

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**EFEITO DO USO DO SOLO SOBRE SEUS ATRIBUTOS NA
MICRORREGIÃO DE CHAPADINHA-MA**

**Cristiane Rêgo Oliveira Pinto
Engenheira Agrônoma**

2014

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**EFEITO DO USO DO SOLO SOBRE SEUS ATRIBUTOS NA
MICRORREGIÃO DE CHAPADINHA-MA**

Cristiane Rêgo Oliveira Pinto

Orientador: Prof. Dr. José Eduardo Corá

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Ciências do Solo).

2014

P659u Pinto, Cristiane Rêgo Oliveira
Efeito do uso do solo sobre seus atributos na microrregião de Chapadinha-MA / Cristiane Rêgo Oliveira Pinto. -- Jaboticabal, 2014
xiii, 85 p.; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2014

Orientador: José Eduardo Corá

Banca examinadora: Ivan Barbosa Machado Sampaio, Everlon Cid Rigobelo, Antonio Carlos Monteiro, Ana Maria Rodrigues Cassiolato

Bibliografia

1. Respiração basal. 2. Carbono da biomassa microbiana. 3. Atividade enzimática. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.427.2

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

CAMPUS DE JABOTICABAL

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: EFEITO DO USO DO SOLO SOBRE SEUS ATRIBUTOS NA MICRORREGIÃO DE CHAPADINHA-MA


AUTORA: CRISTIANE RÊGO OLIVEIRA PINTO
ORIENTADOR: Prof. Dr. JOSE EDUARDO CORA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR EM AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO) , pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. JOSE EDUARDO CORA
Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Prof. Dr. EVERLON CID RIGOBELLO
Departamento de Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Prof. Dr. ANTONIO CARLOS MONTEIRO
Departamento de Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Prof. Dr. IVAN BARBOSA MACHADO SAMPAIO
Universidade Federal de Minas Gerais / Belo Horizonte/MG


Profa. Dra. ANA MARIA RODRIGUES CASSIOLATO
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Data da realização: 12 de dezembro de 2014.

DADOS CURRICULARES DA AUTORA

CRISTIANE RÊGO OLIVEIRA PINTO – Nasceu em 25 de agosto de 1973, na cidade de São Luís, MA, onde cursou ensino médio no colégio Santa Teresa. Ingressou no curso de Agronomia da Universidade Estadual do Maranhão em 1992, adquirindo o grau de Engenheira Agrônoma no segundo semestre de 1997. No ano de 1998, ingressou no Curso de Mestrado em Microbiologia área de concentração Microbiologia da Universidade Estadual Paulista-UNESP, Campus de Jaboticabal-SP, obtendo o título de mestre em 2000. Durante o mestrado foi bolsista da FAPESP. No interstício 2001-2002 ministrou aulas de microbiologia agrícola no curso de Agronomia da Universidade Estadual do Maranhão. No período de fevereiro de 2003 a maio de 2008 após ser aprovada em concurso público assumiu os cargos de Coordenadora Administrativa e professora no Centro de Capacitação Tecnológica do Maranhão na cidade de Imperatriz-MA em que ministrou aulas nos cursos de capacitação de: biologia, química e processamento de frutas e hortaliças para alunos do ensino médio. No mesmo período e cidade ministrou aulas nos cursos de Zootecia (disciplinas de Microbiologia Geral, Tecnologia de Produtos agropecuários, Pedologia e Ecologia Geral) e Enfermagem (Ecologia Geral) na FACIMP-faculdade de Imperatriz. Em junho de 2008, após aprovação em concurso público, assumiu a função de professora da Universidade Federal do Maranhão – Campus de Chapadinha em que ministrou aulas para os cursos de Agronomia (disciplinas de Ecologia Agrícola, Tecnologia de Produtos Agropecuários e Tecnologia de Pós-colheita) e Zootecnia (Pedologia e Ecologia Agrícola). No ano de 2012 foi removida para UFMA no Campus do Bacanga em São Luís-MA em que ministra atualmente disciplinas nos cursos de Oceanografia (Bioquímica) e Hotelaria (Princípios de alimentação e nutrição) em que atua na área de microbiologia ambiental e Contaminação alimentar. Em 2011 compôs a turma de Doutorado Interinstitucional (DINTER–UFMA/UNESP) em Agronomia (Ciência do Solo).

“Há um tempo em que é preciso abandonar as roupas usadas, já que têm a forma do nosso corpo, e esquecer os nossos caminhos que nos levam sempre aos mesmos lugares. É o tempo da travessia, se não ousarmos fazê-la, teremos ficado, para sempre, á margem de nós mesmos.”
(Fernando Pessoa)

“Ave Maria cheia de graça o Senhor é convosco, bendita sois Vós entre as mulheres e bendito é o fruto do Vosso ventre Jesus. Santa Maria Mãe de Deus, rogai por nós pecadores agora e na hora de nossa morte amém.”

Aos meus amados pais

Luíz Mendes de Oliveira (in memoriam) e

Maria do Carmo Rêgo Oliveira

Pelo amor e carinho da vida inteira.

DEDICO

Ao meu esposo **Lhusandro Pinto** e

filhos **Samantha** e **Gabriel**

Pelo amor incondicional.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Ao **Deus Supremo**, por toda luz, orientação e proteção na minha vida até hoje e por toda saúde a mim proporcionada.

À minha mãe **Maria do Carmo Rêgo** e os meus irmãos **Luiz Carlos Rêgo, Maria das Graças Oliveira, Franklim Rêgo, David Rêgo, Maria de Fátima Oliveira e Francisco Rêgo** por serem a base de tudo.

Ao meu marido **Lhusandro Pinto** e aos meus filhos **Samantha e Gabriel Oliveira Pinto** pelo apoio incondicional e por suportar a dor da saudade. À minha sogra **Maria Luíza Pinto** pelo auxílio nas atividades durante a minha ausência.

Ao meu orientador **Prof. Dr. José Eduardo Corá**, pela orientação segura, ensinamentos repassados e pela demonstração de confiança durante este período.

Aos professores doutores **Ivan Barbosa Machado Sampaio, Ana Maria Rodrigues Cassiolato, Antonio Carlos Monteiro e Everlon Cid Rigobelo** pela participação na banca de avaliação da tese de doutorado e pelas excelentes sugestões de melhorias.

