

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS**  
**CAMPUS JATAÍ**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**ÍNDICE DE QUALIDADE DE UM PLINTOSSOLO  
ARGILÚVICO PARA FINS AGRÍCOLAS NO CERRADO  
DO SUDOESTE DE GOIÁS**

**Jonathan Goularte Silva**

Engenheiro Florestal

JATAÍ – GOIÁS – BRASIL

Outubro de 2010

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS**  
**CAMPUS JATAÍ**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**ÍNDICE DE QUALIDADE DE UM PLINTOSSOLO  
ARGILÚVICO PARA FINS AGRÍCOLAS NO CERRADO  
DO SUDOESTE DE GOIÁS**

**Jonathan Goularte Silva**

Engenheiro Florestal

Orientador: Prof. Dr. Hildeu Ferreira da Assunção

Co - Orientador: Prof. Dr. Edésio Fialho dos Reis

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal de Goiás –  
UFG, Campus Jataí, como parte  
das exigências para a obtenção do  
título de Mestre em Agronomia  
(Produção Vegetal).

JATAÍ – GOIÁS – BRASIL

Outubro de 2010

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação na (CIP)  
BSCAJ/UFG**

S586i Silva, Jonathan Goularte.  
Índice de qualidade de um plintossolo argilúvico para  
fins agrícolas no cerrado do sudoeste de Goiás / Jonathan  
Goularte Silva. - 2010.  
78 f..

Orientador: Prof. Dr. Hildeu Ferreira da Assunção ; Co-  
orientador: Edésio Fialho dos Reis  
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás,  
Campus Jataí, 2010.  
Apêndices.

1. Solos 2. Plintossolo 3. Solo-Controle de qualidade

CDU: 631.4

**JONATHAN GOULARTE SILVA**

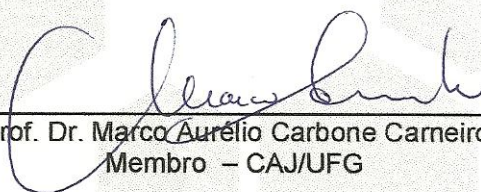
**TÍTULO: “ÍNDICE DE QUALIDADE DE UM PLINTOSSOLO ARGILÚVICO  
PARA FINS AGRÍCOLAS NO CERRADO DO SUDOESTE DO ESTADO DE  
GOIÁS”**

Dissertação DEFENDIDA e APROVADA em 01 de outubro de 2010, pela  
Banca Examinadora constituída pelos membros:



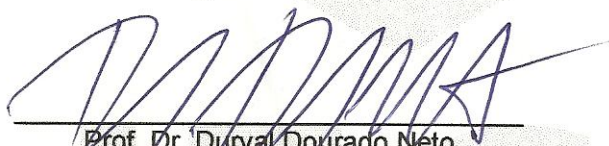
---

Prof. Dr. Hildeu Ferreira da Assunção  
Presidente – CAJ/UFG



---

Prof. Dr. Marco Aurélio Carbone Carneiro  
Membro – CAJ/UFG



---

Prof. Dr. Durval Dourado Neto  
Membro Externo – ESALQ/SP

Jataí - Goiás  
Brasil

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

JONATHAN GOULARTE SILVA - filho de Isailda Goularte Silva e Paulistônio Machado Silva, nascido em Mineiros (GO), em 13 de Agosto de 1985. Concluiu o primeiro grau no Colégio Estadual Polivalente Antônio Carlos Paniago, na cidade de Mineiros (GO), em 1999 e o ensino médio no Colégio Estadual Deputado José Alves de Assis, também em Mineiros (GO), no ano de 2002. Em fevereiro de 2003, ingressou na Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior (FIMES), atualmente mantenedora das Faculdades Integradas de Mineiros, graduando-se em Engenharia Florestal no ano de 2007.

Ingressou no Mestrado em Agronomia, área de concentração: Produção Vegetal, em Agosto de 2008, na Universidade Federal de Goiás - Campus Jataí. Atualmente é professor da instituição em que se graduou, com disciplinas voltadas para a área florestal.

“O árvore que dá frutos é a que mais leva pedrada.”  
(Autor Desconhecido)

Aos meus pais, Isailda e Paulistônio, em especial à minha mãe pelo enorme companheirismo e encorajamento nas horas difíceis.

À minha sobrinha Bianca que acaba de nascer e que desde já preenche a vida de todos ao seu redor de alegria e esperança.

À minha noiva Betânia,

Pelo amor, carinho, companheirismo e incentivos

**OFEREÇO E DEDICO**

## **AGRADEÇO**

Antes de mais nada a Deus, por ter me dado forças para sempre seguir o meu caminho.

À minha mãe, Isailda Goularte Silva, pelo apoio e por sempre acreditar em mim.

À minha noiva, Betânia Sousa Silva, pelo incentivo e por me aturar nos momentos mais difíceis.

Ao meu orientador, Professor Dr. Hildeu Ferreira da Assunção, pelas orientações e conselhos no decorrer deste meu trabalho e pelo meu aprendizado.

Ao professor Dr. Marco Aurélio Carbone Carneiro, que embora tenha usado palavras duras e rígidas, sempre me ajudou e fez com que me dedicasse cada vez mais às minhas responsabilidades para com o programa.

À professora Luzia, pela identificação da flora das áreas estudadas.

Aos meus amigos, Aurélio Rúbio Neto, Lucielle Januário de Oliveira, Luciene Barcelos e Raquel Carvalho pelos momentos de amizade e incontáveis ajudas e apoio.

## SUMÁRIO

1. Introdução .....	1
2. Revisão de Literatura .....	4
2.1. Bioma Cerrado.....	4
2.2. Covais (Campo de Murundus) .....	5
2.3. Plintossolo Argilúvico .....	7
2.4. Indicadores de Qualidade do Solo .....	8
2.4.1. Indicadores físicos de qualidade do solo .....	10
2.4.2. Indicadores químicos de qualidade do solo .....	11
2.4.3. Indicadores biológicos de qualidade do solo .....	12
2.4.4. Indicadores visuais de qualidade do solo .....	14
2.5. Determinação de Índices de Qualidade do Solo .....	15
3. Material e Métodos.....	18
3.1. Caracterização da Área de Estudo .....	18
3.2. Análises Químicas, Físicas e Biológicas do Solo.....	20
3.3. Amostragem de Espécies Vegetais .....	21
3.4. Determinação dos Índices de Qualidade dos Solos.....	23
3.5. Análises Estatísticas .....	26
4. Resultados e Discussão.....	29
4.1. Caracterização dos Indivíduos Vegetais.....	29
4.2. Análise de Variáveis Canônicas e Análise de Contribuição Relativa dos caracteres para Diversidade, Segundo o Critério de Singh (1981) .....	30
4.2.1. Permitir a entrada de água (PEA).....	30
4.2.2. Facilitar o movimento e a disponibilidade de água (FMDA).....	33
4.2.3. Resistir à degradação estrutural (RDE) .....	36
4.2.4. Produção de biomassa (PB) .....	38
4.3. Índices de Qualidade do Solo (IQS).....	42

4.4. Correlação das ervas infestantes com as variáveis químicas, físicas e biológicas.....	43
5. Conclusões .....	45
6. Referências Bibliográficas.....	46
APÊNDICES.....	59

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Covais (Campo de Murundus). a) Morrotes em áreas de covais; b) flora existente em áreas de covais. ....	6
Figura 2: Plintossolo Argilúvico. a) estrutura de um plintossolo; b) coloração de um plintossolo. ....	8
Figura 3: Localização da área de estudo, Fazenda Boa Vista. P0: Área natural; P1: Área 2; P2: Área 3; e P3: Área 4.....	18
Figura 4: Amostrador de madeira utilizado para a avaliação de gramíneas e espécies de ervas-daninhas. a) amostragem de gramíneas; b) amostragem de espécies infestantes.....	22
Figura 5: Curva de pontuação padronizada, do tipo "mais é melhor", para a característica CTC (LI - Limite inferior; LB - Linha-base; e LS - Limite superior) .....	26
Figura 6: Curva de pontuação padronizada para a variável diâmetro médio geométrico.....	31
Figura 7: Análise de variáveis canônicas para a habilidade de Permitir a Entrada de Água, com as áreas agrupadas através do método de otimização de Tocher. 1. Área natural; 2. Área sob 6 anos de intervenção; 3. Área sob 10 anos de intervenção; 4. Área sob 15 anos de intervenção.....	33
Figura 8: Análise de variáveis canônicas para a habilidade de Facilitar o Movimento e a Disponibilidade de Água, com as áreas agrupadas através do método de otimização de Tocher. 1. Área natural; 2. Área sob 6 anos de intervenção; 3. Área sob 10 anos de intervenção; 4. Área sob 15 anos de intervenção.....	35
Figura 9: Análise de variáveis canônicas para a habilidade de Facilitar o Movimento e a Disponibilidade de Água, com as áreas agrupadas através do método de otimização de Tocher. 1. Área natural; 2. Área sob 6 anos de	

intervenção; 3. Área sob 10 anos de intervenção; 4. Área sob 15 anos de intervenção..... 38

Figura 10: Análise de variáveis canônicas para a habilidade de Produção de Biomassa, com as áreas agrupadas através do método de otimização de Tocher. 1. Área natural; 2. Área sob 6 anos de intervenção; 3. Área sob 10 anos de intervenção; 4. Área sob 15 anos de intervenção..... 41

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Indicadores utilizados em programas de monitoramento de qualidade do solo da comunidade europeia .....	13
Tabela 2: Agrupamento das variáveis avaliadas de acordo com as habilidades do solo.....	28
Tabela 3: Relação das espécies botânicas encontradas nas áreas de 10 e 15 anos de intervenção antrópica .....	29
Tabela 4: Medidas de similaridade de Jaccard, Nei e Li e de Coincidência Simples, entre as áreas 3, 4 e natural.....	30
Tabela 5: Importância Relativa para a contribuição da diversidade (peso t), avaliada pelo critério de Singh (1981), baseado na distância generalizada de Mahalanobis, para a habilidade de “Permitir a Entrada de Água”.....	30
Tabela 6: Índices de qualidade do solo para a habilidade de “Permitir a Entrada de Água”.....	32
Tabela 7: Importância Relativa para a contribuição da diversidade (peso t), avaliada pelo critério de Singh (1981), baseado na distância generalizada de Mahalanobis, para a habilidade de “Facilitar o Movimento e a Disponibilidade de Água”.....	34
Tabela 8: Índices de qualidade do solo para a habilidade de “Facilitar o Movimento e a Disponibilidade de Água”.....	35
Tabela 9: Importância Relativa para a contribuição da diversidade (peso t), avaliada pelo critério de Singh (1981), baseado na distância generalizada de Mahalanobis, para a habilidade de “Resistir à Degradação Estrutural”.....	36
Tabela 10: Índices de qualidade do solo para a habilidade de “Resistir à Degradação Estrutural”.....	37

Tabela 11: Importância Relativa para a contribuição da diversidade (peso t), avaliada pelo critério de Singh (1981), baseado na distância generalizada de Mahalanobis, para a habilidade de “Produção de Biomassa”. .....	39
Tabela 12: Índices de qualidade do solo para a habilidade de “Produção de Biomassa”. .....	40
Tabela 13: Pontuações obtidas para cada uma das habilidades do solo e os IQS's para cada uma das áreas de estudo. (1) área natural, (2) 6 anos de intervenção antrópica, (3) 10 anos de intervenção antrópica e (4) 15 anos de intervenção antrópica. ....	42

SILVA, Jonathan Goularte. **Índice de qualidade de um plintossolo argilúvico para fins agrícolas no cerrado do sudoeste de Goiás**

Jataí: UFG, 2010.

(Dissertação – Mestrado – Agronomia – Produção Vegetal)

**RESUMO** – A qualidade do solo é um conceito amplo que se refere ao equilíbrio entre os condicionantes químicos, físicos e biológicos do solo. Para a sua avaliação tem sido postulada a necessidade de identificar parâmetros do seu estado de conservação e/ou degradação. O objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade de solos de áreas de covais sobre vegetação nativa e em diferentes estágios de intervenção antrópica sob sistema de manejo de plantio direto. A coleta de amostras do solo foi realizada em setembro de 2009, na Fazenda Boa Vista, Jataí-GO. Para cada uma das áreas foi sorteada uma parcela de 1 ha, onde dentro de cada uma foram retiradas amostras de solo, da camada inicial de 0-10 cm. Foi realizado um levantamento fitossociológico nos covais que sofreram amostragem de solo e nas regiões localizadas embaixo dos morrotes. Para a amostragem das gramíneas e das ervas-daninhas nas demais áreas foi utilizado um amostrador de madeira, com dimensões de 0,5 X 0,5 m. Para proceder à modelagem do índice de qualidade do solo foram feitas amostragens de solo para a determinação de variáveis químicas, físicas e microbiológicas. A determinação dos índices de qualidade do solo foi feita utilizando o modelo aditivo de curvas logísticas de pontuação padronizada proposto por Karlen e Stott (1994). As variáveis estudadas foram agrupadas de acordo com cada uma das habilidades do solo e em seguida, elas foram submetidas à análise de Variáveis Canônicas e também a análise de contribuição relativa dos caracteres para diversidade, segundo o critério de Singh (1981), baseado na distância generalizada de Mahalanobis. Os índices de qualidade do solo para as áreas natural e sob 15 anos de intervenção antrópica foram estatisticamente semelhantes entre si, 0,70502 e 0,63352 respectivamente, e diferiram das demais áreas, que também diferiram entre si, com a área sob 10 anos de intervenção apresentando um índice de 0,38985 e a área sob 6 anos de intervenção antrópica um índice de 0,16729. O modelo não se mostrou eficiente para avaliar a “produção de biomassa” entre áreas agrícolas e naturais.

**Palavras-chave:** Índice de qualidade do solo; Indicadores visuais; Análise multivariada

## ABSTRACT

Soil quality is a wide concept that refers to chemical, physical and biological determinants. To evaluate it there was postulated the need of identifying its parameters status of conservation and/or degradation. The aim of this work was to evaluate soil quality of coval area on native vegetation and in different apprenticeships of antropic intervention system of handling of direct planting. Sample collecting was done in September 2009, Boa Vista Farm in Jataí, Goiás State. For each sample area, was randomized one hectare parcel, within each parcel was collect soil samples, from 0-10 cm layer. Phytossociological survey was carried out in coval area and in the regions located under the coval. For grass and herbs sampling, it was used a wood structure 0,5 m x 0,5m dimension, for randomizing the samples. To achieve the soil quality modelling index, soil sampling was done to determine chemical, physical and microbiological variables. The soil quality index calculation was carried out using a logistic standardized additive curve model of data normalization proposed by Karlen & Stott (1994). The studied variables were grouped according to each one soil ability and following, they were submitted to Canonical Variable Analyses and also to relative contribution of diversity character, according to Singh (1981) criterion, based on generalized Mahalanobis distance. The soil quality index were in area under 15 years of antropic intervention and the natural coval area showed non significant difference between them, 0,70502 and 0,63352 respectively, and differed from other areas, wich also differ with the area under 10 years of antropic intervention, showing a rate of 0,38985 and the area under 6 years of antropic intervention an index of 0,16729. The model was not efficient to evaluate the "biomass" between agricultural and natural areas.

