂ O ₅								Conte et al., 2002
	0 kg ha ⁻¹ P ₂ O ₅	20,3	-	-	-	-	589	-	
	130 kg ha ⁻¹ P ₂ O ₅	-	-	-	-	-	549	-	
	260 kg ha ⁻¹ P ₂ O ₅	-	-	-	-	-	550	-	
	180 kg ha ⁻¹ P ₂ O ₅	-	-	-	-	-	656	-	
	360 kg ha ⁻¹ P ₂ O ₅	-	-	-	-	-	584	-	
	540 kg ha ⁻¹ P ₂ O ₅	-	-	-	-	-	534	-	
	720 kg ha ⁻¹ P ₂ O ₅	-	-	-	-	-	606	-	
Londrina PR- Latossolo 85% argila; 0 a 10 cm; Agosto de 1997	Soja/Trigo – PC	24,74	186 ^(a)	-	-	129	552	8,5	Balota et al., 2004a e b
	Soja/trigo – PD	32,67	314 ^(a)	-	-	147	712	19,6	
	Milho/trigo – PC	25,86	197 ^(a)	-	-	117	304	10,5	
	Milho/trigo - PD	35,69	345 ^(a)	-	-	169	745	30	
Ibirubá RS- Latossolo Vermelho Distrofíco, 56% argila, 0 a 20 cm, Novembro/Dezembro de 2005	PD Rotação – Soja	34,4	147 ^(a)	78	140	-	584	-	Silveira, 2007
	Pastagem milheto								
	PC	31	30 ^(a)	30	78	-	427	-	
Cruz Alta RS- Latossolo Vermelho Distrofíco, 57% argila; 0 a 20 cm, Novembro de 2005	PD rotação Soja	41,4	58 ^(a)	79	213	-	631	-	Silveira, 2007
	PC – Soja/Trigo no inverno	36,2	83 ^(a)	44	105	-	515	-	
Santo Angelo RS – Latossolo Vermelho distroférrico, 62% argila, 0 a 20 cm, PD com rotação de		41,3	165 ^(a)	156	119	-	786	-	Silveira, 2007

Novembro-Dezembro de 2005

culturas														
PC com trigo no inverno		37,9	141 ^(a)	148	92	-	-	-	-	-	-	-	-	Pereira et al., 2007
PC - rotação trigo/soja		33,6	286	15,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
PC - sucessão trigo/soja		35,6	276	16,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
PD - rotação trigo/soja		38,5	658	20,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
PD - sucessão trigo/soja		41,3	547	21,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Nº de observações	-	15	14	10	6	4	4	16	4					
Média		34	245	61	125	141	583	17						

⁽¹⁾MOS = matéria orgânica do solo expressa em g kg⁻¹; ⁽²⁾CBM = carbono da biomassa microbiana em mg de C kg⁻¹ de solo; ⁽³⁾Resp = respiração basal em mg de C-CO₂ kg⁻¹ de solo em sete dias; ⁽⁴⁾Gli = β-glicosidase; Fos = fosfatase ácida e Aрил = arilsulfatase, expressos em µg de p-nitrofenol g⁻¹ solo h⁻¹; ⁽⁵⁾ Cel = celulase em µg de glicose g⁻¹ de solo 24h⁻¹. ^(a) = CBM extraído pelo método clorofórmio-fumigação-incubação (Jenkinson & Powlson 1976a,b).

Tabela 12: Valores médios de matéria orgânica do solo e atributos microbiológicos dos 24 tratamentos dessa dissertação e das bases de dados do Cerrado e Sul do Brasil.

Valores Médios	MOS ⁽¹⁾	CBM ⁽²⁾	Respiração ⁽³⁾	Gli ⁽⁴⁾	Cel ⁽⁵⁾	Fos ⁽⁴⁾	Aril ⁽⁴⁾
Dissertação	29,4	335	74	115	99	1004	88
Base do Cerrado	31,5	340	104	122	98	641	76
Base do Sul	34,0	245	61	125	141	583	17

⁽¹⁾MOS = matéria orgânica do solo expressa em g kg⁻¹; ⁽²⁾CBM = carbono da biomassa microbiana em mg de C kg⁻¹ de solo; ⁽³⁾Respiração = respiração basal em mg de C-CO₂ kg⁻¹ de solo em sete dias; ⁽⁴⁾Gli = β-glicosidase; Fos = fosfatase ácida e Aril = arilsulfatase, expressos em μg de *p*-nitrofenol g⁻¹ solo h⁻¹; ⁽⁵⁾ Cel = celulase em μg de glicose g⁻¹ de solo 24h⁻¹.

Para a respiração basal, na base de dados da região dos Cerrados (Tabela 10) foram encontradas 16 observações em latossolos argilosos e muito argilosos. Desse total e seguindo a tabela de interpretação proposta no presente estudo (Tabela 9) verificou-se que 50% das observações de respiração basal foram classificadas como adequadas, 50% como médias e 0% como baixas (Figura 11C). De acordo com as classes de interpretação para a MOS em função do RRA (Figura 3), verificou-se que os valores de MOS nessas 16 observações foram classificados como adequados em 50% dos casos, 44% como médios e 6% como baixos (Figura 11C). Entretanto, conforme mencionado na avaliação do CBM, em um dois trabalhos da base de dados (Nunes et al. 2011 e Mendes et al., 2012) a MOS foi determinada com o analisador CHNS método que tende a extrair maiores quantidades de carbono do que o método Walkley-Black utilizado nesse trabalho.

Com a exclusão desses trabalhos o número de observações na base de dados para respiração basal passa a ser de apenas 4 (Figura 11D). Nesse novo subconjunto de dados verifica-se que 50% das observações de respiração basal apresentam valores adequados e 50% valores médios e 0% baixos, enquanto que para a classificação de MOS 0% das observações apresentaram valores adequados, 75% médios e 25% baixos. No entanto, nos dois conjuntos de observações (com 16 e com 4 dados) não houve correlação significativa entre a respiração basal e a MOS ($r=0,16$, $p > 0,5$ e $r=-0,71$, $p > 0,5$, figura 11C e 11D, respectivamente), uma vez que valores altos de respiração basal estiveram associados, a valores baixos de matéria orgânica e vice-versa, conforme verificado para o CBM (Figura 11A E B). A similaridade entre as classificações de respiração basal e MOS foram baixas (50% e 0%), para as 16 e 4 observações, respectivamente.