Aos professores do DINTER representados pelo professor **Dr. José Marques Júnior**, pelo auxílio e ensinamentos repassados.

Ao **Prof. Dr. Ely Nahas**, por ter cedido o laboratório para a realização de análises microbiológicas.

Aos funcionários **Luiz Carlos Assis, Edna, Rosângela e Tiago Fieno** pelo auxílio prestado durante o processamento das amostras, análises laboratoriais, qualificação e defesa da tese.

Aos funcionários do **Departamento de solos** pelo auxílio prestado durante o curso.

À **Profa. Dra. Alana Aguiar** Coordenadora operacional do DINTER pelo auxílio durante o doutorado.

À doutoranda **Mara Moitinho**, por todos os esclarecimentos quanto aos procedimentos estatísticos das análises dos dados do trabalho.

Aos companheiros de DINTER, representados pelas professoras **Izumy Pinheiro, Jeane Abreu e Jussara Dantas**, pela amizade e auxílio durante o curso de Doutorado.

Ao Diretor do Centro de Ciências Agrárias e Ambientais **Prof. Dr. Jocélio** e a Chefe do Departamento de Ciências Fisiológicas **Profa. Dra. Marilene Borges** pelo apoio e compreensão.

Às minhas amigas de Jaboticabal: **Marisa e Terezinha** pelo apoio e força nesse período longe de casa.

Às minhas amigas **Cora, Luciana, sobrinhos, sobrinhas e cunhadas** pelo apoio essencial nos momentos mais difíceis.

A todos os meus **amigos pessoais e alunos**, que sempre estiveram ao meu lado me apoiando e torcendo.

Enfim, a todos, que de alguma forma, contribuíram para que este acontecimento se concretizasse.

MUITO OBRIGADA!!!

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiii
1 INTRODUÇÃO	01
2 REVISÃO DE LITERATURA	03
2.1 Áreas estudadas	03
2.1.1 Cultivo em aléias	03
2.1.2 Monocultura de soja	04
2.1.3 Pastagem	05
2.1.4 Mata nativa.....	05
2.1.5 Corte e queima	07
2.2 Qualidade do solo	09
2.2.1 Solos	09
2.2.1.1 LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico.....	09
2.2.1.2 PLINTOSSOLOS PÉTRICO Litoplínticos êndico.....	10
2.2.2 Qualidade do solo.....	11
2.2.3 Indicadores de qualidade do solo	20
2.2.3.1 Indicadores químicos.....	20
2.2.3.2 Indicadores microbiológicos	21
2.2.3.2.1 Carbono da biomassa microbiana do solo	23
2.2.3.2.2 Respiração basal do solo	25
2.2.3.2.3 Quocientes metabólico (qCO_2) e microbiano ($qMic$)	25
2.2.3.2.4 Enzimas do solo	27
2.3. Utilização da análise multivariada como ferramenta para avaliar os atributos do solo.....	28
3 MATERIAL E MÉTODOS	31
3.1 Caracterização das áreas de estudo.....	31
3.2 Coleta e análises químicas do solo	35
3.3 Análises microbiológicas do solo.....	35
3.3.1 Determinação da respiração basal do solo (RBS)	35
3.3.2 Determinação do carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS)	36

3.3.3 Determinação dos quocientes metabólicos(qCO_2) e microbiano($qMic$) ...	38
3.3.4 Atividade enzimática do solo	38
3.3.4.1 Atividade da celulase.....	38
3.3.4.2 Atividade da urease.....	39
3.3.4.3 Atividade da desidrogenase	39
3.4 Processamento de dados e análises estatística.....	40
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4.1 Variação dos atributos químicos do solo nas áreas avaliadas	40
4.2 Variação dos atributos microbiológicos do solo nas áreas avaliadas.....	42
4.3 Relação de inter e intradependência dos atributos químicos e microbiológicos com as áreas avaliadas.....	46
5 CONCLUSÕES	50
6 REFERÊNCIAS.....	51
APÊNDICES	70
Apêndice A - Descrição geral do perfil do solo da área de mata nativa	71
Apêndice B - Descrição geral do perfil do solo da área de monocultura de soja...	74
Apêndice C - Descrição geral do perfil do solo da área de cultivo em aléias	77
Apêndice D - Descrição geral do perfil do solo da área de corte e queima.....	80
Apêndice E - Descrição geral do perfil do solo da área de Pastagem.....	83

EFEITO DO USO DO SOLO SOBRE OS SEUS ATRIBUTOS NA MICRORREGIÃO DE CHAPADINHA-MA

RESUMO – Os atributos químicos e microbiológicos do solo podem ser considerados indicadores de processos que ocorrem em respostas às perturbações antropogênicas, podendo, constituir importantes variáveis para prever a qualidade dos ecossistemas agrícolas. Objetivou-se no presente estudo avaliar as alterações nos atributos dos solos estudados, selecionar aqueles com melhor desempenho em indicar a qualidade do solo uso e associar os atributos químicos e microbiológicos neles existentes em solos sob cinco áreas pertencentes à Microrregião de Chapadinha no Estado do Maranhão. Foram coletadas amostras de solo na profundidade de 0- 0,10 m em diferentes áreas (monocultura de soja, cultivo em aléias, corte e queima, pastagem e mata nativa) para determinações químicas: pH, Al^{3+} , $H+Al$, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K, Na, P disponível, Matéria orgânica (MO), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC) e saturação por bases (V) e atributos microbiológicos: carbono da biomassa microbiana - CBM, respiração basal, quociente metabólico (qCO_2), quociente Microbiano ($qMIC$) e atividade enzimática (desidrogenase, celulase e urease) dos solos. Nos solos estudados estão altamente associados os atributos MO, CTC, pH e V% entre os atributos químicos e a desidrogenase, C-BMS, celulase e $qMIC$ entre os atributos microbiológicos do solo. Os atributos CTC e MO mostram-se antagônicos ao pH, Presina, V% e $qMIC$. Correlações positivas entre as características biológicas e químicas do solo sugerem que o uso do solo favoreceu o crescimento da biomassa e estimulou a atividade microbiana, que se mostrou eficiente nos processos de ciclagem de nutrientes e melhorou a qualidade do solo.