**Keywords: Soil Quality Index, Visual descriptors, Multivariate Analysis**

## 1. Introdução

O Brasil ocupa o primeiro lugar dentre os países detentores de megadiversidade; possui entre 15 e 20% do total de espécies da Terra; dispõe da flora de maior diversidade, com 20 a 22% do número total de espécies de plantas; conta com cerca de 10% dos anfíbios e mamíferos; e 17% das aves do planeta. Essa riqueza potencial já representa para o país, em forma de uso direto, 45% do PIB (agroindústria, florestas e pescado), 31% das exportações, 30% da matriz energética, além de constituir um campo aberto para os avanços da biotecnologia (MMA, 1998).

O Cerrado é o segundo maior Bioma da América do Sul, perdendo em tamanho somente para a Floresta Amazônica. Ocupa quase 25% do Brasil e é também o mais brasileiro dos biomas sul-americanos, pois, excetuando algumas pequenas áreas na Bolívia e no Paraguai, está totalmente inserido no território nacional (Sano e Almeida, 1998; Proença et al., 2000). Segundo Pires (1999), é a maior savana em um único país.

Geologicamente, é o mais antigo bioma formado na Terra, o que o leva a ser o mais rico em biodiversidade do mundo e o mais ameaçado, uma vez que já atingiu seu clímax ecológico, logo, é incapaz de se recuperar à plenitude de sua biodiversidade original (Barbosa, 2002). Para agravar a situação, sua biodiversidade riquíssima só agora, quando beira à extinção, começa a ser conhecida (Proença et al., 2000).

Os subsistemas do bioma Cerrado praticamente não existe mais em sua plenitude populacional de biodiversidade, restando: 0,5% dos Campos, 1% do Cerrado *Sensu strictu*, 15% das Matas de Galeria e 34% das Veredas (o Cerradão praticamente foi extinto, uma vez 99,9% da sua área já foi destruída).

Uma das fitofisionomias do Cerrado é conhecida como campo de murundus, também conhecidos regionalmente como covais, e são importantes áreas de recarga de lençol freático. Na cidade de Jataí-GO, estas áreas ocupavam 9.680.000 m<sup>2</sup>, com uma capacidade de recarga em torno de 1.452.000 m<sup>3</sup> de água, varias vezes ao ano, durante o período de chuva.

Nos últimos 30 anos, a progressiva mecanização da lavoura e a facilidade de limpar e adubar o solo gerou uma devastação acelerada da

vegetação nativa (Alho e Martins, 1995; Pires, 1999). A rápida degradação do solo pela exploração agrícola no mundo despertou nas últimas décadas a preocupação com a qualidade do solo e a sustentabilidade da exploração agrícola.

A qualidade do solo é um conceito amplo que se refere ao equilíbrio entre os atributos químicos, físicos e biológicos do solo. Para a sua avaliação tem sido postulada a necessidade de identificar parâmetros do seu estado de conservação e/ou degradação (Oliveira et al., 2007).

Doran et al. (1996) define qualidade do solo como a capacidade do solo funcionar dentro dos limites do ecossistema; sustentar a produtividade biológica; manter a qualidade ambiental e promover a saúde vegetal e animal.

A avaliação da qualidade por meio de atributos do solo é bastante complexa devido à grande diversidade de usos, à multiplicidade de inter-relações entre fatores físicos, químicos e biológicos do solo que controlam os processos e aos aspectos relacionados à sua variação no tempo e no espaço.

O solo é um recurso vital tanto para a produção de alimentos e fibras quanto para o funcionamento global dos ecossistemas, cuja função depende de atributos físicos (armazenar solução do solo), de atributos químicos (suprir as plantas com solução nutritiva) e de atributos biológicos (reciclar os nutrientes). Tais atributos não podem ser medidos diretamente, devem ser selecionados indicadores mensuráveis de qualidade do solo que os substituam. Por exemplo, como indicadores físicos: temperatura, densidade, porosidade, agregação e capacidade de armazenamento de água (CAD); como indicadores químicos: teores de fósforo e nitrogênio, matéria orgânica do solo, fósforo orgânico, CTC, pH; como indicadores biológicos: biodiversidade da fauna edáfica, atividade enzimática do solo, carbono e nitrogênio da biomassa microbiana, quociente metabólico e taxa de mineralização de nitrogênio.

Com base na definição das funções e dos atributos da qualidade do solo, vários autores têm sugerido alternativas para a avaliação global de um conjunto de indicadores de qualidade do solo, como por exemplo, a utilização de indicadores de qualidade para a construção de modelos para determinação de índices de qualidade do solo (Tótola e Chaer, 2002). Assim, a soma dos efeitos dos atributos selecionados (quantificados pelos seus respectivos

indicadores), que são determinantes da qualidade do solo de um dado ambiente, é expressa no índice de qualidade (Burger e Kelting, 1999).

Logo, o efeito de sistemas de produção sobre a produção do solo pode ser avaliado pelo efeito de curvas de pontuação padronizadas, propostas no modelo de Karlen e Stott (1994), semelhantes a curvas de suficiência.

Sendo assim, este trabalho tem como objetivo avaliar a qualidade de um Plintossolo Háplico através de uma série de atributos químicos, físicos e biológicos do solo em uma cronosequência de cultivo.

## 2. Revisão de Literatura

### 2.1. Bioma Cerrado

O Cerrado brasileiro ocupava, de aproximadamente uns 6 mil anos até o presente, uma área de aproximadamente 2 milhões de km<sup>2</sup>. Os cálculos do tamanho ocupado pelo Cerrado no território brasileiro variam bastante e dependem basicamente da inclusão ou não das áreas de transição existentes nas bordas da área central do bioma. De acordo com o mapa de vegetação do Brasil (IBGE, 1993), as áreas de transição ou de tensão ecológica representam aquelas regiões onde há uma mistura de elementos florísticos entre duas regiões adjacentes. Tal situação é em parte devida aos processos históricos de contração e expansão dos ecossistemas brasileiros, dinâmica essa que foi resultante das mudanças climáticas do passado (Whitmore e Prance 1987; Prado e Gibbs 1993; Oliveira-Filho e Ratter 1995; Silva 1995).

A riqueza de espécies, um dos parâmetros utilizados para mensurações e comparações da biodiversidade entre regiões, varia ao longo do tempo e do espaço e, mesmo considerando o desaparecimento de conjuntos de espécies, a biodiversidade do Cerrado ainda é bastante expressiva. Dados reunidos de vários autores sugerem que, dependendo do grupo taxonômico considerado, a porcentagem de espécies brasileiras que ocorrem no Cerrado pode representar algo entre 20 e 50%. Além dessa expressiva representação, a biodiversidade do Cerrado possui um significativo número de endemismos para vários grupos de animais e plantas (Machado et al., 2004).

Para alguns grupos, como as plantas herbáceas, o nível de endemismo pode chegar a mais de 70%, como é o caso das espécies da família Velloziaceae associadas aos campos rupestres (Filgueiras, 2002). No caso dos répteis, o nível de endemismo pode chegar a 38% do total de espécies (Colli et al. 2002).

A grande diversidade de espécies de animais e plantas do Cerrado está associada com a não menos desprezível diversidade de ambientes. Enquanto que a estratificação vertical (existência de várias 'camadas' de ambientes) da

Amazônia ou a Mata Atlântica proporciona oportunidades diversas para o estabelecimento das espécies, no Cerrado a heterogeneidade espacial (a variação dos ecossistemas ao longo do espaço) seria um fator determinante para a ocorrência de um variado número de espécies. Os ambientes do Cerrado variam significativamente no sentido horizontal, sendo que áreas campestres, capões de mata, florestas e áreas brejosas podem existir em uma mesma região (Machado e al., 2004).

Com toda essa variação de ambientes, as espécies de animais e plantas apresentam uma grande associação com os ecossistemas locais, podendo ser encontrados vários exemplos de espécies muito ligadas aos ambientes naturais (Machado et al., 2004).

## **2.2. Covais (Campo de Murundus)**

Os covais ou campo de murundus é uma das fitofisionomias do Cerrado brasileiro, caracterizados por pequenas elevações, montículos ou morrotes, de 0,50 m a mais de 2 metros de altura, por 5 a 10 metros de diâmetro, que ocorrem em chapadas totalmente planas, em grande quantidade, cobrindo áreas de mil hectares ou mais, e são importantíssimas áreas de recarga do lençol freático (Figura 1). Esta fitofisionomia caracteriza-se por apresentar uma área inundável no período chuvoso, onde estão inseridos incontáveis microrrelevos ou morrotes (murundus) de terra cobertos por vegetação arbustiva típica de cerrado (Oliveira-Filho e Furley, 1990).

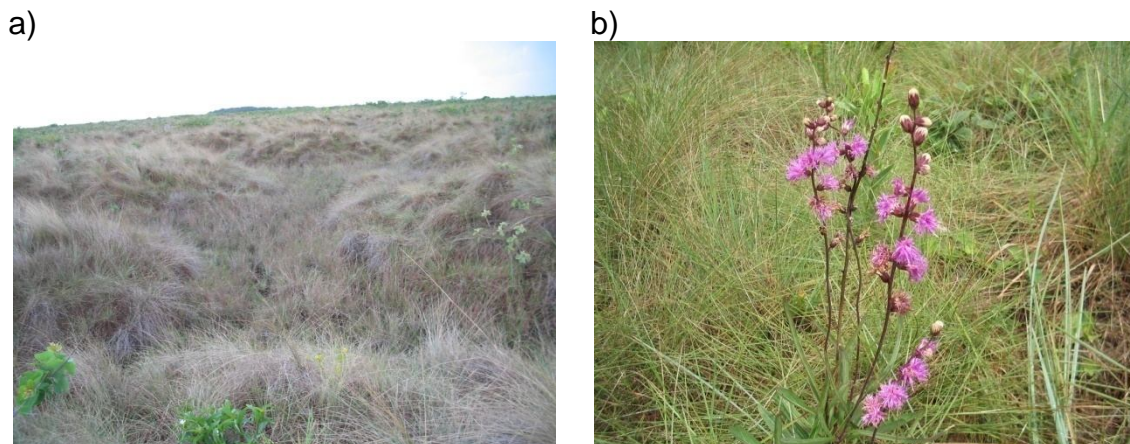


Figura 1: Covais (Campo de Murundus). a) Morrotes em áreas de covais; b) flora existente em áreas de covais.

Fonte: Hildeu Ferreira da Assunção.

A topografia da parte central dos covais é levemente côncava e nas bordas apresentam diferença de nível abrupta em relação ao campo, cerca de 1,0 - 1,20 m de altura, em relação ao campo graminoso inundável. A origem desse tipo de superfície encalombada tem intrigado muitos curiosos. Muitos autores associam a atividade dos cupins à origem dos murundus.

Sua composição florística está intimamente relacionada com a flora do cerrado e as espécies características são: *Curatella americana* L., *Andira cuyabensis* Benth., *Simarouba versicolor* St. Hil, *Tabebuia aurea* (Manso) B.& H. ex S. Moore, entre outras. Somente o campo ao redor dos montes de terras é que apresentam uma lamina de água variável (de saturado até cerca de 20 cm) durante o período das chuvas. O campo de murundus apresenta uma vegetação graminosa, baixa e tem como espécies características poáceas *Paratheria prostrata* Grisibag e *Setaria geniculata* (Lam.) Beauv.

Esses campos, nitidamente dependentes do regime pluvial, possuem grande importância para a conservação da água de superfície e da biodiversidade, por estarem diretamente ligados aos cursos d'água formadores das bacias hidrográficas, como também por abrigar numerosas espécies florísticas e faunísticas do cerrado brasileiro. Está associado às drenagens, por serem áreas de recargas das bacias hidrográficas. Suas condições de drenagem condicionam a boa aeração do solo, favorecendo a propagação de espécies arbóreas oriundas dos cerrados nas vizinhanças, sendo que os

térmitas (cupins) podem desempenhar um papel importante na formação destes campos.

Devido à sua importância e por ser um dos ambientes mais ameaçados do Cerrado, de acordo com a Lei nº 16.153, de 26 de Outubro de 2007, os campos de murundus, conhecimentos regionalmente como covais, são considerados como áreas de preservação permanente, para fins de licenciamento ambiental.

### **2.3. Plintossolo Argilúvico**

Os plintossolos argilúvicos são característicos das áreas de covais da região sudoeste do estado de Goiás.

Os plintossolos são solos constituídos por material mineral apresentando horizonte plíntico ou litoplíntico a partir de 40 cm ou dentro de 200 cm quando localizado logo abaixo do horizonte A ou E, ou de outro horizonte que apresente cores mais pálidas (EMBRAPA, 2006).

A plintita é constituída de uma mistura de material de argila com grãos de quartzo, pobre em carbono e rica em Fe, dando uma coloração avermelhada ao solo (Figura 2), e que, sobre o efeito de vários ciclos de umedecimento e secagem, este material se consolida de forma irreversível (Oliveira, 2001). Sua formação está diretamente relacionada com a segregação, mobilização, transporte e concentração de íons e compostos de ferro.

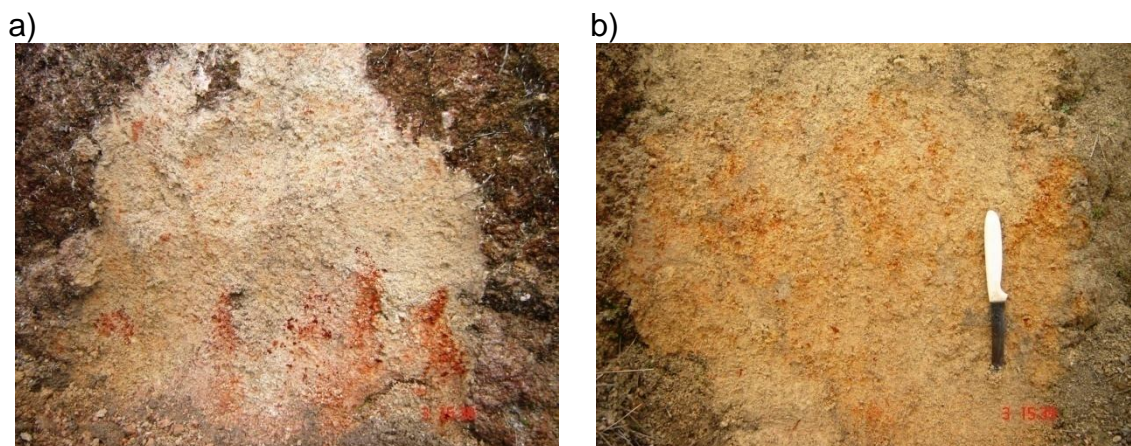


Figura 2: Plintossolo Argilúvico. a) estrutura de um plintossolo; b) coloração de um plintossolo.

Fonte: Luciene Barcelos

Este tipo de solo é formado com condições de restrição à percolação da água, passando por períodos temporários com excesso de umidade, que tem como conseqüência a formação de um horizonte plíntico (EMBRAPA, 2006). Provavelmente, devido à existência de um lençol freático mais superficial em certos períodos do ano ou devido aos materiais de texturas argilosas causam um impedimento à livre drenagem destes solos (Anjos et al., 2007).

#### 2.4. Indicadores de Qualidade do Solo

A conscientização de que o solo é um recurso não renovável e vital para a manutenção da vida, tem aumentado o interesse pelo tema “qualidade dos solos” (Doran et al., 1996).

Os processos de degradação do solo, segundo Doran (1997), só têm chamado a atenção do homem recentemente, sendo considerada uma das quatro maiores preocupações ecológicas no mundo atualmente.