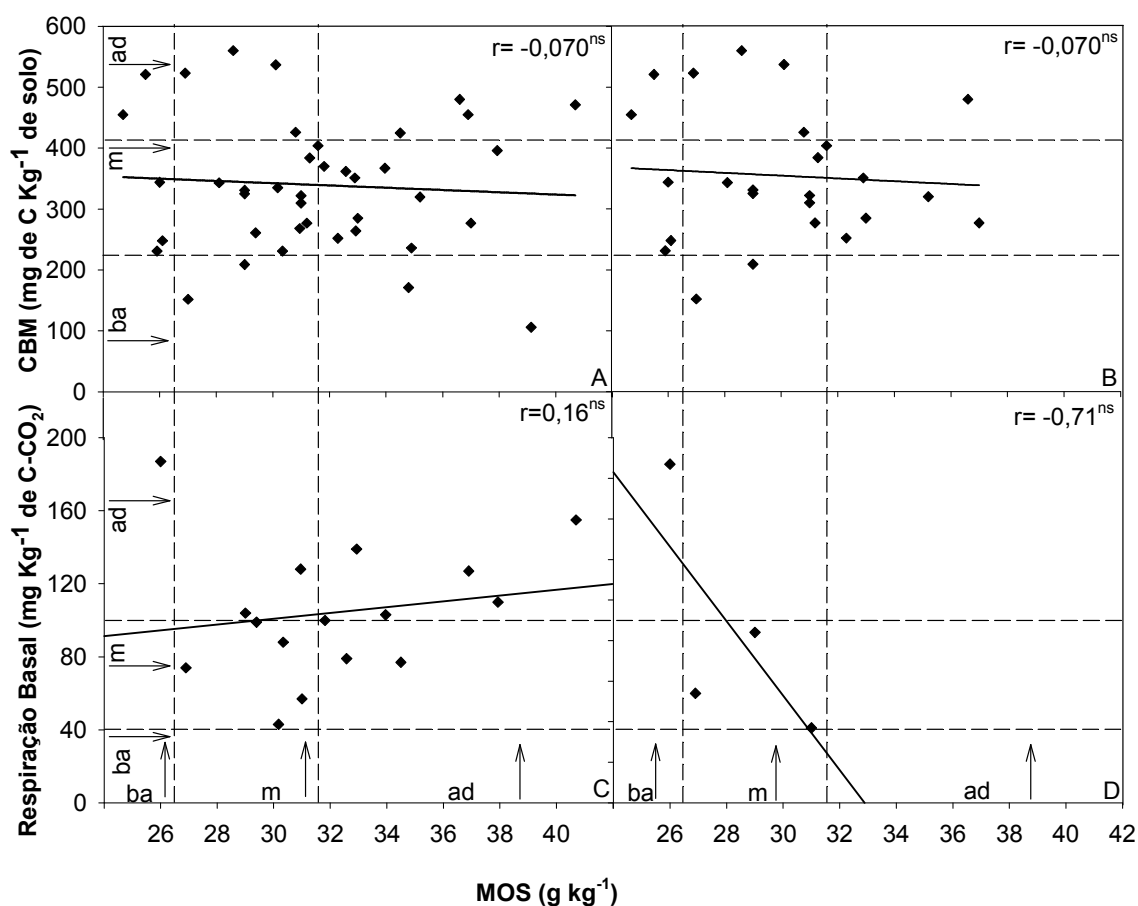


Figura 11: Relação entre os valores de carbono da biomassa microbiana (CBM) (A), respiração basal (B) e matéria orgânica do solo (MOS)(C) da base de dados do Cerrado. A) conjunto de 40 observações. B) conjunto de 25 observações. C) conjunto de 16 observações. D) conjunto de 4 observações.

^{ns} = não significativo.

Obs: As linhas retas seccionadas na horizontal e na vertical correspondem, respectivamente, às classes de suficiência determinadas para o CBM, respiração basal e MOS no presente estudo. ba= baixo; m = médio; ad = adequado.

Essa ausência de correlação entre os valores de CBM e respiração basal com a MOS na base de dados pode estar relacionada principalmente ao fato de que, diferentemente do observado no presente estudo, na base de dados as amostras de solo foram coletadas em diferentes profundidades e em diferentes épocas ao longo do ciclo cultural, fatores que influenciam mais fortemente os valores de CBM e de respiração basal do que os de MOS. Em

relação à época de amostragem, Pereira Neto & Mendes (2001) reportaram variações do CBM (determinado na profundidade de 0 a 5 cm, pelo método clorofórmio fumigação incubação) ao longo do ciclo cultural do milho de 132 a 345 mg C kg⁻¹ solo, e ao longo do ciclo da soja de 149 a 362 mg de C kg⁻¹ solo, evidenciando que com taxas de ciclagem de poucos meses, o CBM constitui um reservatório de mais rápida decomposição (lábil) (Roscoe et al., 2006). Ao quantificar a liberação de CO₂ por organismos do solo metabolicamente ativos, a respiração basal, principalmente quando avaliada em condições de laboratório, reflete o teor de carbono prontamente mineralizável do solo, sendo também influenciada pelo tipo de cultura e época de amostragem (Yuste et al., 2007; Yao et al. 2011). Além dos efeitos relacionados às variações sazonais, deve ser destacado a diversidade de procedimentos metodológicos utilizadas nas determinações do CBM e da respiração basal na base de dados que variam desde o pré-preparo das amostras até a escolha do método de determinação, o que certamente interferiu para a ausência de correlação entre esses atributos microbiológicos e a MOS.

3.4.2. β-glicosidase, celulase, fosfatase ácida e arilsulfatase

Na base de dados da região dos Cerrados (Tabela 10) foram encontradas 23 observações para a atividade da β-glicosidase em latossolos argilosos e muito argilosos. Desse total e seguindo a tabela de interpretação proposta nesse trabalho (Tabela 9) verificou-se que 22% das observações foram classificadas como adequadas, 74% como médias e 4% como baixas (Figura 12A). De acordo com as classes de interpretação para a MOS em função do RRA (Figura 3), verificou-se que os valores de MOS nessas 23 observações foram classificados como adequados em 40% dos casos, 43% médios e 17% baixos (Figura 12A). Conforme mencionado anteriormente, em um dos trabalhos da base de dados (Mendes et al 2012) a MOS foi determinada com o analisador CHNS método que tende a extrair maiores quantidades de carbono do que o método Walkley-Black, em média 27% a mais, segundo Gatto et al. (2009). Com a exclusão desse trabalho o número de observações na base de dados para β-glicosidase passa a ser de 17, e nesse novo subconjunto de dados verifica-se que 24% das observações de β-glicosidase apresentam valores adequados, 76% valores médios e 0% valores baixos, permanecendo praticamente inalterados (Figura 12B). Entretanto, como cinco das seis observações do trabalho de Mendes et al. (2012), estavam no nível adequado de MOS, a classificação de MOS mudou substancialmente sendo que 24% das observações

passaram a apresentar valores adequados, 52% médios e 24% baixo. Nos dois conjuntos de observações (com 23 e 17 dados, respectivamente) houve correlação significativa entre a β -glicosidase e a MOS ($r=0,63$, $p < 0,05$ e $r=0,90$, $p < 0,0001$, figuras 12A e 12B), e a similaridade foi de 52 e 65%, evidenciando que de maneira geral, valores considerados adequados, médios e baixos de β -glicosidase, corresponderam a valores adequados, médios e baixos de MOS.