Palavras-chave: atividade enzimática, carbono da biomassa microbiana, respiração basal

EFFECT OF LAND USE ON THEIR ATTRIBUTES IN THE MICRO-REGION OF CHAPADINHA-MA

ABSTRACT – The chemical and microbiological properties of the soil can be considered indicators of processes that occur in response to disturbances anthropogenic and can be important variables to predict the quality of agricultural ecosystems. The objective in the present study to evaluate changes in soil attributes, select those with better performance to indicate the quality of soil use and involve chemical and microbiological attributes thereon in soils under five areas belonging to the micro-region of Chapadinha Maranhão state. Soil samples were collected in depth of 0- 0.10 m in different areas (soybean monoculture, alley cropping, cutting and burning, grazing and native forest) for chemical analysis: pH, Al³⁺, H + Al, Ca²⁺, Mg²⁺, K, Na, available P, organic matter (OM), total bases (SB), cation exchange capacity (CEC) and base saturation (V) and attributes microbiological: microbial biomass carbon - CBM, basal respiration, metabolic quotient (qCO₂), Microbial quotient (qMIC) and enzymatic activity (desidrogenase, cellulase and urease) soil. In the soils are highly the attributes associated MO, CEC, pH and V% between chemistry and dehydrogenase, C-BMS, cellulase and qMIC between microbiological soil attributes. The CTC attributes and MO are shown antagonistic to pH, Pressyne, V% and qMIC. Positive correlations between biological and chemical soil characteristics suggest that land use has encouraged the growth of biomass and stimulated microbial activity, which is efficient in nutrient cycling processes and improved soil quality.

Keywords: enzyme activity, microbial biomass carbon, basal respiration

1 INTRODUÇÃO

As atividades agropecuárias causam impactos diferenciados nos solos que estão relacionadas ao manejo e uso praticados para obtenção de maiores produtividades. Assim, ter o conhecimento sobre os atributos que influenciam no equilíbrio de um Agroecossistema, bem como realizar estudos sobre a sustentabilidade de ecossistemas naturais e antropizados, são importantes, uma vez que os dados obtidos servem de base para o monitoramento da estabilidade ou desequilíbrio desses sistemas.

Na região dos Cerrados é crescente a preocupação com os impactos causados pelo atual modelo de agricultura, principalmente em relação à qualidade de vida da população em seu entorno, nas questões voltadas à contaminação dos lençóis freáticos e dos solos, como também dos processos erosivos e degradação de propriedades importantes na manutenção da fertilidade do solo.

Nos cerrados, encontram-se solos com baixos estoques de matéria orgânica, principalmente pela retirada da vegetação natural e subsequente preparo para a implantação de cultivos agrícolas. Nesse sentido, pesquisas que possibilitem uma aproximação geral da dinâmica dos solos sob diferentes sistemas agrícolas e naturais, principalmente em uma área que contenha diversidade de uso, dão subsídios para adoção de práticas sustentáveis.

Dentre as ações antrópicas negativas sobre o meio ambiente, a degradação do solo constitui umas das mais preocupantes, pois afetam, diretamente, a vida do homem e tem como principal causa o mau uso do solo e, como consequência, a redução da matéria orgânica, alterando assim, as características físicas, químicas e biológicas do solo.

Estudos de qualidade do solo são importantes para o entendimento da interação desta com o ecossistema como um todo. Nesse contexto, os atributos químicos, físicos e microbiológicos do solo desempenham papel fundamental para manutenção da produtividade e o monitoramento da qualidade dos solos agrícolas, evitando assim a sua degradação e proporcionando a manutenção da biodiversidade dos agroecossistemas, principalmente no bioma cerrado.

A pesquisa tem relevância e impacto no desenvolvimento científico, tecnológico e sócio-econômico uma vez que informações referentes a tais características são de extrema importância para que se possa entender e conhecer a qualidade do solo, possibilitando, manejá-los de maneira responsável, de modo a otimizar seu uso no presente, sem comprometê-lo no futuro.

Foi considerada no presente estudo a hipótese que a utilização de sistemas de uso do solo que promovam maior ciclagem de matéria orgânica compensa os efeitos negativos da conversão da mata nativa em sistemas agrícolas de produção.

Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo geral avaliar as alterações nos atributos dos solos estudados e selecionar aqueles com melhor desempenho em indicar a qualidade do solo nos diferentes agroecossistemas e como objetivo específico associar os atributos químicos e microbiológicos neles existentes.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Áreas estudadas

2.1.1 Cultivo em aléias

Os sistemas agroflorestais (SAF) constituem uma alternativa de produção agropecuária que busca minimizar o efeito da intervenção do homem nos sistemas naturais. A consorciação de várias espécies de plantas dentro de uma mesma área aumenta a diversidade do ecossistema, em que as interações benéficas são aproveitadas entre as plantas de diferentes ciclos, portes e funções. Os SAF combinam, de forma integrada, árvores, arbustos, cultivos agrícolas e/ou animais em uma mesma área. Essa ocupação pode ser simultânea ou sequencial. Desse modo busca-se agregar os fatores e recursos em uma mesma área para otimizar valores de produção, econômicos, sociais, culturais e ambientais como alternativa para um modelo sustentável de uso e manejo deste sistema (SILVEIRA et al., 2006).

Drinkwater e Snapp (2007) propuseram que a adoção de processos que priorizem a criação de reservas de nutrientes minerais, acessados por processos mediados pela microbiota uma vez que pode ser uma opção para a sustentabilidade dos agroecossistemas em lugar da saturação por nutrientes da solução do solo (adubação), principalmente em condições do trópico úmido, onde a água ecedentes aumenta a retirada de elementos do perfil. Como alternativa promissora surge, então, o cultivo em aleias na década de 1980, com a implantação de agroecossistemas familiares, com menor utilização de insumos devido a sua eficiência na reciclagem de nutrientes.

Estudos recentes têm apontado para a redução de estoques de carbono microbiano em sistemas menos estáveis, como pastagem e plantio convencional, quando comparados a área de mata nativa ou ambientes similares, como sistemas agroflorestais (ALVES et al., 2011; LIMA et al., 2011; LOURENTE et al., 2011).

Os SAF são responsáveis por promover em maior produção de biomassa aérea e subterrânea, assim como a cobertura do solo, fornecendo acúmulo de carbono e a manutenção da fertilidade do solo por meio de ciclagem mais eficiente

de nutrientes e redução de perdas por lixiviação e erosão (GAMA-RODRIGUES et al., 2008; PORTUGAL et al., 2008).