O conceito de qualidade do solo pode ser definido como “a capacidade de um solo funcionar como sustento para a produtividade de plantas e de animais, de manter ou aumentar a qualidade da água e do ar e de promover a saúde humana” (Doran e Parkin, 1994). Larson e Pierce (1991) têm o conceito mais simplificado de qualidade do solo, sendo apenas de “apto ao uso”. Johnson et al. (1997), definiram qualidade do solo como sendo a condição

relativa do solo aos requerimentos de uma ou mais espécies biológicas e/ou de algum propósito humano.

Entender e conhecer a qualidade do solo possibilita manejá-lo de maneira que ele funcione de forma ótima, podendo determinar, através do monitoramento das mudanças em seus atributos, podendo determinar se um conjunto de práticas e uso é sustentável (Tótola e Chaer, 2002).

O solo é um sistema complexo, onde estão interagindo vários processos químicos, físicos e biológicos do solo, sendo estes de natureza diferentes e, em alguns casos, de difícil medição. Tais processos combinados com a definição de qualidade do solo pode-se compreender a dificuldade de mensuração desse complexo sistema (Kelting et al., 1999).

Algumas funções do solo, tais como, promover o crescimento de raízes, receber e armazenar água, promover trocas gasosas, promover atividades biológicas, entre outras, estão relacionadas com os atributos do solo, podendo ser resumidos e expressados através de seus atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Por exemplo, a capacidade que um solo tem de armazenar, ciclar e fornecer nutrientes está relacionado com atributos químicos, como a capacidade de troca catiônica (CTC), com atributos biológicos, através da ciclagem de nutrientes, e também com os atributos físicos, influenciados pela proporção de areia, de silte e argila. Assim, são utilizados indicadores, como temperatura do solo, taxa de mineralização de nitrogênio, que são substitutos mensuráveis dos atributos do solo (Tótola e Chaer, 2002).

Quando se tem apenas um indicador, segundo Stenberg (1999), este não irá descrever e quantificar todas as características da qualidade do solo. Para tal, este autor resumiu em cinco os critérios para seleção de indicadores, que são:

1. A capacidade dos indicadores de integrarem propriedades e processos químicos, físicos e biológicos do solo que representem as funções do solo mais difíceis de medir diretamente;
2. Conhecer a relevância ecológica e a variação natural dos indicadores;
3. Devem captar variações à longo prazo no manejo e no clima, mas ao mesmo tempo, não devem captar variações à curto prazo;
4. Têm que possibilitar uma medição acurada e precisa; e

5. Serem de determinação simples e de baixo custo, permitindo a realização de um grande número de análises.

#### 2.4.1. Indicadores físicos de qualidade do solo

Os aspectos aplicados à física dos solos estão associados à forma de manejo dos solos no contexto da produção agropecuária, principalmente no que se refere à circulação de água, degradação do solo, erosão, entre outros. Vale ressaltar que a condição física do solo é um dos fatores que condiciona a expressão final da fertilidade do solo para um determinado cultivo (Taboada e Micucci, 2002).

Segundo Reichert et al. (2003), a qualidade física do solo é definida como a capacidade de um solo permitir a infiltração, retenção e disponibilidade de água às plantas, córregos e subsuperfícies, bem como de responder ao manejo e resistir à degradação, permitir trocas de calor e de gases com a atmosfera e raízes das plantas, e ainda permitir o crescimento destas.

No crescimento das plantas, a estrutura do solo é um dos indicadores mais importantes, pois influi diretamente nas condições de adensamento, compactação, encrostamento, infiltração de água e susceptibilidade do solo à erosão, podendo ser avaliada através da densidade do solo, macro e microporosidade, estabilidade de agregados, resistência do solo à penetração e a infiltração da água no solo (Campos et al., 1995; Doran, 1997).

Além de ser um indicador de qualidade do solo, a densidade do solo é utilizada para determinar, com base no volume, a quantidade de água e nutrientes que existam no perfil do solo. Valores críticos para esta variável são difíceis de serem definidos, onde o recomendado é comparar valores de áreas em estudos com valores de áreas que não foram compactadas, de preferência com o mesmo tipo de solo e relevo (Mendes et al., 2006).

A porosidade do solo é de grande importância nos processos físicos, pois dependendo do diâmetro dos poros, estes são classificados em macro e microporos, aos quais são associados a processos de aeração e drenagem (macroporos) e de retenção de água (microporos) (Aguiar, 2008). O crescimento e a absorção de água e nutrientes pelas raízes são influenciados

pela macroporosidade, uma vez que uma reduzida macroporosidade favorece o crescimento lateral das raízes, bem como uma redução em seus diâmetros a fim de penetrarem em poros menores. Por outro lado, em solos muito porosos pode haver um menor contato solo/raiz provocando, também, um menor desenvolvimento das plantas (Beutler e Centurion, 2003).

#### 2.4.2. Indicadores químicos de qualidade do solo

De acordo com Mielniczuk (1999), o atributo que melhor representa a qualidade do solo é a matéria orgânica, devido à sua sensibilidade às práticas de manejo do solo, podendo ser avaliada através do teor de carbono orgânico total.

A matéria orgânica do solo está relacionada a diversas funções do solo, principalmente com a estabilidade de agregados, a estrutura, infiltração e retenção de água, resistência à erosão, atividade biológica, com a capacidade de troca de cátions, lixiviação de nutrientes e ainda com a liberação de CO<sub>2</sub> e outros gases para a atmosfera.

Uma vez que, uma das principais funções do solo é de fornecer nutrientes para as plantas, outro atributo químico de grande importância é a capacidade de troca catiônica (CTC). Um solo com alta CTC apresenta uma maior capacidade de retenção de íons como o magnésio e o amônio, e proporciona ainda uma menor perda por lixiviação desses cátions. Em solos tropicais e subtropicais, a CTC da matéria orgânica pode representar um grande percentual da CTC total do solo, assim, torna-se fundamental uma manutenção ou aumento dos teores de matéria orgânica para uma melhor retenção de nutrientes (Peixoto, 2008).

Outro indicador químico de qualidade muito importante é o potencial hidrogeniônico (pH). O pH influencia principalmente a:

- a) Disponibilidade de nutrientes para as plantas;
- b) Afeta a população microbiana. Os microrganismos são muito sensíveis a variações no pH, indo desde bactérias e actinomicetos, que preferem pH de neutro a alcalino, aos fungos que preferem pH mais ácido;

- c) O pH afeta na decomposição da matéria orgânica. A decomposição é feita pelos microrganismos presentes no solo. Se estes são afetados por variações no pH, conseqüentemente, todo o processo de decomposição será afetado.

#### 2.4.3. Indicadores biológicos de qualidade do solo

Os indicadores biológicos ou bioindicadores, segundo Doran e Parkin (1994), são propriedades ou processos biológicos do solo que indicam o estado de um determinado ecossistema, sendo utilizados, assim, no biomonitoramento da qualidade do solo, onde biomonitoramento é a reposta dos organismos vivos a mudanças em seu ambiente (Wittig, 1993).

A atividade biológica se dá principalmente nas camadas iniciais do solo, com profundidades entre 1 e 30 cm. Os componentes biológicos realizam atividades que são essenciais para um bom funcionamento do solo, já que eles são responsáveis pela decomposição da matéria orgânica, e assim, disponibilizam nutrientes para as plantas, e ainda, degradam substâncias tóxicas (Kennedy e Doran, 2002).

Mudanças na qualidade do solo são facilmente detectadas e influenciam no comportamento dos microrganismos. Há casos em que alterações na atividade microbiana causam mudanças nas propriedades químicas e físicas, refletindo sinais na melhoria ou na degradação do solo (Araújo e Monteiro, 2007).

Os bioindicadores são selecionados de acordo com a sua utilidade em definir os processos do ecossistema. Na Tabela 1 estão listados alguns indicadores microbiológicos em programas de monitoramento de qualidade do solo da comunidade européia.

Tabela 1: Indicadores utilizados em programas de monitoramento de qualidade do solo da comunidade européia

<b>Programa de monitoramento</b>	<b>Número mínimo de indicadores</b>
Alemanha	Respiração do solo Biomassa microbiana Quociente respiratório
República Tcheca	Biomassa microbiana Respiração do solo Enzimas do solo
Reino Unido	Biomassa microbiana Respiração do solo <i>Rhizobium</i>
Áustria	Biomassa microbiana Enzimas do solo Nitrificação
Outros países	Respiração do solo Decomposição da matéria orgânica Enzimas do solo

Fonte: International Co-operative Programme on Integrated Monitoring, In: Araújo e Monteiro, 2007.

A biomassa microbiana é definida como todo componente vivo que está presente na matéria orgânica, com exceção da macrofauna e as raízes das plantas. Ela controla funções de suma importância no solo, como o acúmulo de matéria orgânica e sua decomposição e também, transformações que envolvem nutrientes minerais. Atua como fonte de nutrientes, que por sua vez, são constantemente assimilados por diferentes organismos presentes nos ecossistemas, durante seus ciclos de crescimento (Gregorich et al., 1994).

A respiração do solo é utilizada para quantificar a atividade microbiana, relacionando-se positivamente com os conteúdos de biomassa microbiana e matéria orgânica, podendo ser determinada pela produção de CO<sub>2</sub> ou consumo de O<sub>2</sub>, sendo mais recomendado determiná-la utilizando a taxa de produção de CO<sub>2</sub>, pois este é menos concentrado na atmosfera que o O<sub>2</sub> (Alef, 1995).

Quando os microrganismos presentes no solo passam por longos períodos em baixa atividade, eles respondem rapidamente a mudanças nas condições do solo, como por exemplo, após um reumedecimento do solo ocorre aumento na respiração e nas taxas de mineralização do carbono e do nitrogênio presentes na matéria orgânica. Utilizando as medidas da biomassa microbiana e respiração do solo é possível saber o quanto de CO<sub>2</sub> evolui por unidade de biomassa, sendo denominado de quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>), que indica a eficiência da biomassa em utilizar o carbono disponível para a biossíntese (Saviozzi et al., 2002).

#### 2.4.4. Indicadores visuais de qualidade do solo

Os indicadores visuais de qualidade do solo são aqueles que estão relacionados às observações feitas ou interpretação fotográfica. Tais observações se baseiam em mudanças existentes na coloração do solo, formação de poças d'água, exposição do subsolo, aumento significativo no número de plantas daninhas, na reposta dos vegetais, entre outros.

Segundo Primavesi (1988) quando um solo apresenta modificações preocupantes em sua constituição física, por exemplo, quando sua superfície rachar e encrostar, com raízes retorcendo e virando com profundidades inferiores a 10 cm, e ainda quando a água das chuvas empossarem ou escorrerem conforme a topografia do terreno, essas alterações, perceptíveis visualmente, estão relacionadas com modificações tanto no arejamento quanto na drenagem de solos que não foram bem manejados.

Diversos autores apontam a relação da fertilidade do solo com a distribuição florística e estrutural das fisionomias do Cerrado (Goodland e Pollard 1973, Eiten 1990, Ribeiro e Walter 1998). Durigan (2005) correlacionou as espécies presentes no Estado de São Paulo com duas fisionomias distintas: o cerrado em áreas de solo mais fértil e o cerrado *sensu stricto* em áreas de solo distrófico e arenoso.

A disponibilidade de nutrientes, a alta concentração de alumínio trocável, assim como o baixo pH do solo podem atuar como filtros na seleção de espécies, já que elas respondem de forma individual às variáveis ambientais

nas quais estão inseridas. Desse modo, essas espécies podem indicar indiretamente a qualidade do solo e auxiliar a compreensão do gradiente estrutural entre as fisionomias, uma vez que espécies indicadoras são aquelas que, segundo Larcher (2000), respondem às mudanças do meio através do declínio, desaparecimento ou abundância no crescimento e no aumento da capacidade de reprodução.

No que se refere ao ataque de pragas e doenças, em ecossistemas nativos não existe um ataque devastador e generalizado de pragas e doenças. Quanto mais tempo um solo está sendo utilizado para atividades agrícolas, mais pragas e doenças se alojam em seus cultivos (Primavesi, 1988). Nenhuma peste ou praga, não importa qual seja, pode prejudicar plantas em equilíbrio nutricional, muitas vezes são evitadas pelos parasitas por não apresentarem condições vitais para sua sobrevivência.

Através de processos que utilizam fotografias em infravermelho é possível detectar se o metabolismo de uma planta é fraco ou não, e virtude de que, o calor emanado pelas culturas, quando estas estão com metabolismo ativo, é muito alto elas se apresentam com coloração forte na fotografia, enquanto que as de metabolismo fraco apresentam uma coloração fraca, apagada, bem diferente das plantas com alta atividade metabólica.

## **2.5. Determinação de Índices de Qualidade do Solo**

Uma estratégia comumente sugerida para se avaliar um conjunto de indicadores de qualidade do solo é o cálculo de um índice de qualidade. O índice constitui uma ferramenta para agregação e simplificação de informações de natureza diversa (Sands e Podmore, 2000) de modo que, neste caso, ele irá “quantificar” a qualidade do solo. Tais índices podem ser úteis para o monitoramento do estado geral do solo e para a identificação de práticas de manejo mais adequadas, constituindo-se em uma ferramenta para buscar soluções técnicas que atuem diretamente nos atributos do solo que estão pesando negativamente no índice de qualidade. Uma vez bem definidos, esses índices podem ser ainda utilizados para o monitoramento da qualidade do solo

em programas de recuperação de áreas degradadas, para orientar legislações e políticas relacionadas à ocupação do solo, além de servir como um método de fiscalização/orientação de programas e políticas agrícolas e no estabelecimento de um referencial para valoração da terra.

Os índices de qualidade do solo podem ser obtidos por meio de uma expressão ou modelo matemático que inclua os atributos do solo considerados. Assim, a soma dos efeitos dos atributos selecionados (quantificados pelos seus respectivos indicadores), que são determinantes da qualidade do solo de um dado ambiente, é expressa no índice de qualidade (Burger e Kelting, 1999).

O efeito de sistemas de produção sobre a qualidade do solo pode ser avaliado pelo uso de curvas de pontuação normalizadas semelhantes a curvas de suficiência (Karlen e Stott, 1994), criadas através de sistemas de aproximação desenvolvidos por Wymore (1993).

O modelo de índice de qualidade do solo proposto por Karlen & Stott (1994) tem sido aplicado em vários trabalhos. Hussain et al. (1999) utilizaram essa ferramenta para analisar um conjunto de dados obtidos durante sete anos de amostras retiradas de solos sob cultivo de cereais submetidos ao sistema de plantio direto, ao uso de arado de aiveca ou de disco. Os valores das características do solo relacionadas às funções do solo e que se constituíam em indicadores potenciais de qualidade do solo foram normalizados, e os valores-limites para a construção das funções de pontuação foram obtidos da literatura. Os índices assim calculados diferiram significativamente e permitiram concluir que a qualidade do solo avaliada desta forma mostrou-se mais elevada nas áreas submetidas ao plantio direto.

Outra forma de se avaliar um conjunto de dados ou de indicadores de natureza diversa, de modo a torná-los de mais fácil interpretação, é através de ferramentas da estatística multivariada, como a análise de componentes principais. Essa ferramenta estatística permite a conversão de um conjunto de variáveis de um espaço n-dimensional em um espaço bi ou tri dimensional (Cruz e Regazzi, 1994). Um componente principal é, dessa forma, uma combinação linear de um conjunto de variáveis (neste caso, indicadores). Uma alta correspondência entre um certo indicador e um componente irá resultar em um alto peso absoluto deste indicador neste componente. Assim, um conjunto

similar de pesos entre dois ou mais indicadores irá indicar uma correlação entre eles.