Para a enzima celulase, na base de dados da região dos Cerrados (Tabela 10) foram encontradas 6 observações. Desse total e seguindo a tabela de interpretação proposta no presente estudo (Tabela 9) verificou-se que 17% das observações de atividade de celulase foram classificadas como adequada, 83% foram médias e 0% baixas (Figura 13A). De acordo com as classes de interpretação para a MOS em função do RRA (Figura 3), verificou-se que os valores de MOS nessas 6 observações foram classificados como adequados em 83% dos casos, 17% médios e 0% baixos (Figura 13A). Todos esses dados são oriundos do trabalho de Mendes et al. (2012) onde a MOS foi determinada pelo analisador CHNS, método que tende a extrair maiores quantidades de carbono do que o método Walkley-Black utilizado no estudo, o que explica a discrepância entre as duas classificações. Mesmo assim, verifica-se que semelhante ao reportado para a β -glicosidase, houve correlação significativa entre os dados de celulase e MOS ($r=0,91$, $p < 0,05$, figura 13A), evidenciando que aumentos na MOS corresponderam a aumentos na atividade da celulase. No entanto a similaridade entre as classificações foram de 33%, evidenciando a dissimilaridade entre as classificações.

Na base de dados da região dos Cerrados (Tabela 10) foram encontradas 17 observações para a enzima fosfatase ácida. Desse total e seguindo a tabela de interpretação proposta nessa tese (Tabela 9) verificou-se que 0% das observações foram classificadas como adequadas, 29% como médias e 71% como baixas (Figura 13B). No entanto, de acordo com as classes de interpretação para a MOS em função do RRA (Figura 3), verificou-se que os valores de MOS nessas 17 observações foram classificados como adequados em 24% dos casos, médios em 52% e baixos em 24% (Figura 13B). Essa discrepância entre as duas classificações (Figura 13B) está relacionada ao fato de que 12 entre as 17 observações apresentaram teores de fosfatase ácida dentro dos limites considerados baixos, apesar dos níveis de MOS estarem dentro dos limites médios e adequados e pode estar associada a influência dos adubos fosfatados sobre a atividade dessa enzima. Diferentemente do que ocorre em áreas naturais, nas áreas cultivadas além de influenciar os teores de P no solo, o modo de aplicação desses adubos também afeta a atividade da fosfatase ácida, uma vez que em locais onde a aplicação desses adubos é mais localizada, a inibição das fosfatases é menor

do que nas áreas onde eles são incorporados ao solo (Carneiro et al, 2004; Peixoto et al. 2010). A influência do modo de aplicação do adubo fosfatado possui implicações importantes para a amostragem de solo, principalmente nas áreas sob PD.

O modo de coleta das amostras de solo pode ser o principal fator para explicar a grande diferença entre os dados médios dessa dissertação para fosfatase ácida ($1004 \mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$) e os dados médios das bases de dados do Cerrado e do Sul (641 e $583 \mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$, respectivamente), evidenciando a importância da padronização dos métodos de amostragem de solo. Verifica-se na Figura 15B, que semelhante ao reportado para β -glicosidase e celulase, também houve correlação significativa entre os dados de fosfatase ácida e de MOS ($r=0,80$, $p < 0,5$), mostrando que aumentos de MOS se refletiram em aumentos na atividade dessa enzima. Apesar disso a similaridade entre as classificações (fosfatase ácida e matéria orgânica) foram de 35%, evidenciando a discrepância entre as classificações.

Para a enzima arilsulfatase, na base de dados da região dos Cerrados (Tabela 7) foram encontradas 15 observações. Desse total e seguindo a tabela de interpretação proposta no presente estudo (Tabela 6) verificou-se que 27% das observações de atividade de arilsulfatase foram classificadas como adequadas, 73% como médias e 0% como baixas (Figura 13C). De acordo com as classes de interpretação para a MOS em função do RRA (Figura 3), verificou-se que os valores de MOS nessas 15 observações foram classificados como adequados em 20% dos casos, 53% médios e 27% baixos (Figura 13C). Conforme pode ser verificado na figura 13C, as discrepâncias nas duas classificações estão relacionadas a situações onde os níveis de arilsulfatase estavam próximos aos limites das classes de suficiência. Semelhante ao observado para as demais enzimas também houve correlação significativa entre os dados de arilsulfatase e MOS ($r=0,83$, $p < 0,0001$, figura 13C), evidenciando que aumentos de MOS se refletiram em aumentos na atividade da arilsulfatase. A similaridade entre as classificações (arilsulfatase e MOS) foi de 53%, evidenciando que de maneira geral, valores considerados adequados, médios e baixos de arilsulfatase, corresponderam a valores adequados, médios e baixos de MOS.

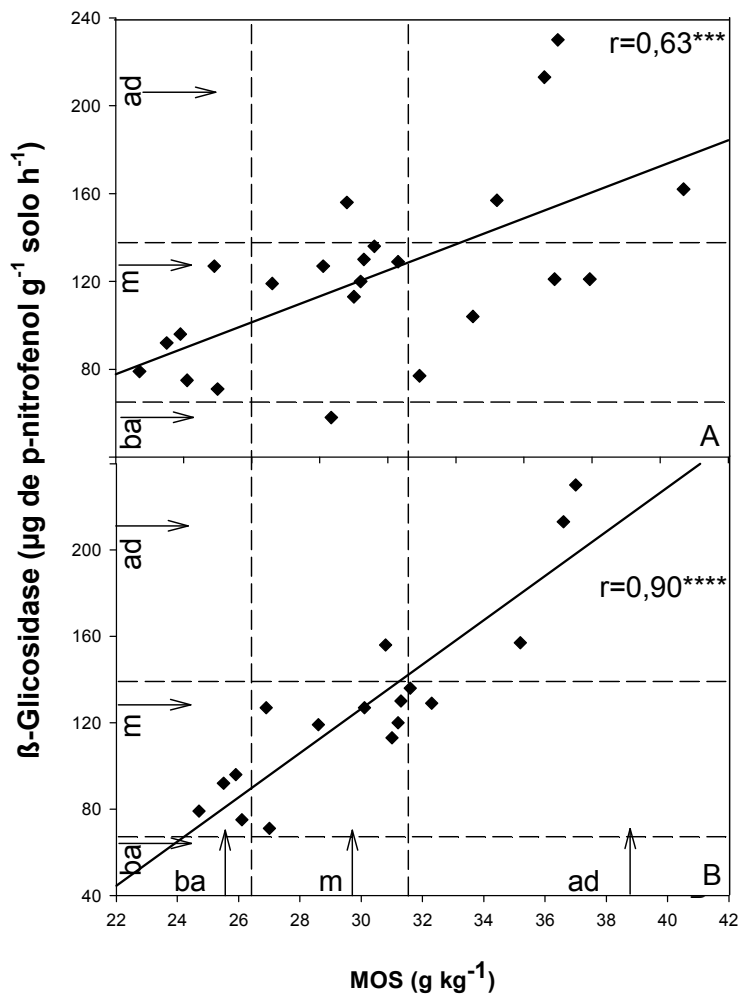


Figura 12: Relação entre os valores de atividade da enzima β -glicosidase e matéria orgânica do solo (MOS) da base de dados do Cerrado. A) conjunto de 23 observações. B) Conjunto de 17 observações.