A ausência do preparo do solo em sistemas mais próximos das condições naturais, como os SAF, resulta em maior presença de raízes, que são responsáveis pela entrada de substratos de compostos com carbono, promovendo a diversidade de espécies e favorecendo o desenvolvimento microbiano. Em geral, isso ocorre em função do não revolvimento da camada superior, promovendo suprimento de carbono orgânico constante à biomassa microbiana do solo. Para Torres et al. (2008), a utilização de plantas com sistema radicular bem desenvolvido, como os adubos verdes, propicia resultados que indicam o aumento dos estoques de carbono orgânico e nitrogênio total do solo.

O sucesso de um sistema agroflorestal está relacionado à quantidade de nutrientes fornecida durante o processo de decomposição e como esses nutrientes liberados satisfazem as necessidades da planta (MENDONÇA; STOTT, 2003). Além disso, há diversos outros benefícios, como: maior cobertura do solo; maior aporte de matéria orgânica (produção de biomassa); fixação biológica de nitrogênio atmosférico; redução de perdas de solo e nutrientes (SCHROTH et al., 2002); controle da erosão e lixiviação e aumento da biodiversidade (MORENO et al., 2007).

2.1.2 Monocultura de soja

O cultivo convencional de soja foi o mais utilizado no processo de ocupação do cerrado brasileiro, com o uso de arados e grades pesadas no preparo do solo (COSTA et al., 2006). Atualmente, esse sistema tem sido utilizado na abertura de novas áreas ou quando há a necessidade de correções no solo devido a problemas físicos (compactação) e químicos do solo (acidez da sub superfície do solo).

A conversão de áreas florestais em plantios agrícolas representa mudança drástica no ecossistema original, por provocar alterações no conjunto de atributos morfológicos, físicos, químicos e biológicos do solo. Assim, são esperados severos impactos, uma vez que se rompem os mecanismos naturais de reciclagem e de proteção do sistema, induzindo, desde o início, vários fatores de degradação (LUIZÃO et al., 2006).

Sistemas de cultivo do solo que utilizam agroquímicos, manejo intensivo e na perda da vegetação (biodiversidade) pelo processo de corte e queima tem como consequências a redução da qualidade do solo e modificações nos processos biológicos, que são responsáveis pela mineralização dos nutrientes orgânicos para a nutrição das plantas. Esse problema é mais intenso em solos da região tropical de avançado estágio de intemperismo (GAMA-RODRIGUES et al., 2006).

2.1.3 Pastagem

Na área de pastagem o pisoteio dos animais pode afetar os atributos físicos do solo pela deformação de sua estrutura, promover mudanças na densidade e porosidade, influir na resistência mecânica à penetração e até provocar a compactação do solo. Por outro lado, o conteúdo orgânico pode melhorar a estabilidade dos agregados e ter relevância nos atributos químicos dos solos tropicais (NETO et al., 2009).

A região do cerrado, embora com condições físicas muito favoráveis às atividades agropecuárias, possui limitações com baixa disponibilidade de nutrientes e deficiência hídrica em alguns períodos do ano. Os solos cultivados com pastagens, normalmente são Latossolos distróficos e a falta de elementos para a manutenção da vegetação provoca um estado de redução no crescimento das plantas, o que contribui para aumentar o processo de degradação (PACIULLO et al., 2006).

2.1.4 Mata nativa

O Cerrado é considerado o segundo maior bioma do Brasil. Ocupa uma área contínua de cerca de dois milhões de km², que corresponde à aproximadamente 25% do território nacional, abrangendo os estados de Goiás, Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Distrito Federal e partes de São Paulo, Minas Gerais, Maranhão, Piauí e Bahia, ele é constituído por um mosaico vegetacional composto por formações campestres (campos limpo, sujo e rupestre), formações savânicas (Cerrado *sensu stricto*, Cerrado denso, Cerrado ralo e Cerrado rupestre) e florestais com cerradão, matas de galeria, ciliares e secas (SANO et al., 2008).

Considerado um complexo de biomas, o cerrado é formado por um mosaico de comunidades pertencentes a um gradiente de formações ecologicamente relacionadas, que vai de campo limpo a cerradão (COUTINHO, 2006). A heterogeneidade do Cerrado é resultante da interação de parâmetros abióticos que determinam aspectos quantitativos e qualitativos da vegetação.

Uma das maiores concentrações dos Cerrados no Nordeste do Brasil encontra-se nos estados do Piauí e do Maranhão, ocupando as regiões a sudoeste e centro-norte (Piauí) e centro-sul e nordeste (Maranhão), cobrindo uma área estimada de 21.656,866 ha, o que corresponde a cerca de 14% da área total da Região Nordeste, ou a cerca de 10,8% da área total do Cerrado *sensu lato* brasileiro (CASTRO et al., 2007).

No Cerrado são comuns espécies vegetais tipicamente arbustivas, com fitofisionomias que caracterizam-se pela presença de árvores baixas, inclinadas, tortuosas, com ramificações irregulares e retorcidas. Os troncos das plantas lenhosas em geral possuem cascas com cortiça grossa. Entre as espécies comuns existem inúmeras plantas com características xeromórficas como folhas pequenas, espessadas e coriáceas (COSTA et al., 2011).

O cerradão apresenta uma expressiva quantidade de espécies de Cerrado, sobrepostas a um número de espécies de mata. Sua estrutura e fisionomia são florestais, com dossel predominantemente contínuo e cobertura arbórea. As matas de galerias são encontradas no ambiente de Cerrado, formando florestas, perenifólias que ocorrem nos terrenos úmidos ou em corredores fechados sobre os cursos d'água (RIBEIRO; WALTER, 1998).

Estruturalmente, a vegetação dos Cerrados no Maranhão apresenta aspecto savanóide. Contudo, é relativamente diversa como mostram os resultados obtidos por Conceição e Castro (2009) em 0,6 ha de Cerrado, que estudaram no município de Mirador. Esses autores encontraram 2567 indivíduos, distribuídos em 81 espécies, 69 gêneros e 34 famílias com plantas que variaram de 0,30 m a 15 m de altura e com diâmetros entre 3,18cm e 60,51 cm.