Segundo Stenberg (1999), ferramentas multivariadas desse tipo são úteis quando existem muitas interações entre as variáveis estudadas, como pode ser esperado no ambiente do solo. Esses métodos facilitam a apresentação visual das funções do solo pela plotagem dos escores ou dos vetores de carregamento entre si. Na plotagem gráfica, áreas ideais ou favoráveis podem ser determinadas semelhantemente à abordagem do índice, onde valores-limites ou um índice ideal podem ser determinados para as diferentes funções do solo.

### 3. Material e Métodos

#### 3.1. Caracterização da Área de Estudo

O estudo foi realizado na Fazenda Boa Vista (Figura 3), localizada na micro-bacia do Rio Claro no município de Jataí-GO. O clima da região é do tipo Aw, tropica de savana, mesotérmico, com estação seca e chuvosa bem definidas, segundo a classificação de Köpen. A temperatura média anual varia de 18 a 32°C, com um período chuvoso estendendo-se de novembro a maio, em que são registrados mais de 80% do total das chuvas do ano, e com a precipitação média anual variando entre 1600 mm e 1700 mm.



Figura 3: Localização da área de estudo, Fazenda Boa Vista. P0: Área natural; P1: Área 2; P2: Área 3; e P3: Área 4.

Na propriedade foram estudadas quatro diferentes áreas. A primeira área (Área natural) é um campo de murundus, conhecida regionalmente como covais, com solo do tipo plintossolo argilúvico. Os morrotes ou murundus estão espalhados em toda a área, apresentando vegetação de Cerrado *strictu sensu*, arbustivas e gramíneas, com grande diversidade de espécimes vegetais, grande quantidade de cupinzeiros e morrotes com altura de mais ou menos dois metros. A parte inferior dos murundus apresenta gramíneas rasteiras, solo muito úmido que em períodos chuvosos se encontra parcialmente alagado.

A segunda área de estudo (Área 2) está a 6 anos sob intervenção antrópica (2003/2004). Apresentava-se sob pastagem nativa e que no ano de 2003 foram incorporadas ao sistema de produção agrícola iniciando com a aplicação de 5 t.ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico sendo incorporado através do uso de grade niveladora. Para o plantio inicial aplicou-se 0,6 t.ha<sup>-1</sup> de fosfato reativo (33% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e 2 t.ha<sup>-1</sup> de gesso agrícola. A partir de 2004 não houve revolvimento do solo, e a sucessão de cultura realizada foi com soja na safra e milho (ou milheto ou sorgo) na safrinha, obtendo-se uma produtividade em torno de 3,1 para soja e de 4,5 t.ha<sup>-1</sup> para o milho. Nos anos de 2005/2006 e 2008/2009 foram aplicadas superficialmente 1,5 t.ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico.

A terceira área (Área 3) sofre intervenção antrópica desde 1998/1999. Apresentava-se inicialmente sob áreas nativas e pastagem nativa, onde no ano de 1998 aplicou-se 6 t.ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico com incorporação utilizando arado e grade niveladora. No plantio inicial foram aplicadas 0,6 t.ha<sup>-1</sup> de fosfato reativo (33% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). A partir de 1999, não houve revolvimento do solo. A sucessão de cultura realizada foi com soja na safra e milho na safrinha, obtendo uma produtividade em torno de 3,4 e 6 t.ha<sup>-1</sup>, e nos primeiros anos a partir de 2006, soja pousio. Foram aplicadas superficialmente nos anos de 2002/2003 e em 2007/2008 2,5 t.ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico.

A última área (Área 4) está sob intervenção antrópica desde 1994/1995. Em 1994 apresentava-se sob pastagem degradada e houve a aplicação de 3 t.ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico, com a incorporação utilizando arado e grade niveladora. A partir de 1996, não houve revolvimento do solo, ou seja, utilizou-se plantio direto. A sucessão de cultura foi com soja na safra e milho na safrinha, obtendo-se uma produtividade em torno de 3,4 e 6 t.ha<sup>-1</sup>,

respectivamente. Em 2005/2006 aplicou-se superficialmente  $1,5 \text{ t.ha}^{-1}$  de calcário dolomítico.

A coleta de amostras do solo foi realizada em setembro de 2009, quando as áreas que estão sendo utilizadas para a agricultura apresentavam-se em pousio.

Para cada uma das áreas foi sorteada uma parcela de 1 ha, onde dentro de cada uma foram retiradas 6 amostras de solo, na camada inicial de 0-10 cm. As amostras foram retiradas e em seguida acondicionadas em sacos plásticos e mantidas em caixas térmicas.

### **3.2. Análises Químicas, Físicas e Biológicas do Solo**

As variáveis químicas avaliadas pelo modelo foram a capacidade de troca catiônica (CTC,  $\text{mmol}/\text{dm}^3$ ), o potencial hidrogeniônico (pH), o Nitrogênio total (NT, %) do solo e Os teores de fósforo (P,  $\text{mg}/\text{dm}^3$ ). Para a determinação do nitrogênio total do solo foi utilizada a metodologia proposta por Tedesco et al. (1995), onde devido a uma maior eficiência foi adotado o método de digestão com tubos de ensaio (25 X 250 mm) com bloco digestor (350-375 °C), mantendo a mistura de digestão, com  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , e catalisador nas proporções recomendadas por Bremner e Mulvaney (1982).

O pH foi determinado em água (Silva, 1999), através da medição eletroquímica da concentração efetiva de íons  $\text{H}^+$  na solução do solo, por meio de eletrodo combinado, imerso em suspensão solo:água na proporção de 1:2,5. A CTC, através do cálculo de soma de bases mais hidrogênio e alumínio.

Por fim, os teores de fósforo foram medidos utilizando solução extratora de Mehlich 1, também chamada de solução duplo-ácida, que é constituída por uma mistura de  $\text{HCl}$  0,05 M +  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,0125 M, onde, o emprego dessa solução como extratora de fósforo baseia-se na solubilidade desses elementos pelo efeito de pH, entre 2 e 3, sendo o papel do  $\text{Cl}^-$  o de restringir o processo de reabsorção dos fosfatos recém extraídos (Silva, 1999).

Os parâmetros físicos avaliados foram o diâmetro médio geométrico (DMG, mm) dos agregados do solo e a densidade do solo (DS,  $\text{g}/\text{cm}^3$ ), onde a densidade do solo foi determinada através da relação entre a massa de uma

amostra de solo seco e o volume que ela ocupa, na condição natural, isto é, sem destruir sua estrutura.

Para as variáveis biológicas foram utilizadas o carbono da biomassa microbiana (CBM,  $\mu\text{g/g}$ ) e o carbono orgânico total do solo (CO). A determinação do carbono orgânico foi feita através de oxidação a quente com dicromato de potássio e titulação com sulfato ferroso amoniacal (EMBRAPA, 1997) O carbono da biomassa microbiana foi determinado através do método da fumigação-extração, após incubação no escuro por 24h, extração com  $\text{K}_2\text{SO}_4$   $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ , oxidação com  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$   $0,0667 \text{ mol L}^{-1}$  e titulação com sulfato ferroso amoniacal  $0,0333 \text{ mol L}^{-1}$  (Vance et al., 1987).

### **3.3. Amostragem de Espécies Vegetais**

Foi realizado um levantamento fitossociológico na área natural dos covais e nas demais áreas de estudo, com o intuito de utilizar tais indivíduos como indicadores visuais de qualidade do solo.

Nas regiões localizadas abaixo dos morrotes, para a amostragem das gramíneas, foi utilizado um amostrador de madeira (Figura 4), com dimensões de  $0,5 \times 0,5 \text{ m}$ .

Nas áreas que sofreram intervenção antrópica foram amostrados 20 pontos em cada uma, também utilizando o amostrador de madeira. Os pontos estavam localizados próximos aos locais onde foram retiradas as amostras de solo. Para a seleção destes, o amostrador de madeira foi arremessado ao acaso e, então, foram contadas e identificadas as espécies de ervas infestantes que caíram dentro da área deste.

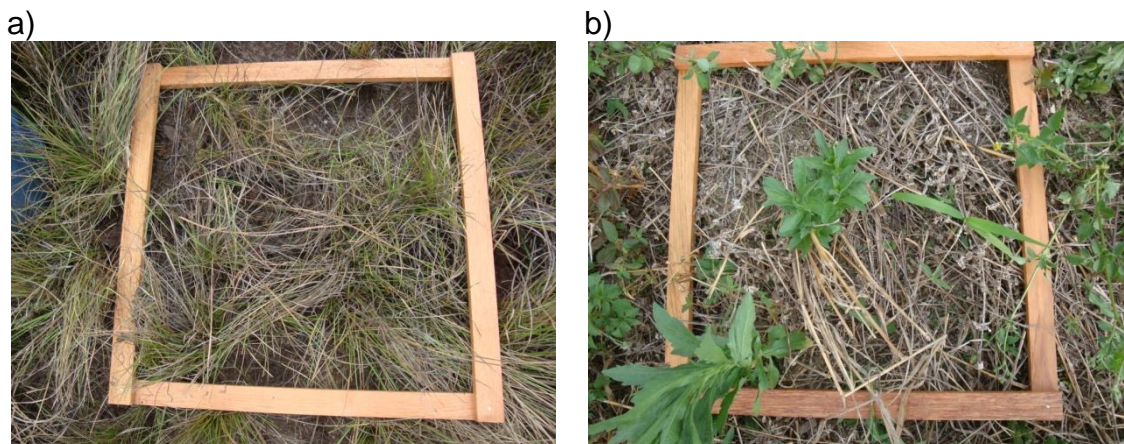


Figura 4: Amostrador de madeira utilizado para a avaliação de gramíneas e espécies de ervas-daninhas. a) amostragem de gramíneas; b) amostragem de espécies infestantes.

Com as espécies identificadas, as áreas foram submetidas à análise de similaridade de variáveis binárias (ausência e presença) utilizando os índices de Jaccard, de Nei Li e de coincidência simples, descritos por Cruz e Carneiro (2003).

Assim, uma maneira de avaliar a similaridade entre áreas é por meio da presença ou ausência de espécimes vegetais, codificadas em zeros e uns. Nessa situação, os coeficientes de similaridade entre pares de áreas ou tratamentos podem ser obtidos levando-se em conta os valores:

- **a:** valor que quantifica o número de coincidência do tipo 1-1 para cada par de tratamentos;
- **b:** valor que quantifica o número de discordância do tipo 1-0 para cada par de tratamentos;
- **c:** valor que quantifica o número de discordância do tipo 0-1 para cada par de tratamentos;
- **d:** valor que quantifica o número de coincidência do tipo 0-0 para cada par de tratamentos.

Com base nesses valores podem ser obtidas as medidas de similaridade:

- Coeficiente de coincidência simples:

$$s_{ii'} = \frac{a + d}{a + b + c + d} \quad (1)$$

- Coeficiente de Jaccard:

$$s_{ii'} = \frac{a}{a + b + c} \quad (2)$$

- Coeficiente de Sorenso ou Nei e Li

$$s_{ii'} = \frac{2a}{2a + b + c} \quad (3)$$

Apesar de existirem vários coeficientes de similaridade, na prática tem sido de uso mais rotineiro o coeficiente de coincidência simples, o de Jaccard e o de Nei e Li. O de coincidência simples tem a vantagem de ser idêntico ao quadrado da distância euclidiana média, medida bastante utilizada em características quantitativas.

O índice de Jaccard e de Nei e Li são interessantes por excluir a coincidência do tipo “0-0” como fator de similaridade. Para Jaccard, apenas a coincidência do tipo “1-1” deve ser levada em consideração na similaridade entre áreas. O coeficiente de Nei e Li também tem esta pressuposição, mas admite que em certo estudos esta coincidência é pouco esperada e, ao ser encontrada, deve ser ponderada por um peso mais elevado, no caso, igual a 2.

### 3.4. Determinação dos Índices de Qualidade dos Solos

Para a determinação dos índices de qualidade do solo foi utilizado o modelo aditivo de curvas logísticas de pontuação padronizada proposto por Karlen & Stott (1994):

$$Q = \sum_{k=1}^4 q_k \quad (04)$$

Nesta expressão, o Q representa a qualidade do solo e  $q_k$  são pontuações atribuídas à habilidade,  $k$ , do solo de permitir a entrada de água ( $q_1$ ), facilitar o movimento e a disponibilidade de água ( $q_2$ ), resistir à

degradação estrutural ( $q_3$ ) e de produção de biomassa ( $q_4$ ), calculadas da seguinte forma:

$$q_k = \sum_{i=1}^{nk} w_k t_i f(x) \quad (05)$$

$w_k$  e  $t_i$  são os pesos numéricos de cada propriedade,  $i$ , do solo, definidos de acordo com a importância desses atributos em preencher todos os requisitos que mantêm a qualidade do solo. Para todas as quatro habilidades do solo foi atribuído o peso  $w$  de 0,25 considerando, assim, igualdade entre estas. O peso  $t_i$  de cada variável, dentro de cada uma das habilidades do solo, foi determinado utilizando a contribuição relativa dos caracteres para diversidade, segundo o critério de Singh (1981), baseado na distância generalizada de mahalanobis (Cruz, 2006).

O agrupamento à partir da distância generalizada de Mahalanobis, é dado por:

$$D_{ii'}^2 = \delta' \psi^{-1} \delta \quad (06)$$

Em que:

- $D_{ii'}^2$ : distância de Mahalanobis entre os tratamentos  $i$  e  $i'$ ;
- $\psi$ : matriz de variâncias e covariâncias residuais;
- $\delta' = [d_1 \quad d_2 \quad \dots \quad d_v]$ , sendo  $d_j = Y_{ij} - Y_{i'j}$ ; e
- $Y_{ij}$ : média do  $i$ -ésimo tratamento em relação ao  $j$ -ésimo caráter.

Com base nessas medidas de dissimilaridade é feito o agrupamento utilizando-se o método de otimização proposto por Tocher.

Para o cálculo da contribuição relativa dos caracteres para a divergência, empregando-se o critério proposto por Singh (1981), com base na estatística  $S_j$ , considera-se que:

$$D_{ii'}^2 = \delta' \psi^{-1} \delta = \sum_{j=1}^n \sum_{j'=1}^n \omega_{jj'} d_j d_{j'} \quad (07)$$

Em que  $\omega_{jj'}$  é o elemento da  $j$ -ésima linha e  $j'$ -ésima colunada inversa da matriz de variâncias e covariâncias residuais.