*** = $p < 0,001$; **** = $p < 0,0001$.

Obs: As linhas retas seccionadas na horizontal e na vertical correspondem às classes de suficiência determinadas para a atividade da β -glicosidase e MOS no estudo, respectivamente. ba= baixo; m = médio; ad = adequado.

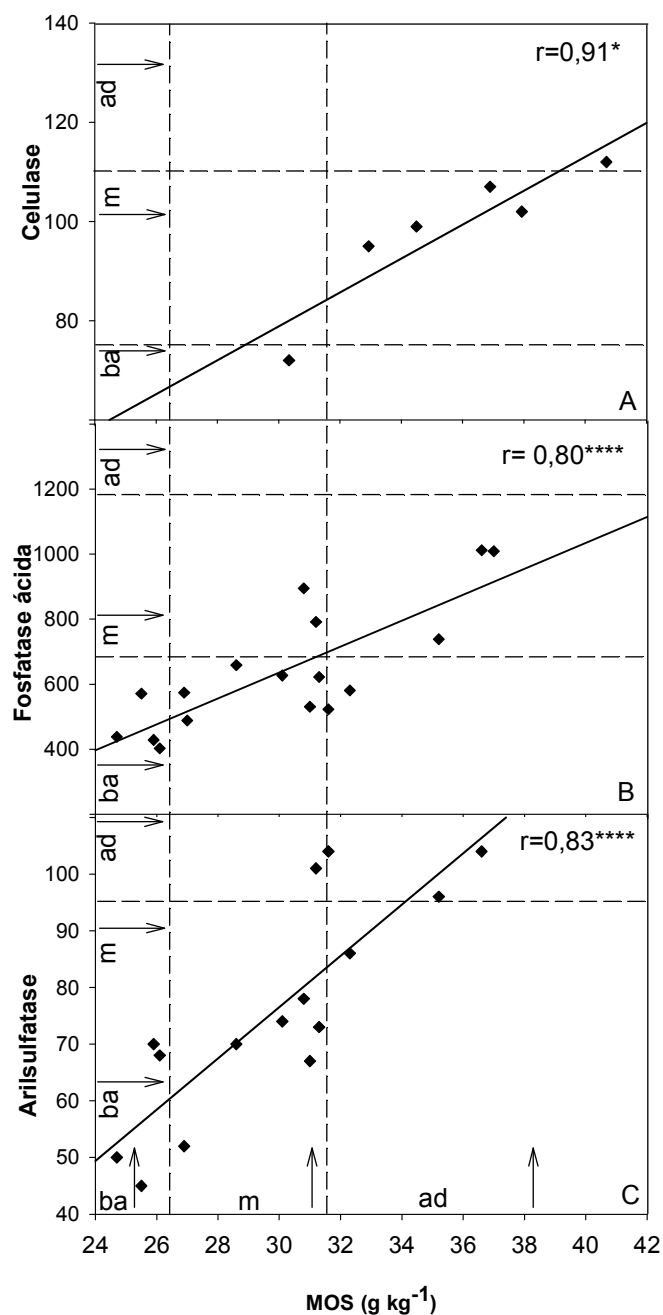


Figura 13: Relação entre os valores de atividade das enzimas celulase (μg de glicose g^{-1} de solo 24h^{-1}) (A); fosfatase ácida (μg ρ -nitrofenol g^{-1} solo h^{-1}) (B); arilsulfatase (μg ρ -nitrofenol g^{-1} solo h^{-1}) (C) e matéria orgânica do solo (MOS) da base de dados do Cerrado. A) Conjunto de 6 observações. B) Conjunto de 17 observações. C) Conjunto de 15 observações.

* = $p < 0,05$; **** = $p < 0,0001$.

Obs: As linhas retas seccionadas na horizontal e na vertical correspondem às classes determinadas para a atividade de celulase, fosfatase ácida, arilsulfatase e MOS no estudo, respectivamente. ba= baixo; m = médio; ad = adequado.

Além das questões relacionadas à validação da proposta desenvolvida neste estudo para a interpretação dos atributos microbiológicos com os dados de literatura, um outro fator importante que emerge dessas bases de dados é a correlação significativa entre a MOS e a atividade enzimática e ausência de correlação entre MOS e os dados de CBM e respiração basal. Semelhante ao verificado com os dados da região do Cerrado (Tabela 10), também na da base de dados microbiológicos da região Sul (Tabela 11) observou-se correlações significativas entre a MOS e a atividade das enzimas β -glicosidase, celulase e arilsulfatase, ($r=0,85$, $p < 0,05$; $r= 0,94$ a 5%; $r= 0,98$, $p < 0,05$, figuras 14C, 14D e 15B respectivamente) e ausência de correlação entre MOS e dados de fosfatase ácida, CBM e respiração basal ($r= 0,51$, $p > 0,05$; $r= 0,24$, $p > 0,05$, $r= 0,41$, $p > 0,05$, Figuras 15A, 14A e 14B respectivamente). Considerando que essas bases de dados contêm amostras que foram coletadas em épocas (meio e fim do período chuvoso) e profundidades (0 a 5 cm e 0 a 10 cm) distintas, a correlação significativa entre a MOS e a atividade enzimática nas duas bases merece destaque.

Diferentemente do CBM (fração viva da MOS) e da respiração basal (fortemente influenciado por adições recentes de material carbonado ao solo), a atividade enzimática total de um solo é o somatório da atividade enzimática dos organismos vivos (plantas, microrganismos, e animais) e das enzimas abiônicas (enzimas associadas à fração não viva, que se acumulam no solo protegidas da ação de proteases através da adsorção em partículas de argila e na matéria orgânica). Por essa razão, as enzimas tendem a se comportar de modo mais semelhante à MOS, assemelhando-se a impressões digitais dos sistemas de manejo aos quais o solo foi submetido. Nesse sentido, é importante destacar que em solos de cerrado sob diferentes fitofisionomias e cultivados sob plantio direto e plantio convencional Kudo et al. (2002) verificaram que houve predominância da atividade abiônica para as enzimas β -glicosidase, fosfatase ácida e arilsulfatase.

A partir dessas observações e considerando os critérios para que um atributo possa ser utilizado como bioindicador de qualidade do solo, a atividade da enzima β -glicosidase destaca-se nesse trabalho com boas chances de utilização em laboratórios comerciais de análise de solo por estar relacionada à ciclagem de carbono orgânico, não ser influenciada por nenhum tipo de fertilizante inorgânico, ser altamente correlacionada com a matéria orgânica do solo e ser de simples e relativamente barata determinação (Silva et al., 2009).