Segundo Haridassan (2000), os baixos estoques de serapilheira nas formações arbustivas e de campos abertos mostram a utilização da perenifólia como estratégia ecológica que visa a otimização energética para produção e retenção da

biomassa aérea, em ambiente com fortes restrições nutricionais. Pietro-Sousa et al. (2012) destacaram que as medias de biomassa aérea e de serapilheira são fortemente correlacionáveis e seguramente utilizadas na predição uma da outra. Essas respostas adaptativas repercutem nos índices de diversidade e estrutura das comunidades biológicas que ocorrem em um bioma que rompe fronteiras continentais.

Os ecossistemas naturais apresentam uma integração harmoniosa entre a cobertura vegetal e os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, decorrentes de processos essenciais de ciclagem de nutrientes, acumulação e decomposição da matéria orgânica. Entretanto, as atividades agrícolas promovem alterações nesses atributos e provocam, na maioria das vezes, impactos ambientais negativos (SILVA et al., 2007). Atualmente são conhecidos efeitos isolados de diferentes manejos e uso do solo nos atributos físicos, químicos e biológicos. No entanto, há necessidade de avaliar esses atributos em conjunto, principalmente no bioma cerrado.

2.1.5 Corte e queima

Esse sistema de cultivo tem sido praticado há milênios nas regiões tropicais do planeta, constituindo o principal componente dos sistemas de subsistência das populações rurais pobres (PEDROSO JÚNIOR et al., 2008). O sistema é baseado na derrubada e queima da vegetação seguindo-se um período de cultivo e, após o declínio da fertilidade do solo, um período de pousio para restauração da fertilidade (SIMINSKI; FANTINI, 2007). O período de pousio dado pelos agricultores para recuperação da capoeira é insuficiente para regenerar a capacidade produtiva do solo, causando uma queda de produtividade dos cultivos (SILVA, 2009). Além disso, em alguns climas quentes de estação seca acentuada, nos solos descobertos e excessivamente aquecidos, os colóides de argila se desidratam, reduzindo ainda mais a capacidade do solo de estocar nutrientes (MAZOYER; ROUDART, 2010). A agricultura de corte e queima ou de subsistência é um sistema tradicional de agricultura que é praticada em toda a região nordeste por pequenos agricultores, que produzem principalmente, feijão, milho e mandioca, entre outros produtos. Esse

tipo de agricultura é caracterizada como um sistema de uso da terra, o qual utiliza o fogo na vegetação natural para o cultivo agrícola (TRINDADE et al., 2011).

No Brasil o uso do fogo é uma prática rudimentar utilizada para a abertura de áreas de pastagens e agricultura, assim como a queimada é uma prática utilizada em pequenas áreas, sendo controladas pelos agricultores no processo de abertura e limpeza de áreas agrícolas (RODRIGUES et al., 2000).

A prática da agricultura e o uso do fogo como manejo interfere diretamente na respiração do solo, diminuindo a oferta de compostos mineralizáveis para os microrganismos do solo, promovendo competição e indicando stresse. Confirma-se que o fogo pode ser muito prejudicial aos microrganismos que atuam na decomposição da matéria orgânica, principalmente devido às altas temperaturas. Por outro lado, de acordo com Carter e Foster (2004), estudos prévios relatam que a queima, em particular, tem mostrado efeitos benéficos para os ecossistemas em razão da forma de combustão do material orgânico, resultando na mineralização de nutrientes para o solo que serão rapidamente absorvidos pelas plantas.

Os agricultores da região nordeste conseguem evitar, em parte, as deficiências de aeração e de nutrientes nas suas áreas de plantio por meio de uma agricultura itinerante ou sistema de corte e queima, que não inclui a preocupação com a sustentabilidade no uso da terra; do plantio sem preparo, que mantém intacta a estrutura do solo sem quebra da continuidade dos poros, favorecendo a drenagem interna; e do uso da cinza derivada da vegetação natural, como corretivo da acidez e como fonte de nutrientes. Entretanto, o aumento da densidade demográfica e do número de agricultores proprietários que derivam dos programas de reforma agrária reforçam a necessidade de substituição do modelo de agricultura itinerante, que não tem garantido nem mesmo a segurança alimentar das famílias (EVANGELISTA et al., 2013).

O novo sistema deve levar em conta, além dos princípios de sustentabilidade, as particularidades agroambientais e sociais da região, onde quase a metade da população ainda sobrevive da agricultura, com um dos menores índices de desenvolvimento humano do país (MOURA et al., 2008).

2.2 Qualidade do solo

2.2.1 Solos

2.2.1.1 LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico

Os Latossolos são constituídos por material mineral, apresentando horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte A, dentro de 200 cm da superfície do solo ou dentro de 300 cm, se o horizonte A apresenta mais que 150 cm de espessura. Nos Latossolos distróficos, conforme dados de Santos et al. (2013) a saturação por bases é menor que 50% na maior parte dos primeiros 100cm do horizonte B inclusive no BA.

No município de Chapadinha-MA, os Latossolos Amarelos encontram-se nas porções mais elevadas do relevo, formado pequenos platôs. Meneses et al. (2013) destacaram esta mesma disposição altimétrica para Latossolos em uma formação de Cerrado no Estado de Roraima. Pragana et al. (2012) acrescentaram que, além da posição característica que ocupam na paisagem, os Latossolos Amarelos Distrófico típicos se caracterizam por serem profundos, bem drenados e possuem baixo incremento de argila em profundidade. No entanto, quando apresentam camadas de impedimentos limitam a condução e armazenamento de água, bem como a dinâmica dos nutrientes no perfil do solo (SOUZA et al., 2008).

Os Latossolos Amarelos Distróficos típico manifestam seu caráter marcante revelando distrofia nutricional, mas com propriedades físicas relevantes, tornando-se em sua grande maioria bons armazenadores de água (SANTANA, 2008; LUCENA, 2013). Caracterizam-se pelos baixos índices de bases trocáveis, são ácidos, $\text{pH} < 5$, pobres em carbono e nitrogênio. Entretanto, apresentam pouca variação nesses parâmetros, mas sustentam coberturas vegetais bastante diferenciadas (MARIMON JR; HARIDASAN, 2005). Esta capacidade de sustentação de comunidades diversificadas se estende ao bioma amazônico. Vasconcelos et al. (2004) registraram a ocorrência de Latossolos Amarelos em floresta em fase de recomposição, apresentando, nos primeiros 0-0,20 cm, 20% de argila, 74% de areia

e 6% de silte, pH 5,0, C orgânico 2,2%, N total de 0,15%, relação C:N 14,4 e 1,58 mgkg⁻¹ fósforo.