No cálculo dos valores da distância generalizada de Mahalanobis, os  $n^2$  valores podem ser arranjados em uma tabela de dupla entrada. por exemplo, com  $n = 3$ , os componentes de  $D^2$  podem ser assim arranjados:

$\omega_{11}d_1d_1$	$\omega_{12}d_1d_2$	$\omega_{13}d_1d_3$
$\omega_{21}d_2d_1$	$\omega_{21}d_2d_2$	$\omega_{21}d_2d_3$
$\omega_{31}d_3d_1$	$\omega_{31}d_3d_2$	$\omega_{31}d_3d_3$
$S_{m1}$	$S_{m2}$	$S_{m3}$

Em que  $S_{m1}$  representa a contribuição da variável 1 para o valor de determinada distância  $D_{ii'}^2$ , representada por  $D_m^2$ . O total das distâncias envolvendo todos os pares de tratamentos é dado por:

$$\sum_i \sum_{i'} D_{ii'}^2 = \sum_m D_m^2 = \sum_{j=1} S_j \quad (08)$$

Os valores percentuais de  $S_j$  constituem a medida de importância relativa da variável  $j$  para o estudo da diversidade, sendo então este valor adotado como o peso  $t_i$  de cada variável dentro da habilidade do solo.

$$t_i = \frac{S_j}{\sum S_j} \quad (09)$$

O  $f(x)$  da equação 05 é uma função de pontuação padronizada que normaliza as medidas dos indicadores utilizados para valores entre 0 e 1,0. As curvas de pontuação são geradas à partir da seguinte equação (WYMORE, 1993):

$$f(x) = \frac{1}{1 + ((\beta - \mu)/(x - \mu))^{2\alpha(\beta+x-2\mu)}} \quad (10)$$

Onde:

$\beta$ : é o valor da linha-base da propriedade,  $i$ , do solo, onde a propriedade equivale a 0,5;

$\mu$ : é o menor valor da faixa limite;

$\alpha$ : é a inclinação da tangente da curva na linha-base; e

$x$ : é o valor da propriedade,  $i$ , do solo.

A equação de padronização pode gerar três tipos de curvas padronizadas, as quais foram utilizadas para avaliar a qualidade do solo, a saber: (1) “mais é melhor” (Figura 5), por exemplo, carbono da biomassa microbiana; (2) “menos é melhor”, por exemplo, densidade do solo; e (3) “ótimo”, como por exemplo, o pH.

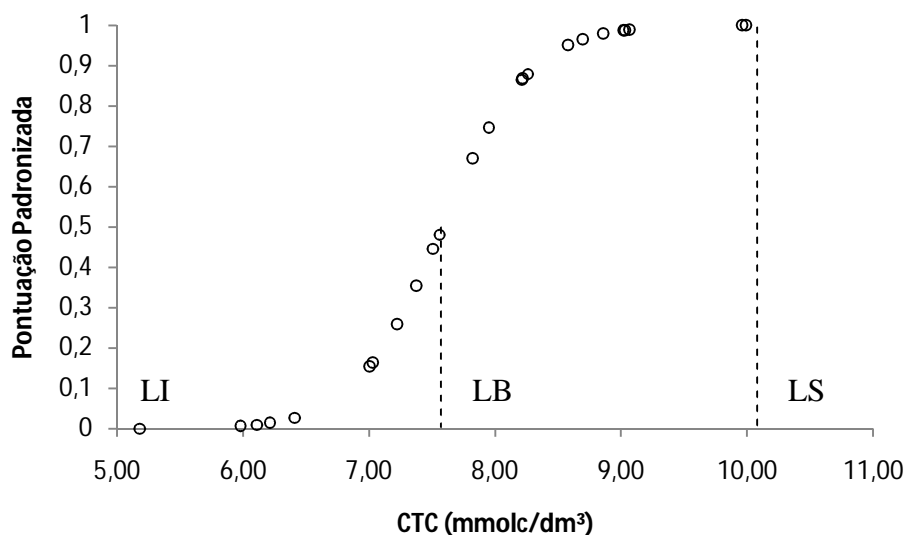


Figura 5: Curva de pontuação padronizada, do tipo "mais é melhor", para a característica CTC (LI - Limite inferior; LB - Linha-base; e LS - Limite superior)

Para a padronização dos danos para a curva do tipo “ótima” utilizou-se uma função derivada da equação 09, obtendo, assim a seguinte expressão:

$$f'(x) = \frac{((\beta - \mu)/(x - \mu))^{2\alpha(\beta+x-2\mu)}}{\frac{1}{4\alpha} \left(1 + ((\beta - \mu)/(x - \mu))^{2\alpha(\beta+x-2\mu)}\right)^2} \quad (11)$$

### 3.5. Análises Estatísticas

As análises estatísticas dos valores das características químicas, físicas e biológicas do solo e os índices de qualidade do solo calculados para os tratamentos (área natural, área 2, área 3 e área 4) foram realizadas pelo software GENES. A análise de variância se deu através do delineamento inteiramente casualizado.

As variáveis estudadas foram agrupadas de acordo com cada uma das habilidades do solo (Tabela 2). Em seguida, elas foram submetidas à análise de Variáveis Canônicas e também a análise de contribuição relativa dos caracteres para diversidade, segundo o critério de Singh (1981), baseado na distância generalizada de mahalanobis.

Técnicas de variáveis canônicas permitem a simplificação no conjunto de dados, resumindo as informações, originalmente contidas em um grupo de  $v$  variáveis, em poucas variáveis, que apresentam as propriedades de reter o máximo da variação originalmente disponível e de serem independentes entre si (CRUZ, 2006). Esta técnica baseia-se nas informações entre e dentro de tratamentos (ou entre indivíduos de cada tratamento), havendo, portanto, necessidade de dados com repetições.

As seguintes propriedades são verificadas:

- a) Se  $Y_{ij}$  é uma variável canônica, é definida pela seguinte combinação linear:

$$Y_{ij} = a_1X_{i1} + a_2X_{i2} + \dots + a_vX_{iv}$$

- b) Se  $Y_{ij'}$  é outra variável canônica, tem-se uma nova combinação linear, dada por:

$$Y_{ij'} = b_1X_{i1} + b_2X_{i2} + \dots + b_vX_{iv} \text{ e } \sum_j \sum_{j'} a_j a_{j'} \sigma_{jj'} = \sum_j \sum_{j'} b_j b_{j'} \sigma_{jj'} = 1$$

$$\sum_j \sum_{j'} a_j b_{j'} \sigma_{jj'} = 0$$

Em que  $\sigma_{jj'}$  é a covariância residual entre os caracteres  $j$  e  $j'$ ;

- c) Dentre todas as variáveis canônicas,  $Y_{i1}$  apresenta a maior variância,  $Y_{i2}$  a segunda maior, e assim sucessivamente.

A dispersão gráfica dos escores das variáveis canônicas pode ser feita pelas análises gráficas 2D e 3D. No caso de dispersão gráfica 2D, a dispersão gráfica dos escores das variáveis canônicas é feita em relação a dois eixos cartesianos. A dispersão inicial é apresentada em relação às duas primeiras variáveis canônicas, pois elas retêm a maior proporção da variabilidade existente nos dados originais.

Tabela 2: Agrupamento das variáveis avaliadas de acordo com as habilidades do solo

<b>Habilidade do solo</b>	<b>Variáveis</b>
<i>Permitir a entrada de água</i>	DMG, DS e CO
<i>Facilitar o movimento e a disponibilidade de água</i>	CO, DMG, DS e CBM
<i>Resistir à degradação estrutural</i>	CO, CBM e DMG
<i>Produção de biomassa</i>	CTC, pH, NT, CBM, CO, e P

Com o intuito de se utilizar as plantas infestantes como indicadoras visuais de qualidade dos solos nas áreas que sofreram intervenção antrópica, foi utilizado o coeficiente de correlação de Pearson entre as espécies que ocorrem nas áreas 3 e 4, com os atributos físicos, químicos e biológicos.

Os valores das correlações foram, então, submetidos ao teste de “t” de Student, a um nível de 5% de significância, obtendo o “t” calculado com a equação:

$$t_{calculado} = \frac{r}{\sqrt{1 - r^2}} * \sqrt{n - 2} \quad (12)$$

Sendo:

n: número de amostras utilizadas;

r: correlação de Pearson.

## 4. Resultados e Discussão

### 4.1. Caracterização dos Indivíduos Vegetais

Dentre as quatro áreas de estudo, área 2 foi a única que não apresentou nenhum indivíduo durante o processo de amostragem. Visualmente, vale ressaltar que foi constatada a presença principal de alguns espécimes de brachiaria, não sendo estas amostradas durante o processo. A área natural apresentou o maior número de famílias botânicas. Nas áreas 3 e 4 ocorreu apenas a incidência de ervas infestantes, sendo a última área com um maior número de indivíduos.

As maiores representatividades ficaram para as famílias Apocynaceae (34,14%), Euphorbiaceae (14,15%), Rubiaceae (13,66%), Myrtaceae (9,66%) e Poaceae (corresponderam a 6,74% do total de indivíduos). Na Tabela 3 consta a lista de espécies botânicas infestantes encontradas para as áreas 3 e 4.

Tabela 3: Relação das espécies botânicas encontradas nas áreas de 10 e 15 anos de intervenção antrópica

Nome popular	Família Botânica	Nome científico
Erva de Sta Luzia	Euphorbiaceae	<i>Chamaesyce hirta</i> (L.) millsp.
Serralha	Asteraceae	<i>Sonchus oleraceus</i> (L.)
Poaia	Rubiaceae	<i>Richardia brasiliensis</i> Gomes
Mentrasto	Asteraceae	<i>Ageratum conyzoides</i> L.
Trapoeiraba	Commelinaceae	<i>Commelina benghalensis</i> L.
Cordão de frade	Lamiaceae	<i>Leonotis nepitifolia</i>
Leiteira	Euphorbiaceae	<i>Euphorbia hiterophylla</i> L.
Picão	Asteraceae	<i>Bidens pilosa</i> L.
Buva	Asteraceae	<i>Conyza bonariensis</i> (L.) Cronquist.
Erva Quente	Rubiaceae	<i>Spermacoce latifolia</i>
Erva de touro	Asteraceae	<i>Tridax procumbens</i> L.

Após o levantamento fitossociológico, foi feita a análise de dissimilaridade entre as áreas natural, 3 e 4, através da presença ou ausência de cada família botânica nestas (Tabela 4). Para esta análise não foi incluída a área 2, uma vez que esta não apresentou nenhum indivíduo botânico durante o processo de amostragem.

Tabela 4: Medidas de similaridade de Jaccard, Nei e Li e de Coincidência Simples, entre as áreas 3, 4 e natural.

Áreas	a (1-1)	b (1-0)	c (0-1)	d (0-0)	Coincidência simples	Jaccard	Nei e Li
natural e 3	3	28	0	1	0,1250	0,0097	0,1760
natural e 4	3	28	0	1	0,1250	0,0097	0,1760
3 e 4	2	1	1	28	<b>0,9375</b>	<b>0.500</b>	<b>0.6667</b>

Primavesi (1988) diz que quanto mais tempo uma área está sob cultivo, maior é a ocorrência de pragas e ervas infestantes.

#### 4.2. Análise de Variáveis Canônicas e Análise de Contribuição Relativa dos caracteres para Diversidade, Segundo o Critério de Singh (1981)

##### 4.2.1. Permitir a entrada de água (PEA)

Dentre as variáveis avaliadas pelo critério de Singh (1981), os teores de carbono orgânico total do solo mostraram-se com a maior importância relativa para a contribuição da diversidade, seguida da densidade do solo e do diâmetro médio geométrico (Tabela 5). Segundo Klein (2006), a densidade do solo é afetada por cultivos, que alteram a estrutura e por consequência o arranjo e volume dos poros, se mostrando como um importante indicador físico para verificar alterações na estrutura dos solos.

Tabela 5: Importância Relativa para a contribuição da diversidade (peso t), avaliada pelo critério de Singh (1981), baseado na distância generalizada de Mahalanobis, para a habilidade de “Permitir a Entrada de Água”.

Função (q)	Propriedade do Solo	peso (t)
<b>Permitir a Entrada de Água</b>	CO	0.48
	DS	0.44
	DMG	0.08

Em sistemas de plantio direto, a ausência ou revolvimento mínimo do solo, favorece a manutenção de teores de água em função da manutenção de resíduos culturais e diminui a compactação excessiva na superfície do solo provocada pelo tráfego de máquinas (Tormena e Roloff, 1996).

A vegetação é um fator importante de formação de agregados, mediante a ação mecânica das raízes ou pela excreção de substâncias com ação cimentante (Kiehl, 1979). O tipo de vegetação também interfere na estruturação dos solos, por exemplo, gramíneas são mais eficientes em aumentar e manter a estabilidade de agregados do que as leguminosas (Carpenedo e Mielniczuk, 1990), já que apresentam um sistema radicular extenso e renovado constantemente (Harris et al., 1966).

Gerando uma curva de pontuação padronizada do tipo “ótima” para esta variável (Figura 6), observa-se que o diâmetro médio geométrico ótimo para as áreas de estudo giram em torno de 3,6 mm. O maior valor médio para esta variável foi encontrado para a área natural de covais, no entanto, esta área foi a que apresentou um maior valor para densidade global do solo. Em estudos realizados por Reinert et al. (2006) valores de 2 mm ou mais para o diâmetro médio geométrico indicam uma significativa redução em processos erosivos, considerado esse valor crítico para estudos de erodibilidade de solos, sendo tanto melhor quanto maior for o valor.

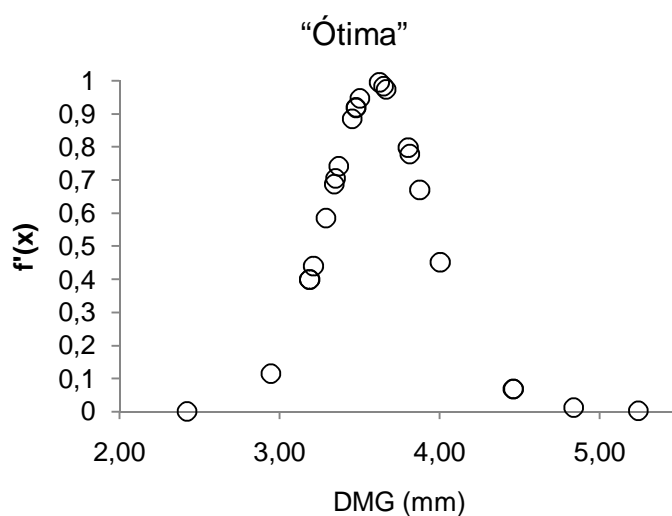


Figura 6: Curva de pontuação padronizada para a variável diâmetro médio geométrico.

Incrementos de carbono orgânico do solo são também acompanhados pelo incremento na agregação, ocorrendo independentemente do tipo de solo. No entanto, aumento na agregação não necessariamente está associado à melhoria da qualidade dos agregados, uma vez que esses podem se apresentar compactados, com uma maior predominância de microporos (Carpenedo e Mielniczuk, 1990).

Para a habilidade de “Permitir a Entrada de Água”, através do teste de Tukey, ao nível de 5% de significância, a área que se apresenta sob 15 anos de intervenção antrópica foi a que obteve a maior pontuação, diferindo estatisticamente das demais áreas, que por sua vez, foram semelhantes entre si (Tabela 6).

Tabela 6: Índices de qualidade do solo para a habilidade de “Permitir a Entrada de Água”.

<b>Tratamentos</b>	<b>Permitir a Entrada de Água</b>	
Área natural	0.13511	<b>b</b>
Área sob 6 anos de intervenção	0.05453	<b>c</b>
Área sob 10 anos de intervenção	0.12499	<b>b</b>
Área sob 15 anos de intervenção	0.23022	<b>a</b>

Valores seguidos da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

O estudo de variáveis canônicas, utilizando para o agrupamento o método de otimização de Tocher, mostrou também uma semelhança entre as áreas 2, 3 e natural. Como as duas primeiras variáveis canônicas explicam mais de 99% das variações que ocorrem nas variáveis estudadas, foi possível fazer a análise gráfica 2D (Figura 7).