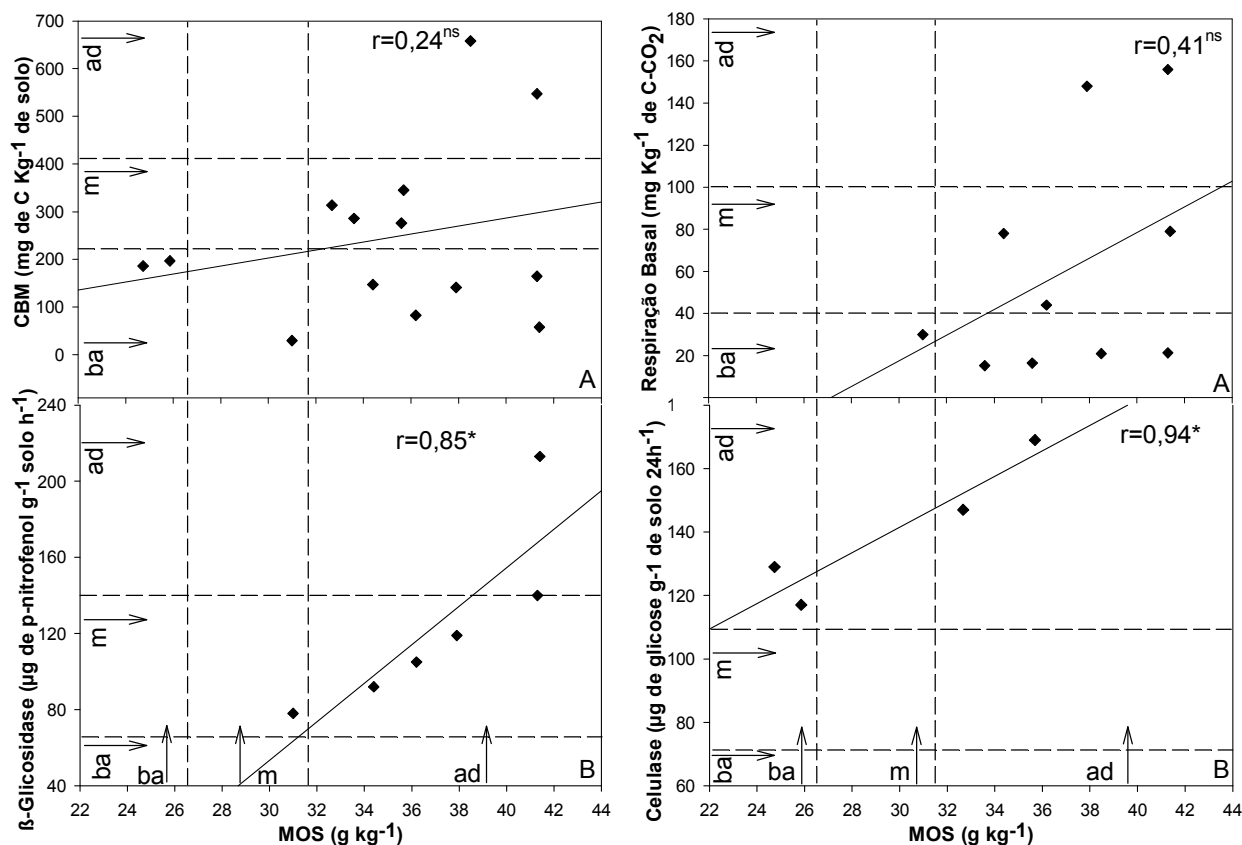


Figura 14: Relações entre os valores de carbono da biomassa microbiana (CBM) (A), respiração basal(B) e atividade das enzimas β-glicosidase(C) e celulase (D) e matéria orgânica do solo (MOS) da base de dados da região Sul. A) conjunto de 14 observações. B) conjunto de 10 observações. C) conjunto de 6 observações. D) conjunto de 4 observações.

* = $p < 0,05$; ns= não-significativo.

Obs: As linhas retas seccionadas na horizontal e na vertical correspondem às classes determinadas para o CBM, respiração basal, β-glicosidase, celulase e MOS, no estudo respectivamente. ba= baixo; m = médio; ad = adequado

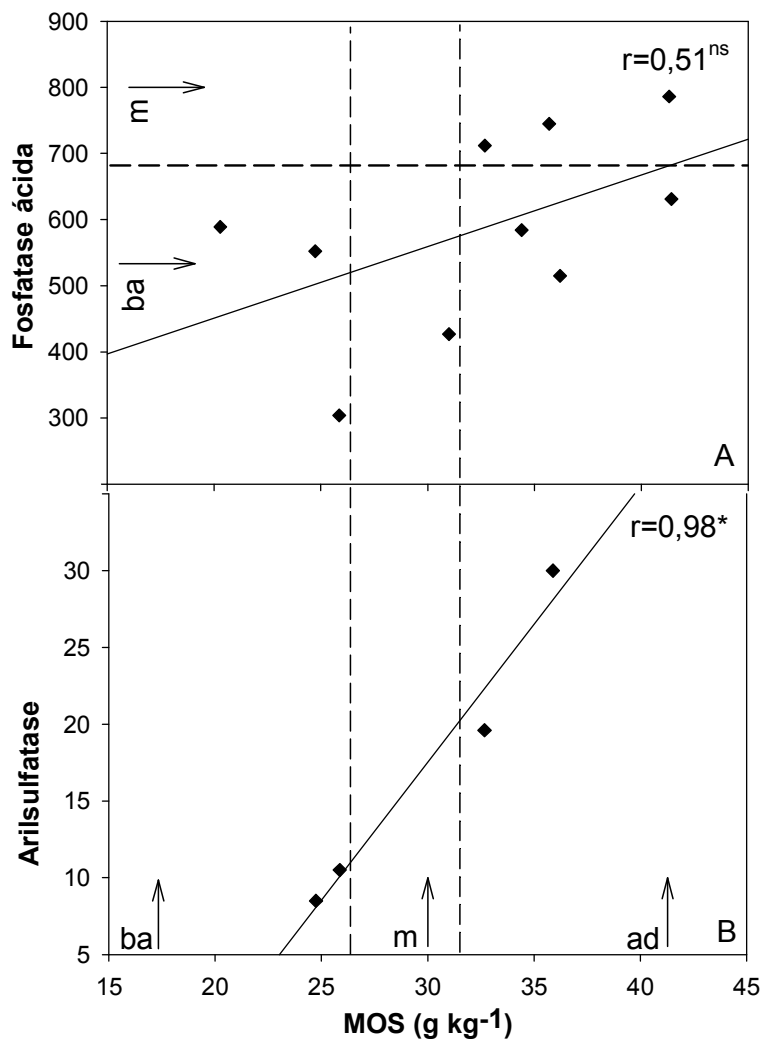


Figura 15: Relações entre os valores de atividade das enzimas fosfatase ácida ($\mu\text{g } \rho\text{-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$), arilsulfatase ($\mu\text{g } \rho\text{-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$) e (MOS) da base de dados da região Sul. A) conjunto de 10 observações. B) conjunto de 4 observações.

* = $p < 0,05$; ns= não-significativo.