As limitações dos Latossolos Amarelos não se restringem aos atributos químicos, pois, segundo Silva et al. (2006), a natureza caulinítica destes solos os tornam mais sensíveis à compactação que os oxídico-gibbsíticos, uma vez que a caulinita se modela e/ou se deforma mais facilmente. Ferreira et al. (2007) chamaram atenção para o efeito do material de origem na unificação das propriedades físicas e químicas de Latossolos, criando convergência taxonômica, mas que manifestam diferenças discretas, que estes autores associam à evolução da rede de drenagem e a atividade de escavação da fauna do solo.

A textura francoargiloarenosa, a pobreza nutricional e baixos teores de matéria orgânica nem sempre associam os Latossolos Amarelos à comunidades pobremente povoadas. Carvalho et al. (2005) constataram a inversão deste fenômeno quando os latossolos com estas características foram encontrados em superfícies depressionais, de modo que nessas condições a umidade suplantava as deficiências químicas destes solos, colocando-os em condições superiores aos Latossolos Vermelho e Vermelho Amarelo encontrados nas cotas mais elevadas da área de estudo.

Marimon Jr e Haridasan (2005) não encontraram correlação entre atributos químicos com as variações de cobertura vegetal em Latossolos Amarelos distróficos. Contudo, constataram que a heterogeneidade da vegetação que cobria esses solos acompanhava as variações texturais, sugerindo possíveis efeitos da condição textural no comportamento da água nestes solos. Os altos teores de óxidos ferruginosos, associados à camadas de impedimentos, que comprometem e lateralizam a drenagem, criam um ambiente favorável ao concrecionamento dos óxidos de ferro, gerando um caráter plíntico e petroplíntico nesses solos.

2.2.1.2 PLINTOSSOLOS PÉTRICO Litoplínticos êndico

Plintossolos são constituídos por material mineral apresentando horizonte plíntico ou litoplíntico ou concrecionário, em uma das seguintes condições: iniciando dentro de 40 cm da superfície; iniciando dentro de 200 cm da superfície quando

precedidos de horizontes glei, ou imediatamente abaixo do horizonte A, ou E, ou de outro horizonte que apresente cores pálida, variegadas ou com mosqueados em quantidade abundante. PLINTOSSOLO PÉTRICO Litoplíntico êndico caracteriza-se pela presença de litoplíntitas à profundidade igual ou superior a 40 cm à partir da superfície do solo (SANTOS et al., 2013).

Em solos de mata nativa do Cerrado Goiano, Gomes et al. (2007) registraram textura argilosa a muito argilosa em horizontes subsuperficiais de Plintossolos Pétricos, com fase cascalhenta dos primeiros horizontes, facilitando a drenagem da água nesta camada, mas gerando um ambiente hidromórfico em profundidade. Moreira e Oliveira (2008) registraram, em Plintossolos Pétricos sob pastagens, saturação por bases superior a 50 %, associando esse eutrofismo tanto à herança do material de origem quanto à contribuição da biociclagem nos horizontes superficiais.

Martins et al. (2006) chamaram a atenção para as limitações agrícolas dos Plintossolos de textura francoarenosa a francoargilosa da planície do Araguaia, na medida que manifestam baixa fertilidade natural (distróficos com teor elevado de Al) e má drenagem, pois durante parte do ano ficam saturados de água, ganhando destaque a ação biológica da mesofauna, formando os Varjões Sujos ou Campos de Murundus. No Maranhão os Plintossolos da formação Itapecuru, com problemas de drenagem, são utilizados frequentemente para pastagens (ALCÂNTARA, 2004).

Mota et al. (2006) mostraram a fragilidade dos atributos físicos dos plintossolos, quando submetidos a uso intensivo. Os autores destacaram o efeito da cobertura vegetal, especialmente das gramíneas, melhorando as condições físicas desses solos, reduzindo a densidade e elevando a porosidade, ao que relacionaram às particularidades do sistema fasciculado das monocotiledôneas, enriquecendo e homogeneizando a arquitetura de poros do solo.

2.2.2 Qualidade do solo

Um dos grandes desafios nas regiões tropicais é desenvolver sistemas de produção vegetal e animal que possam manter a alta produtividade e a sustentabilidade ambiental. Em geral nesses agroecossistemas, há predominância

de solos muito intemperizados que necessitam de tratamentos conservacionistas para manter e melhorar a qualidade dos componentes desse meio. Esta condição dos sistemas agropecuários deve-se, principalmente, ao estado de conservação do solo, que pode mudar com o passar do tempo devido a ocorrências naturais ou de ações geradas pelo homem (NETO et al., 2009).

De acordo com Cavalcante et al. (2007), o manejo do solo e da cultura são importantes condicionadores da variabilidade dos atributos do solo. Solos de mesma classe taxonômica, considerados relativamente homogêneos, podem apresentar variação em seus atributos como resultado da aplicação de diferentes práticas de manejo. Da mesma maneira, solos de classes diferentes, submetidos ao mesmo manejo, podem apresentar atributos semelhantes.

O uso de indicadores de qualidade de solo tem mostrado respostas às práticas de manejo relativamente em pouco tempo. Concluíram que parâmetros biológicos do solo têm demonstrado resultados precoces (um mês depois da aplicação do tratamento) e indicadores sensíveis para detectar as mudanças discretas nas propriedades do solo causadas por essas práticas de cultivo. Certamente, indicadores biológicos sinalizam precocemente o colapso do sistema e através dessas reações antes prejuízos irreversíveis para a integridade do funcionamento do ecossistema do solo (MIJANGOS et al., 2006).

Para Goedert (2005), a escolha de indicadores ou atributos a serem quantificados deve considerar, entre outros, os seguintes aspectos: facilidade de medição, sensibilidade a mudanças e limites claros entre condições de sustentabilidade e de não sustentabilidade.