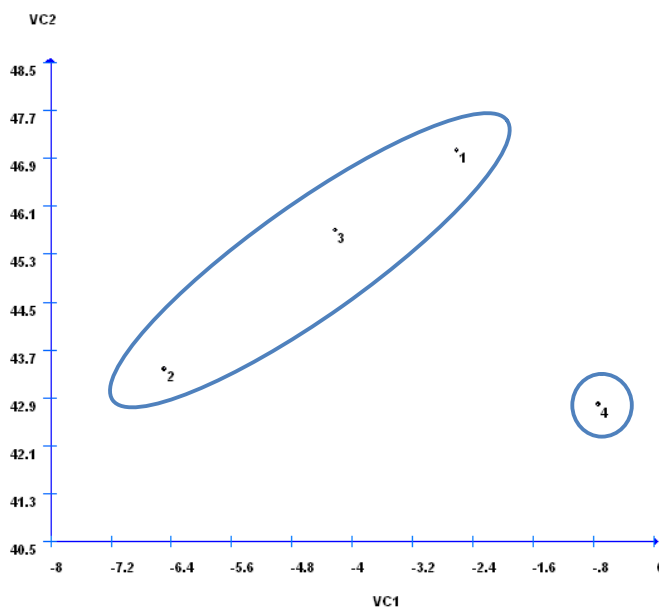


Figura 7: Análise de variáveis canônicas para a habilidade de Permitir a Entrada de Água, com as áreas agrupadas através do método de otimização de Tocher. 1. Área natural; 2. Área sob 6 anos de intervenção; 3. Área sob 10 anos de intervenção; 4. Área sob 15 anos de intervenção.

#### 4.2.2. Facilitar o movimento e a disponibilidade de água (FMDA)

Para esta habilidade foram utilizados, também, os teores de carbono orgânico total do solo, o diâmetro médio geométrico, a densidade global do solo, e, adicionado o atributo carbono da biomassa microbiana do solo.

Os teores de carbono orgânico total entre a mata de covais natural e o sistema de plantio direto sob 15 anos de intervenção antrópica apresentaram os mesmos valores. Na área 4 há uma maior incidência de ervas infestantes propiciando um sistema radicular abundante, que, segundo estudos de Sasmoot et al. (1968), alocam uma fração maior do carbono fotossintetizado para as raízes, podendo ser mais eficientes em aumentar os estoques de carbono orgânico total do solo.

Para os quatro atributos analisados nesta habilidade o carbono da biomassa microbiana apresentou a maior importância relativa, seguido do

carbono orgânico, densidade do solo e do diâmetro médio geométrico (Tabela 7).

Tabela 7: Importância Relativa para a contribuição da diversidade (peso t), avaliada pelo critério de Singh (1981), baseado na distância generalizada de Mahalanobis, para a habilidade de “Facilitar o Movimento e a Disponibilidade de Água”.

<b>Função (q)</b>	Propriedade do solo	Peso (t)
<b>Facilitar o Movimento e a Disponibilidade de Água</b>	CBM	0.43
	CO	0.31
	DS	0.17
	DMG	0.09

Em sistemas de plantio direto, a palhada que fica na superfície do solo promove aumento da infiltração e do armazenamento de água no solo, bem como sua disponibilidade, reduz o impacto de gotas de chuva, aumenta a atividade microbiana e acúmulo de nutrientes e de matéria orgânica (Bayer e Mielniczuk, 1999).

Em estudo realizados por Carneiro et al. (2009), os teores de carbono orgânico total indicaram maiores valores em solos de mata, na profundidade de 0-5 cm, já que neste sistema há uma constante ciclagem de matéria orgânica, proporcionado pela maior diversidade de espécies presentes, preservando mais matéria orgânica.

Em função dos altos teores de carbono da biomassa microbiana e de carbono orgânico total, as áreas natural e 4, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância, mostraram-se estatisticamente semelhantes entre si para a habilidade de “Facilitar o Movimento e a Disponibilidade de Água” (Tabela 8). Tal resultado pode ser associado principalmente há uma maior semelhança entre os quatros atributos analisados para ambas as áreas.

Tabela 8: Índices de qualidade do solo para a habilidade de “Facilitar o Movimento e a Disponibilidade de Água”.

Tratamentos	Facilitar o Movimento e a Disponibilidade de Água
Área natural	0.17611 a
6 anos	0.03275 c
10 anos	0.08433 b
15 anos	0.14227 a

Valores seguidos da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

Para o estudo das variáveis canônicas e utilizando o método de otimização de Tocher, as áreas 2, 3 e 4 se apresentaram com uma semelhança entre si, havendo a formação de 2 grupos, sendo a área natural com características distintas (Figura 8).

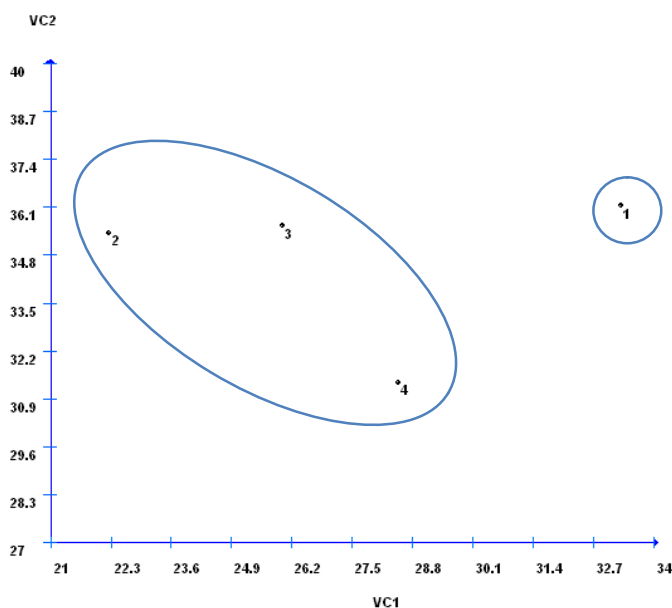


Figura 8: Análise de variáveis canônicas para a habilidade de Facilitar o Movimento e a Disponibilidade de Água, com as áreas agrupadas através do método de otimização de Tocher. 1. Área natural; 2. Área sob 6 anos de intervenção; 3. Área sob 10 anos de intervenção; 4. Área sob 15 anos de intervenção.

#### 4.2.3. Resistir à degradação estrutural (RDE)

Através da análise de importância relativa dos caracteres para a diversidade (Tabela 9), a variável carbono da biomassa microbiana mostrou-se como sendo a mais importante dentre as três variáveis utilizadas no estudo da habilidade de “Resistir à Degradação Estrutural”, seguida do carbono orgânico e do diâmetro médio geométrico.

A degradação da qualidade do solo pelo cultivo é manifestada principalmente por processos erosivos, redução de matéria orgânica, perda de nutrientes, redução de populações microbianas, compactação do solo, entre outros (Staben et al., 1997).

Segundo Silveira et al.(2004), os microrganismos estão envolvidos nos ciclos dos nutrientes do solo e, através de estudos de quantificação de bactérias e fungos, a avaliação de alguns grupos microbianos dá a indicação de como os processos bioquímicos estão ocorrendo. Analisando somente a biomassa microbiana, esse pouco reflete as alterações na qualidade do solo (Brookes, 1995), entretanto, a biomassa microbiana associada ao conteúdo de carbono orgânico pode ser utilizada como índices para comparar a qualidade do solo sob diferentes manejos (Araújo e Monteiro, 2007).

Tabela 9: Importância Relativa para a contribuição da diversidade (peso t), avaliada pelo critério de Singh (1981), baseado na distância generalizada de Mahalanobis, para a habilidade de “Resistir à Degradação Estrutural”.

<b>Função (q)</b>	Propriedade do solo	Peso (t)
<b>Resistir à Degradação Estrutural</b>	CBM	0.51
	CO	0.37
	DMG	0.12

A biomassa microbiana sofre influência do manejo do solo, do tipo de cultivo e, também, dos resíduos vegetais (Perez et al., 2004), e representa cerca de 2% a 5% do carbono orgânico do solo (De Luca, 1998). Apesar disso, a biomassa é mais sensível que os teores de Carbono orgânico e nitrogênio

total para indicar alterações causadas pelas práticas de cultivo (GAMA-Rodrigues, 1999).

O diâmetro médio geométrico apresentou um maior valor para a área 1, provavelmente devido aos maiores teores de carbono orgânico total do solo. Os agregados, segundo Fonseca et al. (2007), são fatores de grande importância para a conservação do solo por conferirem maior resistência ao processo erosivo, proteção à matéria orgânica (que age como agente cimentante) e também à população microbiana.

O teste de Tukey (Tabela 10), ao nível de 5% de significância, mostrou a área 1 com a maior pontuação para a habilidade de “Resistir à Degradação Estrutural”, já que está obteve os maior teores de carbono orgânico, de carbono da biomassa microbiana e de diâmetro médio geométrico.

Tabela 10: Índices de qualidade do solo para a habilidade de “Resistir à Degradação Estrutural”.

<b>Tratamentos</b>	<b>Resistir à Degradação Estrutural</b>	
Área natural	0.20579	<b>a</b>
6 anos	0.02633	<b>c</b>
10 anos	0.09455	<b>b</b>
15 anos	0.12220	<b>b</b>

Valores seguidos da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

As áreas 3 e 4 apresentaram também uma maior semelhança entre si através da análise de variáveis canônicas (Figura 9), com a formação de grupos distintos tanto para a área natural, quanto para a área 2, com a agrupamento realizado à partir do método de otimização de Tocher.

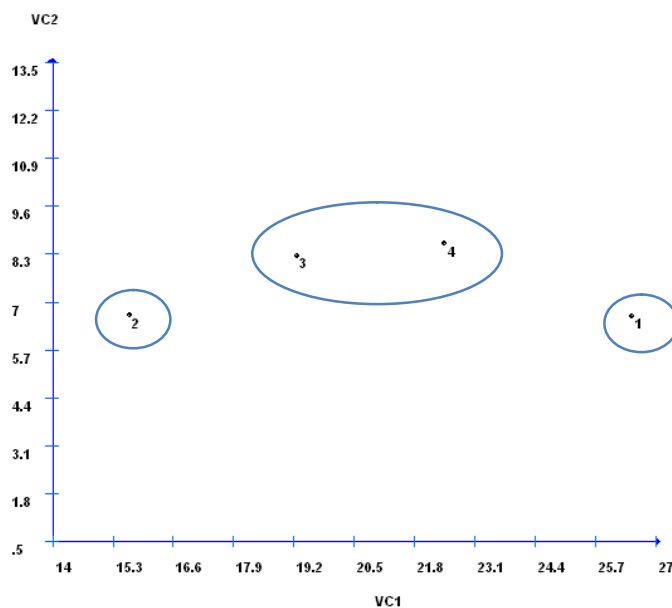


Figura 9: Análise de variáveis canônicas para a habilidade de Facilitar o Movimento e a Disponibilidade de Água, com as áreas agrupadas através do método de otimização de Tocher. 1. Área natural; 2. Área sob 6 anos de intervenção; 3. Área sob 10 anos de intervenção; 4. Área sob 15 anos de intervenção.

#### 4.2.4. Produção de biomassa (PB)

Para um bom funcionamento do sistema solo é importante que haja uma continuidade nos fluxos de matéria e energia e da interação entre os atributos químico, físico e biológico e destes com os sistemas vegetal, atmosférico e antrópico (Nicolodi et al., 2004). Quando o solo se encontra por longos períodos sob o regime de plantio direto há um aumento na complexidade das estruturas formadas, gerando propriedades que podem beneficiar o seu funcionamento e o desenvolvimento das plantas (Vezzani, 2001).

Utilizando o critério de Singh, as variáveis carbono da biomassa microbiana e carbono orgânico total apresentaram as maiores importâncias relativas para a diversidade com pontuações de 0,37 e 0,35 (Tabela 11), respectivamente, explicando, assim, cerca de 72% da diversidade.

Tabela 11: Importância Relativa para a contribuição da diversidade (peso t), avaliada pelo critério de Singh (1981), baseado na distância generalizada de Mahalanobis, para a habilidade de “Produção de Biomassa”.

<b>Função (q)</b>	Propriedade do solo	Peso (t)
<b>Produção de Biomassa</b>	CBM	0.37
	CO	0.35
	NT	0.09
	CTC	0.08
	P	0.06
	pH	0.05

A maior média de carbono da biomassa microbiana foi encontrada na área natural de covais. Em estudos realizados por Mendes et al. (1999), em Latossolo vermelho amarelo sob cerrado, e Venzke Filho (1999), em Latossolo vermelho, mostraram maiores teores de carbono da biomassa microbiana no solo sob vegetação nativa do que em sistemas cultivados.

Tanto a área com 15 anos sob intervenção antrópica, quanto a área de coval natural apresentaram o mesmo valor médio para a variável carbono orgânico total. Geralmente, de acordo com estudos de D’Andrea et al. (2002), é natural esses maiores teores de carbono orgânico total em solos de Cerrado goiano. Provavelmente, devido a um maior aporte de resíduos orgânicos de boa qualidade, depositados na superfície do solo, proporcionaram esses valores semelhantes de carbono orgânico total para as duas áreas. E por apresentarem os maiores teores tanto de carbono da biomassa, quanto de carbono orgânico, estas áreas apresentaram também os maiores valores de matéria orgânica.

Segundo Tognon et al. (1997), quando a vegetação original de uma área é o cerrado nativo, as reduções no teor de carbono orgânico em decorrência de intervenções antrópicas têm sido menores do que em solos sob mata.

Segundo Volkweiss (1989), a CTC efetiva aumenta à medida que se corrige a acidez do solo, ou seja, aumento de pH do solo. Os maiores valores de pH e CTC foram encontrados para as áreas sob intervenção antrópica, onde, para uso agrícola que, inicialmente, foram realizadas aplicações de

calcário dolomítico para correções de acidez do solo. Tal relação entre estas variáveis também pode ser verificada em estudos de Nicolodi et al. (2008).

Os teores de fósforos foram maiores para áreas sob intervenção antrópica, corroborando com os estudos realizados por Cavalcante et al. (2007) e Souza e Alves (2003), onde o sistema de plantio direto apresentou maiores teores de fósforo quando comparados com áreas de cerrado. Nesse sistema de plantio ocorre um aumento de matéria orgânica, em decorrência da decomposição de palhada. A matéria orgânica é uma das principais características que influem na adsorção de fósforo, interagindo com os óxidos de ferro e alumínio resultando em redução dos sítios de fixação, e propicia um acúmulo de nutrientes na superfície (Silveira e Stone, 2001).

O plantio direto tem levado a menores perdas totais de nutrientes e matéria orgânica, pela sua eficácia no controle da erosão (HERNANI et al., 1999), possuindo menores taxas de decomposição anual da matéria orgânica do solo, em relação ao cultivo convencional (Bayer, 1996).

Já os teores de nitrogênio total foram maiores para a área natural de covais, onde, segundo Cantarella (2007), a maior fração de nitrogênio se encontra na forma orgânica e fica localizado na própria matéria orgânica, podendo ser disponibilizado para as plantas através de processos de mineralização promovidos pela biomassa microbiana.

Segundo o teste de Tukey, ao nível de 5% de significância, para a habilidade de “Produção de Biomassa”, a área natural apresentou a melhor pontuação para esta habilidade (Tabela 12), seguida das áreas 4, 3 e 2.

Tabela 12: Índices de qualidade do solo para a habilidade de “Produção de Biomassa”.