Obs: As classes não foram indicados pela linha seccionada, pois os valores da enzima arilsulfatase foram abaixo do limite inferior estabelecido no estudo. ba= baixo; m = médio; ad = adequado

4. CONCLUSÕES

1. Existem correlações positivas e significativas entre os atributos microbiológicos em Latossolo Vermelho de textura argilosa e muito argilosa, cultivado com soja e milho sob plantio direto e preparo convencional do solo com o RRA e a MOS, possibilitando interpretar os valores dos atributos microbiológicos através da calibração com o RRA e a MOS.

2. Os valores de CBM e respiração basal das bases de dados das regiões do Cerrado e Sul do Brasil apresentaram baixas correlações com os valores de MOS, e também baixa similaridade com as interpretações de MOS.

3. A atividade da enzima β -glicosidase destacou-se entre os demais atributos microbiológicos através da interpretação da base de dados em função da MOS, apresentando correlações positivas e significativas com o conteúdo de MOS, tanto para região do Cerrado quanto para região Sul do Brasil, e alta similaridade com as interpretações de MOS para região do Cerrado.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta dissertação foi elaborada uma proposta para a interpretação de valores individuais de carbono da biomassa microbiana, respiração basal e atividade das enzimas β -glicosidase, celulase, arissulfatase e fosfatase ácida, em Latossolos Vermelhos de Cerrado de textura argilosa e muito argilosa, com base nas relações dos atributos microbiológicos com o rendimento relativo acumulado (RRA) de soja e milho e com os teores de MOS. Também foi desenvolvido um refinamento para a interpretação dos teores de MOS com base no RRA.

As tabelas de interpretação dos atributos microbiológicos desenvolvidas com base nessas relações foram avaliadas utilizando dados de literatura para a região dos cerrados e região sul. Nos casos onde houve dissimilaridade entre as classificações dos atributos microbiológicos com a classificação da MOS, foi possível verificar a importância não só da padronização das metodologias para determinação dos atributos microbiológicos e da MOS, mas também a influência de fatores relacionados à época, profundidade e modo de coleta das amostras de solo. Mesmo assim, apesar dessas limitações, nas duas bases de dados, as avaliações de atividade enzimática apresentaram correlação significativa com a MOS sendo que a β -glicosidase, enzima ligada à ciclagem de carbono, destacou-se entre as demais com boas chances de utilização em laboratórios comerciais de análise de solo.

Embora no presente estudo, a divisão das classes de interpretação dos valores dos atributos microbiológicos tenha sido baseada em critérios relacionados à produtividade das culturas e ao seu retorno econômico, o estabelecimento dos limites dessas classes, para o caso específico dos atributos microbiológicos, não é livre de subjetividade. Por exemplo, em estudos sobre adubação fosfatada e potássica Tisdale et al. (1984), consideraram para interpretação da análise de solo com base no rendimento relativo, os limites de <10, 10 a 40, 40 a 70 e 70 a 95%, respectivamente, para as classes de muito baixa, baixa, média e alta disponibilidade do nutriente, respectivamente. A adoção dessa divisão alteraria totalmente a interpretação dos atributos microbiológicos conforme proposto nas tabelas 8 e 9 (< 40, 41 a 80 e >80%, para as classes de baixa, média e adequada suficiência, respectivamente).

A estratégia apresentada nesse trabalho para a interpretação dos valores dos atributos microbiológicos em latossolos argilosos, não tem a pretensão de esgotar esse assunto, mas sim de ser um ponto de partida, onde a identificação de uma situação observada em condições de campo possibilitou a construção de todo um procedimento de calibração relacionando os atributos microbiológicos à produtividade das culturas e aos teores de MOS. Espera-se que à medida que a base de dados de microbiologia dos latossolos de cerrado se expanda, e novas

versões dessa tabela possam ser geradas e aprimoradas e que tabelas semelhantes possam também ser elaboradas para diferentes tipos de solo (como os solos arenosos e de textura média) e diferentes sistemas de manejo (pastagens e cultivos perenes e semi-perenes).

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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**, v.31, p.1099-1108, 2007.

BALESDENT, J. & BALABANE, M. Maize root-derived soil organic carbon estimated by natural ¹³C abundance. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 24, p. 97-101, 1992.

BALOTA, E. L.; COLOZZI FILHO, A.; ANDRADE, D. S.; DICK, R. P. Long-term tillage and crop rotation effects on microbial biomass and C and N mineralization in a Brazilian Oxisol. **Soil and Tillage Research**, v. 77, p. 137-145, 2004b.

BALOTA, E. L.; KANASHIRO, M.; COLOZZI FILHO, A.; ANDRADE, D. S.; DICK, R. P. Soil enzyme activities under long-term tillage and crop rotation systems. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 35, p. 300-306, 2004a.

BALOTA, E.L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D.S. & HUNGRIA, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 641-649, 1998.

BAYER, C.; MIELNICSUK, J. Fundamentos da matéria orgânica do solo. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2^a. ed, Porto Alegre, Metrópole, 2008, p. 7-18.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. & MARTIN-NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO₂. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 599-607, 2000c.

BERNARDON, T. **Componentes da produtividade de grãos de milho (*Zea mays* L.), visando obter parâmetros para a agricultura de precisão**. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2005. 95p. (Tese de Mestrado).

BOLINDER, M.A.; ANGERS, D.A. & DUBUC, J.P. Estimating shoot to root ratios and annual carbon inputs in soil for cereal crops. **Agriculture, Ecosystems & Environmental**, v. 63, p.61-66, 1997.

CANTARUTTI, R.B.; BARROS, N.F. de; PRIETO, H.E.; NOVAIS, R.F. Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F. de; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.769-850.

CARNEIRO, M.A.C.; ASSIS, P.C.R.; MELO, L.B. de C.; PEREIRA, H.S.; PAULINO, H.B.; SILVEIRA NETO, A.N. da. Atributos bioquímicos em dois solos cerrado sob diferentes sistemas manejo e uso. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.38, p.276-283, 2008.

CARNEIRO, R.G.; MENDES, I.C.; LOVATO, P.E.; CARVALHO, A.M.; VIVALDI, L.J. Indicadores biológicos associados ao ciclo do fósforo em solos de Cerrado sob plantio direto e plantio convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. V.39, p. 661-669, 2004.

CENCIANI, K.; FREITAS, S. S.; CRITTER, S. A. M.; AIROLDI, C. Microbial enzymatic activity and thermal effect in a tropical soil treated with organic materials. **Scientia Agricola**, v. 65, p. 674-680, 2008.

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**, v.26, p.925-930, 2002.

COSTA, F.S.; BAYER, C.; ZANATTA, J.A. & MIELNICZUK, J. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p. 323-332, 2008.

DANKE, W. C.; OLSON, R. A. Soil rest correlation, calibration and recommendation. In: WESTERMAN, R. L. (Ed.) **Soil Testing and Plant Analysis**. Madison: ASA, CSSA, and SSSA. ASA Spec. Publ., 1990. p. 47-51.