Após a introdução de culturas, o solo estabelece nova condição de equilíbrio (MARCHIORI JÚNIOR; MELO, 2000) e o monitoramento da comunidade biológica pode servir como critério para detectar alterações mais impactantes, sendo possível observar alterações na qualidade do solo (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007). Essa informação pode contribuir para o estabelecimento de uma relação mais confiável entre o uso do solo e a sustentabilidade.

A rápida degradação do solo sob exploração agrícola, especialmente nos países tropicais em desenvolvimento, despertou nas últimas décadas a preocupação com a qualidade do solo e sua sustentabilidade. Desde então, vários conceitos de

qualidade do solo foram propostos, dentre eles o que define a qualidade do solo como sendo a sua capacidade de manter a produtividade biológica, a qualidade ambiental e a vida vegetal e animal saudável na face da terra (PINTO, 2008).

O revolvimento contínuo e intenso do solo, com a adoção de sistemas agrícolas baseados em monocultura ou em sucessões contínuas de culturas, tem resultado na diminuição da qualidade física, química e biológica dos solos (COSTA et al., 2003).

Nos últimos 25 anos aproximadamente 24% do solo mundial foram degradados. Durante o período de 1981 a 2003, por volta de 22% do solo brasileiro foram degradados, considerando em âmbito global, isso representa aproximadamente 5% de todo o solo degradado (BAI, 2008). Em vista disso, tornou-se crescente o interesse em estudar parâmetros que indiquem, de forma precoce e eficaz, as alterações que ocorrem no solo, mostrando manejos adequados para preservar ou melhorar sua qualidade e garantir a sustentabilidade dos agroecossistemas (MENDES et al., 2003; CHAER et al., 2009).

Identificar indicadores que atendam ao conceito de qualidade do solo é difícil devido às várias características químicas, físicas e biológicas que controlam os processos biogeoquímicos e suas variações em decorrência do tempo e do espaço. Dessa forma, um conjunto de indicadores envolvendo atributos físicos, químicos e biológicos devem ser selecionados para melhor e seguramente quantificar sua qualidade (PAGE-DUMROESE, 2010).

Nas últimas décadas, a avaliação da qualidade do solo tem merecido maior atenção, e, a quantificação de alterações nos seus atributos decorrentes da intensificação de sistemas de uso e manejo, tem sido amplamente realizada para monitorar a produção sustentável dos solos (NEVES et al., 2007) e, conseqüentemente, a conservação dos recursos naturais.

A conservação ou a melhoria da qualidade do solo é essencial para a produção sustentável. Impactos negativos da intervenção humana no meio ambiente e degradação do solo são assuntos principais. Uso inadequado do solo pode rapidamente levar a uma degradação da matéria orgânica e, conseqüentemente, alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (JAKELAITIS et al., 2008).

Na última década, a qualidade do solo tem recebido atenções crescentes. A quantificação de trocas nos atributos do solo devido a intensificação da forma de uso e sistemas de manejo, tem sido amplamente usada para monitorar a sustentabilidade do uso dos solos, e, conseqüentemente, a conservação dos recursos naturais (NEVES et al., 2007).

De acordo com Chaer e Tótola (2007), indicadores microbiológicos podem ter grande importância na avaliação inicial de possíveis efeitos do manejo adverso na qualidade do solo.

Os ecossistemas naturais apresentam integração harmoniosa entre a cobertura vegetal e os atributos do solo, decorrente de processos essenciais de ciclagem de nutrientes e acúmulo e decomposição da matéria orgânica. Entretanto, a ação antrópica promove alterações nesses atributos e, na maioria das vezes, causa impacto ambiental negativo (SILVA et al., 2007).

De acordo com Bayer e Mielniczuk (2008), sob vegetação natural a matéria orgânica do solo se encontra estável e, quando submetida ao uso agrícola, pode ocorrer redução acentuada no seu conteúdo, principalmente quando utilizados métodos de preparo com intenso revolvimento do solo e sistemas de cultura com baixa adição de resíduos. Nessa situação, pode ser estabelecido um processo de degradação das condições químicas, físicas e biológicas do solo, além de perda da produtividade das culturas.

As inter-relações das propriedades do solo controlam os processos e os aspectos relacionados a sua variação espacial e temporal, de tal forma que qualquer alteração pode afetar diretamente a sua estrutura e a atividade biológica e, conseqüentemente, a sua qualidade (CARNEIRO et al., 2009).

Doran e Parkin (1994) propuseram o seguinte conceito à qualidade do solo, que mais tarde foi reformulado por Doran et al. (1994) sendo ainda utilizado nos dias atuais: "Qualidade do solo é a capacidade de um solo funcionar dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado, para sustentar a produtividade de plantas e animais, manter ou aumentar a qualidade do ar, da água e promover a saúde das plantas, dos animais e dos homens". Portanto, qualidade do solo está relacionada com as funções que capacitam os solos a aceitar, estocar e reciclar água, nutrientes e energia (CARTER, 2001). Nesse contexto, a qualidade do solo é a integração das

propriedades biológicas, físicas e químicas do solo, que o habilite a exercer suas funções em plenitude.

As recomendações de manejo direcionam para práticas que favoreçam a biologia do solo, pois são os organismos os responsáveis pelas grandes transformações físicas e químicas no solo, que o habilitam exercer suas funções na natureza. Os indicadores biológicos refletem os processos e transformações que estão intimamente relacionadas às funções que o solo necessita exercer para ser considerado de qualidade (MONOKROUSOS et al., 2006), além de serem indicadores sensíveis e precoces de mudança nos processos de dinâmica da matéria orgânica (MARINARI et al., 2006).

Govaerts et al. (2007), acreditam que a inclusão de propriedades biológicas em um índice de qualidade do solo, como os organismos do solo, provavelmente melhoraria o entendimento do sistema solo.

O grande desafio em relação à qualidade do solo não está na identificação de um indicador ou na sua avaliação, e sim no planejamento de agroecossistemas complexos que privilegiem o cultivo diversificado de plantas. A complexidade dos ecossistemas é o que faz a diferença para o desempenho eficiente das funções do sistema solo, determinando sua qualidade e a qualidade ambiental. Essa complexidade é alcançada pelo cultivo contínuo e diversificado de plantas (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009).

O Carbono do solo provém, principalmente, da matéria orgânica (MOS) e dos minerais carbonatados em alguns solos de origem calcária. A MOS pode ser definida como uma soma de todas as substâncias orgânicas, composta por uma mescla de resíduos animais e vegetais, em diversos estádios de decomposição (SILVA; MENDONÇA, 2007).