<b>Tratamentos</b>	<b>Produção de Biomassa</b>	
Área natural	0.18802	<b>a</b>
6 anos	0.05368	<b>d</b>
10 anos	0.08599	<b>c</b>
15 anos	0.13880	<b>b</b>

Valores seguidos da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

Por fim, apenas para esta habilidade a análise de variáveis canônicas (Figura 10), utilizando para o agrupamento o método de otimização de Tocher, mostrou resultados diferentes dos verificados pelo teste de Tukey. Nesta habilidade houve a formação de 2 grupos, sendo um formado pela área natural e o outro com as outras três áreas. Isso provavelmente ocorreu devido às semelhanças encontradas para as três áreas, principalmente para os teores de carbono orgânico e carbono da biomassa microbiana.

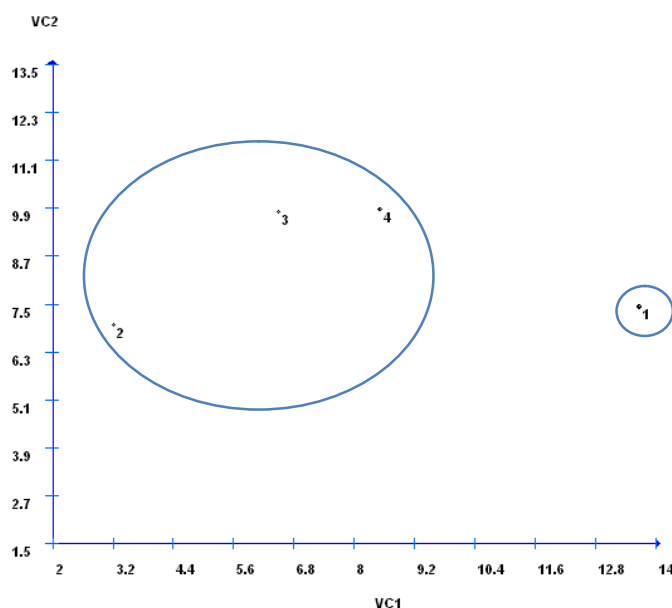


Figura 10: Análise de variáveis canônicas para a habilidade de Produção de Biomassa, com as áreas agrupadas através do método de otimização de Tocher. 1. Área natural; 2. Área sob 6 anos de intervenção; 3. Área sob 10 anos de intervenção; 4. Área sob 15 anos de intervenção.

No entanto, vale ressaltar que o modelo de Karllen e Stott (1994) não se mostrou eficiente em trazer informações referentes à produção de biomassa, uma vez que este não adota informações referentes à produção e também por ser mais utilizado para formação de índices de qualidade principalmente para áreas de uso agrícola.

Assim, é recomendado a realização de novos estudos e adaptações referentes a este modelo, principalmente no que se refere a diferenças de produção de biomassa entre uma área agrícola e uma natural.

### 4.3. Índices de Qualidade do Solo (IQS)

Para gerar os índices de qualidade (Tabela 13) das áreas de estudo, foi realizada a soma das pontuações atribuídas a cada das habilidades do solo estudadas anteriormente. Os maiores índices foram verificados para as áreas 4 e natural, onde, de acordo com o teste de Tukey, ao nível de 5% de significância, não houveram diferenças significativas entre elas em termos de qualidade do solo.

Tal semelhança entre estas áreas ocorreu, provavelmente, devido aos valores de carbono da biomassa microbiana e carbono orgânico total serem bastante próximos entre as duas. Em estudos feitos por Balota et al. (1998) foram observados também aumentos nos teores de carbono da biomassa em um sistema de plantio direto, num experimento com 16 anos de duração.

Tabela 13: Pontuações obtidas para cada uma das habilidades do solo e os IQS's para cada uma das áreas de estudo. (1) área natural, (2) 6 anos de intervenção antrópica, (3) 10 anos de intervenção antrópica e (4) 15 anos de intervenção antrópica.

Áreas	Índices				
	PEA	FMDA	RDE	PB	IQS
1	0.13511 <b>b</b>	0.17611 <b>a</b>	0.20580 <b>a</b>	0.18802 <b>a</b>	<b>0.70502 a</b>
2	0.05453 <b>c</b>	0.03275 <b>c</b>	0.02633 <b>c</b>	0.05368 <b>d</b>	<b>0.16729 c</b>
3	0.12499 <b>b</b>	0.08433 <b>b</b>	0.09455 <b>b</b>	0.08599 <b>c</b>	<b>0.38985 b</b>
4	0.23025 <b>a</b>	0.14227 <b>a</b>	0.12220 <b>b</b>	0.13880 <b>b</b>	<b>0.63352 a</b>

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância. PEA: Permitir a entrada de água; FMDA: Facilitar o movimento e a disponibilidade de água; RDE: Resistir à degradação estrutural; PB: Produção de biomassa; IQS: Índice de qualidade do solo.

Como pode ser observado nas Tabelas 7, 9 e 11, as variáveis biológicas sempre contribuíram mais para a diversidade do que as variáveis físicas e químicas. Isso demonstra uma maior sensibilidade dos indicadores biológicos para identificar mudanças na qualidade do solo.

No sistema de plantio direto o não revolvimento e a constante cobertura do solo permitem o acúmulo de matéria orgânica na superfície do solo, fornecendo nutrientes para o crescimento e desenvolvimento dos microrganismos, mostrando assim essa sensibilidade que as propriedades biológicas têm à mudanças que ocorrem nos solos, principalmente em plantio direto que beneficia esse grupo (Alvarez et al., 1995; Matsuoka et al., 2003; Franchini et al., 2007).

Há um grande número de ervas infestantes ocorrendo na área 4. Segundo Primavesi (1988), essa alta incidência de indivíduos botânicos gera todo um ambiente que propicia o crescimento e desenvolvimento da microfauna do solo, aumento assim os teores das variáveis CO e CBM. Como são áreas utilizadas para a agricultura, elas se mostram semelhantes também em termos de indicadores químicos e físicos de qualidade do solo.

A área 2 de apresentou o menor IQS, diferindo estatisticamente das demais áreas de estudo. Como esta é uma área com pouco tempo de uso, comparando com as outras áreas para a agricultura, ainda não houve a incidência de ervas-daninhas, e que por sua vez, diminuem os efeitos nas variáveis biológicas, e que também afetam a qualidade das demais variáveis que influenciam na qualidade do solo.

#### **4.4. Correlação das ervas infestantes com as variáveis químicas, físicas e biológicas**

A ocorrência de ervas-infestantes foi verificada apenas nas áreas 3 e 4. No total foram encontradas 11 espécies diferentes, divididas entre 5 famílias botânicas, com uma maior ocorrência das famílias Asteraceae, Euphorbiaceae e Rubiaceae (Tabela 3).

Feldman et al. (1997), testando quatro sistemas de manejo de solo (arado de discos, grade, escarificador e semeadura direta), durante três anos,

observaram que a semeadura direta apresentou banco de sementes maior, mais concentrado na camada superior do perfil do solo. A diversidade do banco de sementes também aumentou em direção ao cultivo zero, ou semeadura direta, suportando a hipótese de que os sistemas que menos distúrbios causam ao solo favorecem a formação de um banco de sementes maior e mais diverso.

A família que apresentou um maior número de indivíduos foi a Euphorbiaceae, num total de 3106 indivíduos, sendo sua grande maioria na área de 15 anos de intervenção antrópica (2580 indivíduos).

A espécie *Chamaesyce hirta* (L.) millsp. foi a que se apresentou com uma maior ocorrência em ambas as áreas (525 e 2520, respectivamente áreas 3 e 4). Pelo teste de “t” de Student, ao nível de 5% de significância, esta espécie mostrou uma correlação de Pearson significativa positiva (0,844) com a variável carbono da biomassa microbiana, ou seja, esta espécie é sensível à alterações que ocorram à comunidade microbiana do solo, diminuindo sua ocorrência quanto esta também diminui.

Correlações significativas foram observadas para as variáveis pH e teor de fósforo com a espécie *Richardia brasiliensis*. A correlação foi negativa com o pH (correlação de -0,645) e positiva com os teores de fósforo ( correlação de 0,855), mostrando uma preferência desta espécie a menores valores de pH e maiores teores de fósforo.

*Ageratum conyzoides* L., *Leonotis nepitifolia* e *Euphorbia hiterophylla* L. mostraram correlações significativas com a densidade do solo. As duas últimas mostraram-se mais sensíveis a alterações de aumento da densidade, reduzindo a sua ocorrência nas áreas de estudo, e a espécie *Leonotis nepitifolia* mostrou-se ainda com uma maior ocorrência em locais com maiores valores de DMG. Tal correlação significativa positiva com a variável DMG também foi verificada para a espécie *Bidens pilosa* L.

## 5. Conclusões

O modelo para obtenção do índice de qualidade do solo utilizado mostrou-se uma ferramenta muito útil para avaliar o efeito dos diferentes anos de uso do solo, para cada uma das habilidades do solo.

O modelo não se mostrou eficiente para avaliar a “produção de biomassa” entre áreas agrícolas e naturais.

Os índices de qualidade do solo para as áreas natural e sob 15 anos de intervenção antrópica foram estatisticamente semelhantes entre si, 0,70502 e 0,63352 respectivamente, e diferiram das demais áreas, que também diferiram entre si, com a área sob 10 anos de intervenção apresentando um índice de 0,38985 e a área sob 6 anos de intervenção antrópica um índice de 0,16729.

As espécies de ervas-daninhas encontradas nas áreas sob 10 e 15 anos de intervenção antrópica *Chamaesyce hirta* (L.) millsp, *Bidens pilosa*, *Richardia brasiliensis*, *Ageratum conyzoides* L., *Leonotis nepitifolia* e *Euphorbia hiterophylla* L. se mostraram como indicadores visuais sensíveis às alterações no carbono da biomassa microbiana, pH, fósforo, densidade do solo e diâmetro médio geométrico.

## 6. Referências Bibliográficas

AGUIAR, M. I. de. **Qualidade Física dos Solos em Sistemas Agroflorestais**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2008. (Dissertação de mestrado).

ALHO, C. J. R.; MARTINS, E. de S. **De Grão em Grão, o Cerrado Perde Espaço (Cerrado - Impactos do Processo de Ocupação)**. Brasília: WWF. 66 p. 1995.

ALVAREZ, R.; DIAZ, R. A.; BARBERO, N.; SANTANATOGLIA, O. J.; BLOTTA, L. **Soil organic carbon, microbial biomass and CO<sub>2</sub>-C production from three tillage systems**. Soil & Tillage Research 33: 17-28, 1995.

ANJOS, L. H. C. dos; PEREIRA, M. G.; PÉREZ, D. V.; RAMOS, D. P. **Caracterização e classificação de plintossolos no município de Pinheiro-MA**. R. Bras. Ci. Solo, 31:1035-1044, 2007.

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. **Indicadores biológicos de qualidade do solo**. Bioscience Journal, Uberlândia, v. 23, n. 3, p. 66-75, July./Sept. 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 cultura**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 22, 641-649, 1998.

BARBOSA, Altair Sales. **Andarilhos da Claridade: os primeiros habitantes do Cerrado**. Goiânia: Universidade Católica de Goiás. Instituto do Trópico Subúmido. 406 p. 2002.

BAYER, C. **Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos**. Porto Alegre. 241p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1996.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. **Dinâmica e função da matéria orgânica**. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). *Matéria orgânica do solo: fundamentos e caracterização*. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 9-26.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F. **Efeito do conteúdo de água e da compactação do solo na produção de soja**. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 38:849-856, 2003.

BREMNER, J. M.; MULVANEY, C. S. **Nitrogen total**. In: PAGE, A. L. et al., Eds, *Methods of soil analysis, Part 2*, 2 Ed. Agronomy series nº 9. ASA. Madison, Wisc. 1982. 595-624 p.

BROOKES, D. C. **The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals**. *Biology and Fertility of Soils*, Berlin, v. 19, p. 269-279, 1995.

BURGER, J.A.; KELTING, D.L. **Using soil quality indicators to assess forest stand management**. *For. Ecol. Manage.*, 122:155-166, 1999.

CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. **Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 19:121-126, 1995.

CANTARELLA, H. **Nitrogênio**. In: NOVAES, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds). *Fertilidade do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. P.375-470.

CARNEIRO, C. R. A.; MELÉM JÚNIOR, N. J.; AZEVEDO, M. C. B. de; ANDRADE, E. A.; KOGUISHI, M. S.; DIEHL, R. C.; RICCE, W. da S.; PASSARIN, A. L.; VAZ, R. H. de M.; STELMACHUK, T. L. da L.; GUIMARÃES, M. de F.; RALISCH, R. **Efeitos dos sistemas de manejo sobre o carbono orgânico total e carbono residual de um latossolo vermelho eutroférico.** Semina, Londrina, v. 30, n. 1, p. 5-10, jan./mar. 2009.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. **Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.14, n.1, p.99-105, 1990.

CAVALCANTE, E. G. S.; ALVESS, M. C.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M. de. **Variabilidade espacial de MO, P, K e CTC do solo sob diferentes usos e manejos.** Ciência Rural, v.37, n.2, mar-abr, 2007.

CHAN, K. Y. **An overview of some tillage impacts on earthworm population abundance and diversity: implications for functioning in soils.** Soil and Tillage Research, v.57, p.179-191, 2001.

CRUZ, C. D. **Programa GENES – Análise Multivariada e Simulação.** Editora Viçosa, Viçosa, MG. 2006. 175p.

CRUZ, C. D. ; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos Biométricos Aplicados ao Melhoramento Genético** (volume 2), Editora UFV, Viçosa, MG. 2003. 585p.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético.** Viçosa, MG: UFV, 1994, 394p.

D'ANDREA, 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 do sula do Estado de Goiás.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 26: 913-923. 2002.

DECÄENS, T.; BUREAU, F.; MARCERIE, P. **Earthworm communities in a wet agricultural landscape of the Seine Valley (Upper Normandy, France)**. *Pedobiologia*, v.47, p.479-489, 2003.

DE LUCA, T.H. **Relationship of 0,5 M K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> extractable anthronereactive carbon to indices of microbial activity in forest soils**. *Soil Biology and Biochemistry*, v.30, p.1293-1299, 1998.

DORAN, J.W. **Soil Quality and sustainability**. In: Comissão do "V Inventory, Genesis, Morphology and Classification of Soils" no XXVI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Rio de Janeiro, 1997. 19p.

DORAN, J.W. & PARKIN, T.B. **Defining and assessing soil quality**. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STAWART, B.A., eds. *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison. Soil Science Society of America, 1994. P. 3-21. (Special Publication, 35).

DORAN, J.W.; SARRANTONIO, M.; LIEBIG, M.A. **Soil health and sustainability**. *Adv. Agron.*, 56: 1-54, 1996.

DURIGAN, G. **Observations on the southern cerrados and their relationship with the Core Area**. In *Neotropical savannas and dry forests: diversity, biogeography, and conservation*. P.59- 69. 2005.

EITEN, G. **Vegetação do Cerrado**. In *Cerrado: Caracterização, ocupação e perspectivas* (PINTO, M.N. org.). Editora Universidade de Brasília, Brasília, 9-65p. 1990.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

FELDMAN, S.R.; ALZUGARAY, C.; TORRES, P.S.; LEWIS, P. **The effect of different tillage systems on the composition of the seedbank**. Weed Res., v.37, n.2, p.71-76, 1997.

FERREIRA, D. F. **Estatística multivariada**. 1. Ed., Lavras: Ed. UFLA, 2008. 662 p.