DICK, R. P.; MYROLD, D. D.; KERLE, E. A. Microbial biomass and soil enzyme activities in compacted and rehabilitated skid-trail soils. **Soil Sci. Soc L Am. J.** 52:512-516, 1988.

DICK, R.P. Soil enzymes activities as indicators of soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A., ed. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p.107-124. (Special Publication number, 35).

DORAN, J.W. Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. **Soil Science Society of America. Journal**, v.44, p.765-771. 1980.

DOYLE, J.; PAVEL, R.; BARNES, G.; STEINBERGER, Y. Cellulase dynamics in a desert soil. **Soil Biology & Biochemistry**, v.38, p. 371–376, 2006.

EKENLER, M.; TABATABAI, M. A. . Tillage and residue management effects on β -glucosaminidase activity in soils. **Soil Biology & Biochemistry**., 35, p. 871–874, 2003.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária); Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo, Rio de Janeiro, **Manual de análises de solo**. 2ª ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

ESCANO, C. R.; JONES, C. A.; UEHARA, G. Nutrient diagnosis in corn grown on Hydric Dystrandeps: I. Optimum tissue nutrient concentrations. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v.45, p.1135-1143, 1981.

GATTO, A.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S.; VILLANI, E. M. A. Comparação de métodos de determinação do carbono orgânico em solos cultivados com eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 735-740, 2009.

HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; BRANDÃO-JUNIOR, O.; KASCHUK, G.; SOUZA, R. A. Soil microbial activity and crop sustainability in a long-term experiment with three soil-tillage and two croprotation systems. **Applied Soil Ecology**, v. 42, n. 3, p. 228-296, 2009.

JACKSON, M. L. Análisis Químico de Suelos. 2ª ed. MARTINEZ, J.B. (Ed.) Trad. Barcelona, Ed. Omega S.A., 1970, 662 p.

JENKINSON, D. S.; LADD, J. N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: Paul, E.A.; Ladd J.N (eds). **Soil Biochemistry**. Marcel Dekker, 1981. p.425-471.

JENKINSON, D.S. & POWLSON, D.S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. I. Fumigation with chloroform. **Soil Biology & Biochemistry**, 8:167-177, 1976a.

JENKINSON, D.S. & POWLSON, D.S. The effect of biocidal treatments on metabolism in soil. V. A method of measuring soil biomass. **Soil Biology & Biochemistry**, 8:209-213, 1976b.

JOERGENSEN, R.G. The fumigation-extraction method to estimate soil microbial biomass: Calibration of the kec value. **Soil Biology & Biochemistry**, 28:25-31, 1995.

KUDO, A. S. ; PAULA, M. S. ; MENDES, I. C. ; REIS JUNIOR, F. B. Atividade intracelular e extracelular das enzimas β -glucosidase, fosfatase ácida e arilsulfatase em solos de cerrado sob vegetação nativa e sob cultivo. In: FERTBIO 2002 Agricultura: bases ecológicas para o desenvolvimento sustentável, 2002, Rio de Janeiro. FERTBIO 2002 Agricultura: bases ecológicas para o desenvolvimento sustentável CD ROM. Rio de Janeiro : UFRRJ, 2002.

KUSS, R.C.P.; KÖNIG, O.; DUTRA, L.M.C.; BELLÉ, R.A.; ROGGIA, S. & STURMER, G.R. Populações de plantas e estratégias de manejo de irrigação na cultura da soja. **Ciência Rural**, 38:1133-1137, 2008.

LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C. & VEZZANI, F. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:175–187, 2004.

MAIA, C. E; MORAIS, E. R. C. de; OLIVEIRA, M. de. Nível crítico pelo critério da distribuição normal reduzida: uma nova proposta para interpretação de análise foliar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande/PB, v.5, n.2, p.235-238, 2001.

MAKOI, J. H. J. R.; NDAKIDEMI. Selected soil enzymes: Examples of their potential roles in the ecosystem. **African Journal of Biotechnology** Vol. 7 (3), p. 181–191, 2008.

MARCHIORI JÚNIOR, M. & MELO, W.J. Carbono da biomassa microbiana, e atividade enzimática em um solo sob mata natural, pastagem e cultura do algodoeiro **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 257-263, 1999.

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**, v.27, p.425-433, 2003.

MENDES, I. C.; LOPES, A. A. C.; NUNES, R. S.; SOUSA, D. M. G.; FERNANDES, M. F.; REIS JUNIOR, F. B. Atributos microbiológicos em LE de cerrado com diferentes manejos de solo e fósforo. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE SOLO, 19. Mar del Plata. Anais. 2012.

MENDES, I. C.; REIS JUNIOR, F. B.; . **Uso de parâmetros microbiológicos como indicadores para avaliar a qualidade do solo e a sustentabilidade dos agroecossistemas.** Planaltina –DF. Embrapa Cerrados - (Documentos / Embrapa cerrados) p.34, 2004.

MENDES, I. C.; REIS JUNIOR, F. B.; HUNGRIA, M.; FERNANDES, M. F.; CHAER, G. M.; MERCANTE, F. M.; ZILLI, J. E. Microbiologia do solo e sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: FALEIRO, F. G.; ANDRADE, S. R. M.; REIS JUNIOR, F. B. (Eds.) **Biocologia, estado da arte e aplicações na agropecuária.** Planaltina-DF: Embrapa cerrados, 2011. p. 219-244.

NELSON, D.W.; SOMMERS, L.E. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: PAGE, A.L.; MILLER, R.H. & KEENEY, D.R., eds. Methods of soil analysis: Chemical and microbiological properties. Part 2. Madison, **Soil Science Society of America**, 1982. p.539-579.

NOGUEIRA, M. A. & MELO, W. J. Enxofre disponível para a soja e atividade da arilsulfase em solo tratado com gesso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 655-663, 2003.

NUNES, R. S.; LOPES, A. A. C.; SOUSA, D. M. G.; MENDES, I. C. Efeito de sistemas de manejo nos estoques de carbono e nitrogênio em latossolo de cerrado cultivado com sucessão soja-milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p.1407-1419, 2011.

OLIVEIRA, J.R.A.; MENDES, I.C. & VIVALDI, L. Biomassa microbiana de carbono em solos de cerrado sob vegetação nativa e sob cultivo: avaliação dos métodos fumigação-incubação e fumigação-extração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 863-871, 2001.

PEIXOTO, R. S.; CHAER, G. M.; REIS JR, F. B.; MENDES, I. C. A Decade of Land Use Contributes to Changes in the Chemistry, Biochemistry and Bacterial Community Structures of Soils in the Cerrado. **Antonie van Leeuwenhoek (Gedrukt)** v. 98, p. 403–413, 2010.

PEREIRA NETO, J. V.; MENDES, I. C. Variação das taxas de respiração e do C da biomassa microbiana, ao longo dos ciclos do milho e da soja, sob plantio direto, num Latossolo de Cerrado. In: **XVIII Congresso Brasileiro de Ciência do solo**, 2001, Londrina. Ciência do Solo: Fator de Produtividade Competitiva com Sustentabilidade. Londrina : SBCS, 2001. v. I. p. 74-74.

PEREIRA, A. A.; HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; KASCHUK, G.; CHUEIRE, L. M. O.; CAMPO, R. J.; TORRES, E. Variações qualitativas e quantitativas na microbiota do solo e na fixação biológica do nitrogênio sob diferentes manejos com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p.1397-1412, 2007.

PINTO, C. R. O; NAHAS, E. Atividade e população microbiana envolvida nas transformações do enxofre em solos com diferentes vegetações. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, p. 1751-1756, 2002.

POWLSON, D.S.; BROOKES, P.C.; CHRISTENSEN, B.T. Measurement of soil microbial biomass provides an indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. **Soil Biology & Biochemistry**, Elmsford, v.19, n.2, p.159-164, 1987.

ROSCOE, R.; MADAR, B. E.; MACHADO, P. L. O. A. Fracionamento físico do solo na obtenção de frações mensuráveis para uso em simuladores da dinâmica da matéria orgânica. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. S. (Eds) **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. p.107-132.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM (SAS). **SAS data analysis examples robust regression**. Disponível em: <http://www.ats.ucla.edu/stat/sas/dae/rreg.htm>. Acesso em: 29 de março de 2012.

SCHINNER, F.; VON MERISI, W. Xylanase-, CM-cellulase- and invertase activity in soil: an improved method. **Soil Biology & Biochemistry** 22, 511±515, 1990.

SILVA, L. G. **Uso e monitoramento de indicadores microbiológicos para avaliação de qualidade dos solos de cerrado sob diferentes agroecossistemas**. Tese (Mestrado). 2008. 137p. Universidade de Brasília, Brasília.

SILVA, L. G.; MENDES, I. C.; REIS JUNIOR, F. B.; FERNANDES, M. F.; MELO, J. T.; KATO, E. Atributos químicos, físicos e biológicos de um latossolo de cerrado sob plantio de espécies florestais. Planaltina-DF: Embrapa Cerrados, 2009 (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 256).

SILVA, R.R.; SILVA, M.L.N.; CARDOSO, E.L.; MOREIRA, F.M.S.; CURI, N. e ALOVISI, A.M.T. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica Campos das Vertentes – MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.1585-1592, 2010.

SILVEIRA, A. O. **Atividades enzimáticas como indicadores biológicos da qualidade de solos agrícolas do Rio Grande do Sul**. Dissertação (Mestrado). 2007. 94 p. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SMITH, H. W.; WELDON, M. D. A comparison of some methods for the determination of soil organic matter. **Soil Science Society of America. Journal**. v.5,p.177-182, 1941.

SMITH, J. L.; PAUL, E. A. The significance of soil microbial biomass estimations. p. 357-396. In J. M. Bollag, & G. Stotzky, (Eds.). **Soil Biochemistry**.1990, Vol. 6. Marcel Dekker, New York. 367 p.

SOUSA, D. M. G. e LOBATO, E. ed. Cerrado: Correção do solo e adubação. 2ª ed. Planaltina, Embrapa Cerrados, 2004. 416p.

SOUSA, D.M.G. & LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado. Piracicaba, **Potafos**, 2003. 16p. (Informações Agronômicas, 102).

SOUSA, D.M.G.; REIN, T.A.; GOEDERT, W.J.; LOBATO, E. & NUNES, R.S. Fósforo. In: PROCHNOW, L.I.; CASARIN, V. & STIPP, S.R., eds. **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: Nutrientes**. Piracicaba, IPNI, 2010. v.2. p.67-132.

SOUZA, C. A.; REIS JR, F. B.; MEDNES, I. C.; LEMAINSKI, J. SILVA, J. E. Lodo de esgoto em atributos biológicos do solo e na nodulação e produção de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.1319-1327, 2009.

SOUZA, E.D.; CARNEIRO, M.A.C.; PAULINO, H.B.; SILVA, C.A. & BUZETTI, S. Alterações nas frações do C em um Neossolo Quartzarênico submetido a diferentes sistemas de uso do solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 28, p. 323-329, 2006.

SOUZA, L. M. **Atributos químicos, físicos e biológicos, estrutura de comunidades bacterianas e qualidade de solos de cerrado sob plantio direto e preparo convencional**. Dissertação (Mestrado). 2011. 183 p. Universidade de Brasília, Brasília.

STOTT, D.; ANDREWS, S. S.; LIEBIG, M. A.; WIENHOLD, B. J.; KARLEN, D. L. Evaluation of β -Glucosidase Activity as a Soil Quality Indicator for the Soil Management Assessment Framework. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 74: 107-119, 2010.

TABATABAI, M.A.. Soil enzymes. In: Weaver, R.W.; Angle, S.; Bottomley, P.S.; Bezdicek, D.; Smith, S.; Tabatabai, A.; Wollum, A. (ed.) **Methods of Soil Analysis**. Part 2: Microbiological and Biochemical Properties. Inc. Madison: **Soil Science Society of America**. 1994. p. 778-833.

TISDALE, S.L.; NELSON, W.L. & BEATON, J.D. Soil and fertilizer nitrogen. In: TISDALE, S.L.; NELSON, W.L. & BEATON, J.D., eds. **Soil fertility and fertilizers**. 4.ed. New York, Macmillan Publishing, 1984. p.112-183.

TÓTOLA, M.R.; CHAER, G.M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. In: ALVAREZ, V.H; SCHAEFER, C.E.G.R; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V.; COSTA, L.M. (eds) **Tópicos em Ciência do Solo, Vol. 2**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.195-276, 2002.

VANCE, E.D.; BROOKES, P.C. & JENKINSON, D.S. Na extraction method for measuring soil microbial biomass. **Soil Biology & Biochemistry**., 19:703-707, 1987.

VERSTRAETE, W & VOETS, J. P. Soil microbial and biochemical characteristics in relation to soil management and fertility. **Soil Biology & Biochemistry**., 9:253-258, 1977.

WALKLEY, A. & BLACK, I.A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**. v. 37, p. 29-38, 1934.

WALKLEY, A. A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soils: Effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. **Soil Science**. v. 63, p. 251-263, 1947.

YAO, T.; YANG, X.; ZHAO, F. WANG, Z.; ZHANG, Q.; JUPP, D.; LOVELL, J.; CULVENOR, D. NEWNHAM, G.; NI-MEISTER, W.; SCHAAF, C. WOODCOCK, C.; WANG, J.; LI, X.; STRAHLER, A. Measuring forest structure and biomass in New England forest stands using Echidna ground-based lidar. **Remote Sensing of Environment**, 2011.

YUSTE, J. C.; BALDOCCHI, D. D.; GERSHENSON, A.; GOLDSTEIN, A.; MISSON, L.; WONG, S. Microbial soil respiration and its dependency on carbon inputs, soil temperature and moisture. **Global Change Biology**, 13, p.1-18, 2007.