FONSECA, G. C.; CARNEIRO, M. A. C. C.; COSTA, A. R. da; OLIVEIRA, G. C. da; BALBINO, L. C. **Atributos químicos, físicos e biológicos de latossolo vermelho distrófico de cerrado sob duas rotações de cultura**. Pesquisa Agropecuária Tropical 37 (1): 22-30, mar. 2007.

FRANCHINI, J. C.; CRISPINO, C. C.; SOUZA, R. A.; TORRES, E.; HUINGRIA, M. **Microbiological Parameters as indicators of soil quality under various soil management and crop rotation systems in southern Brazil**. Soil & Tillage Research. 92, 18-29, 2007.

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

GOODLAND, R. & POLLARD, R. 1973. **The Brazilian cerrado vegetation: a fertility gradient**. Journal of Ecology 61:219-224.

GREGORICH, E. G.; CARTER, M. R.; ANGERS, D. A.; MONREAL, C. M.; ELLERT, B. H. **Towards a minimum data set to assess soil organic-matter quality in agricultural soils**. Canadian Journal of Soil Science, Montreal, v. 74, p. 367-385, 1994.

HARRIS, R.F.; CHESTERS, G.; ALLEN, O.N. **Dynamics of soil aggregation**. *Advances in Agronomy*, v.18, p.107-169, 1966.

HERNANI, L.C.; KURIHARA, C.H.; SILVA, W.M. **Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.23, p.145-154, 1999.

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 Tillage Res.*, 50:237-249, 1999.

JOHNSON, D. L.; AMBROSE, S. H.; BASSET, J. J.; BOWEN, M. L. CRUMMEY, D. E.; ISAACSON, J. S.; JOHNSON, D. N.; LAMB, P.; SAUL, M.; WINTER-NELSON, A. E. **Meanings of environmental terms**. *Journal of Environmental Quality*, New York, v. 26, p. 581-589, 1997.

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. F. & STEWART, B. A., eds. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison, Soil Science Society of American, 1994. p. 53-72. (Special Publication, 35).

KELTING, D.L.; BURGER, J.A.; PATTERSON, S.C.; AUST, W.M.; MIWA, M. & TRETTIN, C.C. **Soil quality assessment in domesticated forests – a southern pine example**. *For. Ecol. Manag.*, 122: 167-185, 1999.

KENNEDY, A.; DORAN, J. Sustainable agriculture: role of microorganisms. In: BITTON, G. (Org.) **Encyclopedia of Environmental Microbiology**. New York: John Wiley & Sons, 2002. p. 3116-3126.

KIEHL, E.K. **Manual de edafologia: relações solo-planta**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1979. 262p.

KLADIVKO, E. J. **Tillage systems and soil ecology**. Soil and Tillage Research, v.61, p.61-76, 2001.

KLEIN, V. A. **Densidade relativa - um indicador da qualidade física de um latossolo vermelho**. Revista de Ciências Agroveterinárias, Lages, v.5, n.1, p. 26-32, 2006.

LARCHER, W. 2000. **Ecofisiologia vegetal**. RiMa, São Carlos, 531p.

LARSON, W.E.; PIERCE, F.J. **Conservation and enhancement of soil quality**. In: Evaluation on for Sustainable Land Management in the Developing World. Vol. 2 ISBRAM. Proc. 12(2) Int. Board for Soil Res. And Management. Bangkok, Tailândia-1991.

LAVELLE, P.; SPAIN, A. **Soil ecology**. Kluwer Academic Publishers (Ed.), Dordrecht, 2001. 654 p.

MACHADO, R. B.; RAMOS NETO, M. B.; PEREIRA, P. G. P.; CALDAS, E.; GONÇALVES, D. A.; SANTOS, N. S.; TABOR, K.; STEININGER, M. **Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro. Relatório técnico não publicado**. Conservação Internacional, Brasília, DF. 2004.

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 27, 425-433, 2003.

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

MENDES, I. C.; CARNEIRO, R. G.; CARVALHO A. M.; VIVALDI, L.; VARGAS, M. A. T. **Biomassa C e atividade microbiana em solos de cerrado sob**

**plantio direto e convencional.** Embrapa/CPAC, Planaltina. 5p. 1999. (Boletim técnico 5).

MIELNICZUK, J. **Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas.** In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O. eds. Fundamentos da matéria orgânica do solo. Ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre, Genesis, 1999, p.1-8.

MMA - Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. **Primeiro Relatório Nacional para a Convenção sobre Diversidade Biológica.** Brasília: MMA. 283 p. 1998.

MOÇO, M. K. da S. GAMA-RODRIGUES, E. F. da. GAMA\_RODRIGUES, A. C. da. CORREIA, M. E. F. **Caracterização da fauna edáfica em diferentes coberturas vegetais na região norte fluminense.** R. Bras. Ci. Solo, 29:555-564, 2005.

NICOLODI, M.; GIANELLO, C.; ANGHINONI, I. **Fertilidade: uma propriedade emergente do sistema solo.** In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 5., Florianópolis, 2004. Anais. Florianópolis, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 2004. CD-ROM.

NICOLODI, M.; GIANELLO, C.; ANGHINONI, I.; MARRÉ, J.; MIELNICZUK. **Insuficiência do conceito mineralista para expressar a fertilidade do solo percebida pelas plantas cultivadas no sistema plantio direto.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 32:2735-2744, 2008, Número Especial.

OLIVEIRA, F. R. de A.; VALARINI, P. J.; POPPI, R. J. **Indicadores de qualidade do solo em área de mata e cultivado com cana orgânica e convencional.** Rev. Bras. de Agroecologia. Vol.2 No.2. Out. 2007.

OLIVEIRA-FILHO, A.T.; RATTER, J .A. **A study of the origin of central Brazilian forests by analysis of plant species distribution patterns.** Edinburg Journal of Botanic 52(2):141-194. 1995.

OLIVEIRA, J.B. **Pedologia aplicada**. Jaboticabal, FUNEP, 2001. 414p.

OLIVEIRA-FILHO, A. T. FURLEY, P. A. **Monção, cocuruto, murundu**. *Ciência Hoje* 61: 30-37. 1990.

PEIXOTO, M. de F. da S. P. **Atributos físicos, químicos e biológicos como indicadores da qualidade do solo**. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Biologia do solo, 2008. (NOTAS DE AULA).

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, Brasília, v.39, n.6, p.567-573, jun. 2004.

PIRES, M. O. **Cerrado: Sociedade e Biodiversidade**. In: Edviges Ioris (org.), Plantas Medicinais do Cerrado: Perspectivas Comunitárias para a Saúde, o Meio Ambiente e o Meio Sustentável, Anais do Workshop Plantas Medicinais do Cerrado, Mineiros - GO. Goiânia: Universidade Católica de Goiás. p. 155-173. 1999.

PRADO, D. E.; GIBBS, P. E. **Patterns of species distributions in the dry seasonal forests of South America**. Annals of the Missouri Botanical Garden 80: 902-927. 1993.

PRIMAVESI, A. **O manejo ecológico do solo: Agricultura em regiões tropicais**. 9.ed. São Paulo: Nobel, 1987. 550p.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico de pragas e doenças: técnicas alternativas para a produção agropecuária e defesa do meio ambiente**. São Paulo: Nobel, 1988.

PROENÇA, C.; OLIVEIRA, R. S.; SILVA, A. P. **Flores e Frutos do cerrado**. Brasília: EdUnB, São Paulo: Imprensa Oficial do Estado. 226p. 2000.

REICHERT, J.M; REINERT D.J. BRAIDA, J.A. **Manejo, qualidade do solo e sustentabilidade: condições físicas do solo agrícola.** CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29, 2003, Ribeirão Preto. Palestras. Ribeirão Preto: SBCS, 2003 (CD-ROM).

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; VEIGA, M.; SUZUKI, L. E. A. S. **Qualidade física do solo.** In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 16., 2006, Aracaju. Anais... Aracaju:SBCS, 2006, 1 CD-ROM.

RIBEIRO, J.F. & WALTER, B.M.T. **Fitofisionomias do bioma cerrado.** *In* Cerrado: Ambiente e flora (SANO, S.M. & ALMEIDA, S.P. eds). EMPBRAPA-CPAC, Planaltina, p. 89- 152. 1998.

SANDS, G.R.; PODMORE, T.H. **A generalized environmental sustainability index for agricultural systems.** *Agric. Ecosys. & Environ.*, 79:29-41, 2000.

SANO, S. M.; ALMEIDA, Semirámis. P. **Cerrado: Ambiente e Flora.** Brasília: EMBRAPA. 1998.

SAVIOZZI, A.; BUFALINO, P.; LEVI-MINZI, R.; RIFFALD, R. **Biochemical activities in a degraded soil restored by two amendments: a laboratory study.** *Biology & Fertility of Soils*, Berlin, v. 35, p. 96-101, 2002.

SHAMOOT, S.; MCDONALD, L.; BARTHOLOMEW, W. V. **Rhizodeposition of organic matter debris in soil.** *Soil Science Society American Journal*, Madison, v. 32, n. 6, p. 817-820, 1968.

SILVA, F. C. da. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999).

SILVA, J. M. C. **Birds of the Cerrado Region, South America**. Steenstrupia 21:69-92. 1995.

SILVEIRA, R. B.; MELLONI, R.; PEREIRA, E. G. **Atributos microbiológicos e bioquímicos como indicadores da recuperação de áreas degradadas, no sul de Minas Gerais**. Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais, Curitiba, v.2, n.2, p. 21-29, abr./jun. 2004.

SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. **Teores de nutrientes e matéria orgânica afetados pela rotação de cultura e sistema de preparo do solo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 25, n.3, p.387-394, 2001.

SINGH, D. **The relative importance of characters affecting genetic divergence**. Indian Journal of Genetic and Plant Breeding, v.41, n.2, p.237-245, 1981.

SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C. **Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho distrófico de cerrado sob diferentes usos e manejos**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 27, n.1, p.133-139, 2003.

STABEN, M.L.; BEZDICEK, D.F.; SMITH, J.L.; FAUCI, M.F. **Assessment of soil quality in conservation reserve program and wheat-fallow soils**. Soil Science Society of America Journal, v.61, n.1, p.124-130, Jan./Feb. 1997.

STENBERG, B. **Monitoring soil quality of arable land: microbiological indicators**. Soil and Plant Sci., 49:1-24, 1999.

TABOADA, M. A.; MICUCCI, F. G. **Fertilidad Física de los Suelos**. Ed. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, 2002.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análises de solos, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, 1995. 174 p. (Boletim Técnico de Solos, 5).

TOGNON, A.A.; DEMATTÊ, J.A.M.; MAZZA, J.A. **Alterações nas propriedades químicas de Latossolos roxos em sistemas de manejo intensivos e de longa duração.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.21, p.271-278, 1997.

TORMENA, C.A.; ROLOFF, G. **Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio** direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.20 p.333-339. 1996.

TÓTOLA, M. R. & CHAER, G. M. **Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos.** In: Tópicos em Ciência do Solo. Vol. II. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa: 2002. p. 195-276.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. **An extraction method for measuring soil biomass C.** Soil Biol. Bioc., 19: 703-707, 1987.

VENZKE FILHO, S. P. **Microbiota e sua atividade em uma cronosequência sob sistema de plantio direto.** Universidade de São Paulo – Esalq, Piracicaba. 65 p. 1999. (Dissertação de Mestrado).

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

VOLKWEISS, S.J. **Química da acidez dos solos.** In: KAMINSKI, J.; VOLKWEISS, J. & BECKER, F.C. SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS DA ACIDEZ DO SOLO, 2., Santa Maria, 1989. Anais. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 1989. p.7-38.

WHITMORE, T.C.; PRANCE, G.T. **Biogeography and Quaternary History in Tropical America.** Clarendon Press Oxford. 1987.

WITTIG, R. General aspects of biomonitoring heavy metals by plants. In: MARKERT, B. (org.). **Plants as biomonitors. Indicators for heavy metals in the terrestrial environment.** Weinheim: VCH, 1993. p.3-27.

WYMORE, A. W. **Model-based systems engineering. An introduction to the mathematical theory of discrete systems and to the tricotyledon theory of system design.** CRC, Boca Raton, FL, 1993.

XIV Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água. **Guia de excursão de estudos no estado de Mato Grosso**, Cuiabá; UFMT. 2002.

## APÊNDICES

APÊNDICE A: Pesos numéricos associados a cada variável para uso no modelo de qualidade do solo, determinados pela análise de contribuição relativa dos caracteres para diversidade, segundo o critério de Singh (1981), baseado na distância generalizada de mahalanobis

<b>Função (q)</b>	<b>q</b>	<b>w</b>	<b>Propriedade do Solo</b>	<b>peso (t)</b>
<b>Permitir a Entrada de Água</b>	1	0.25	CO	0.48
			DS	0.44
			DMG	0.08
<b>Facilitar o Movimento e a Disponibilidade de Água</b>	2	0.25	CBM	0.43
			CO	0.31
			DS	0.17
			DMG	0.09
<b>Resistir à Degradação Estrutural</b>	3	0.25	CBM	0.51
			CO	0.37
			DMG	0.12
<b>Produção de Biomassa</b>	4	0.25	CBM	0.37
			CO	0.35
			NT	0.09
			CTC	0.08
			P	0.06
			pH	0.05

APÊNDICE B: Funções de pontuação utilizadas para o cálculo de normalização das variáveis

Tipo de curva	Propriedades	Indicador	Prof. (cm)	Base ( $\beta$ )			Limite ( $\mu$ )		$\alpha$
				Inf.	Sup.	Ótima	Inf.	Sup.	
<i>Menos é melhor</i>	<i>Física</i>	DS	10	0.90			0.81	1.0	-18.247
<i>Ótimo</i>		DMG	10	3.12	4.1	3.6	2.40	5.29	0.9987
<i>Mais é melhor</i>	<i>Química</i>	CTC	10	7.61			5.13	10.09	0.7345
<i>Ótimo</i>		pH	10	5.55	6.45	6	4.99	7.23	1.0012
<i>Mais é melhor</i>		P	10	3.02			0.40	5.64	0.5234
<i>Mais é melhor</i>		NT	10	0.22			0.0	0.44	7.4367
<i>Mais é melhor</i>	<i>Biológicas</i>	CO	10	18.57			12.79	24.35	0.3228
<i>Mais é melhor</i>		CBM	10	499.54			56.61	942.46	0.00345

APÊNDICE C: Índices de correlação de Pearson entre as espécies de ervas infestantes e as variáveis químicas, físicas e microbiológicas para a áreas 3 e 4.

	<i>Chamaesyce hirta</i>	<i>Richardia brasiliensis</i>	<i>Ageratum conyzoides</i> L.	<i>Leonotis nepitifolia</i>	<i>Euphorbia hiterophylla</i> L.	<i>Bidens pilosa</i> L.
DS	-0.429616	0.398193	0.594124	-0.67215	-0.6405	-0.41278
DMG	0.1116191	-0.04072	-0.29681	0.616303	0.328301	0.713598
CTC	0.1210377	-0.46338	-0.20524	0.460155	0.46149	0.316826
pH	0.2925162	-0.64467	0.102466	0.329673	0.301048	0.185523
NT	0.0167726	0.144808	-0.06208	0.573403	0.35357	0.250594
CO	0.3918399	-0.1766	-0.33516	0.4687	0.513924	0.114222
CBM	0.8445631	-0.1881	-0.0772	0.572059	0.511468	-0.13459
MO	0.2614677	0.098133	0.019337	0.550938	0.524986	0.012605
P	0.2156548	0.854826	-0.23554	-0.23063	-0.27676	-0.05946