A avaliação da qualidade do solo é feita por indicadores que devem integrar as suas propriedades físicas, químicas e biológicas (DORAN; PARKIN, 1994). Alguns indicadores são amplamente utilizados como: capacidade de troca de cátions, conteúdo de matéria orgânica, densidade do solo, retenção de água, porosidade, condutividade hidráulica, pH do solo e produtividade (LARSON; PIERCE, 1994). De acordo com Liebig e Doran (1999), devem ser escolhidos indicadores que possam ser utilizados em áreas distintas, independentemente da

diversidade de situações que prevaleçam. Contudo, os indicadores a serem utilizados devem ser facilmente quantificados e seus efeitos de fácil interpretação, viabilizando a aplicação por agricultores e técnicos no campo.

O uso agrícola das terras altera, normalmente, as propriedades do solo, dependendo das condições edáficas e climáticas. Dessa forma, diferentes sistemas de manejo resultam em mudanças na composição e arranjo dos constituintes do solo, que podem, em alguns casos, prejudicar a conservação desse recurso natural e reduzir a produtividade das culturas (REINERT, 1998).

Práticas agropecuárias inadequadas, como o pastoreio intensivo, sistema de culturas anuais e o desmatamento, são os principais responsáveis pela degradação das terras. A utilização e tráfego de máquinas agrícolas alteram substancialmente a estrutura dos solos, com modificações nas condições que determinam o ambiente de crescimento radicular. A degradação se acentua após a remoção da vegetação nativa, em consequência da remoção de nutrientes e da matéria orgânica sem a devida reposição, levando, em algum momento, à inviabilidade da produção agrícola, o que caracteriza um avançado estágio de degradação (ZALAMENA, 2008).

Para Araújo et al. (2007), os impactos ambientais podem ser avaliados através do estabelecimento de índices de qualidade do solo, quando biomas são incorporados ao processo produtivo, de maneira extensiva ou intensiva. Assim, pode-se ter um importante instrumento no controle, fiscalização e monitoramento de áreas destinadas à proteção ambiental.

Estabelecer um indicador simples e confiável para a avaliação dos atributos do solo é um dos desafios atuais das pesquisas. Portanto, esta qualidade pode ser quantificada através de algumas de suas características como as propriedades físicas, químicas e biológicas, que permitam o monitoramento das mudanças no estado de qualidade do solo, a médio e longo prazo.

A M.O do solo é considerada por Conceição et al., (2005), um eficiente indicador para determinar a qualidade do solo modificada por sistemas de manejo. Além da influência do manejo de culturas e preparo do solo, a M.O é influenciada pela adição de fertilizantes químicos e materiais orgânicos que atuam melhorando

os processos biológicos de decomposição e mineralização da matéria orgânica do solo.

O teor de matéria orgânica do solo (MOS) é um indicador de sua qualidade (CONCEIÇÃO et al., 2005), influenciando diretamente os atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Porém, a simples quantificação dos estoques de C total ou de suas frações não fornece valores extrapoláveis para diferentes situações de manejos, locais, climas e solos (NICOLOSO et al., 2008). Neste aspecto, reservatórios lábeis ou complexados, em diferentes graus de interação com a matriz mineral do solo (MOS estável), podem ter implicações na retenção de C atmosférico, bem como nas propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos.

De acordo com Araújo et al., (2007) o monitoramento da qualidade do solo deve ser orientado para detectar tendências de mudanças que são mensuráveis em um período relativamente longo. Esse monitoramento pode ser feito na propriedade agrícola ou em níveis mais abrangentes, como microbacia hidrográfica, região e outros. As práticas de manejo e conservação do solo e da água devem ser planejadas e executadas procurando-se manter ou mesmo melhorar seus atributos, de modo a aumentar a capacidade do solo em sustentar uma produtividade biológica competitiva, sem comprometer a qualidade da água.

O estabelecimento de índices de qualidade do solo é ainda útil na tarefa de avaliação de impactos ambientais quando biomas são incorporados ao processo produtivo, seja de forma extensiva ou intensiva. Torna-se, assim, um instrumento importante nas funções de controle, fiscalização e monitoramento de áreas destinadas à proteção ambiental.

Dois diferentes enfoques têm sido propostos para se estabelecer critérios de referência: solo de área sob vegetação natural, por representar as condições ecológicas de estabilidade do ambiente; parâmetros agronômicos que maximizem a produção e conservem o meio ambiente (SANTANA; BAHIA FILHO, 2002).

Nos últimos anos, a preocupação com a qualidade do solo tem crescido, na medida em que seu uso e mobilização intensiva podem redundar na diminuição de sua capacidade em manter uma produção biológica sustentável (CARVALHO et al., 2004). A utilização intensiva de equipamentos agrícolas em todas as operações de cultivo do solo (semeadura, tratamentos culturais e colheita) tem promovido aumento da

compactação, principalmente na zona de exploração do sistema radicular (ASSIS; LANÇAS, 2005).

Zatorre (2008) concluiu em seus estudos que em geral, os sistemas agrícolas e naturais devem ser caracterizados como dinâmicos, onde todos os fatores agronômicos e ecológicos necessitam ser aplicados em conjunto, para a manutenção e exploração racional dos recursos neles existentes. Os estudos sobre bioindicadores mostram que os microrganismos do solo, por suas características, tais como a abundância e atividade bioquímica e metabólica, além de proporcionarem respostas mais rápidas e mudanças no ambiente, apresentam um alto potencial de uso na avaliação da qualidade do solo.

A predominância do monocultivo associado às práticas agrícolas inadequadas, com excesso de mobilização do solo, tem comprometido o crescimento da produtividade e resultando na degradação do solo e do ambiente. A realização de estudos que contemplem a dinâmica de nutrientes de solos sob cerrado e o manejo da fertilidade com o crescimento e desenvolvimento de plantas podem otimizar o uso dos insumos, fertilizantes e corretivos, tornando o sistema de cultivo ambientalmente sustentável (GOEDERT; OLIVEIRA, 2007).

Entendendo o solo como um corpo vivo acredita-se que a qualidade pode influenciar não só na fertilidade, mas também na biodiversidade de organismos vivos presentes nele.

A interação entre os agentes químicos, físicos e biológicos regulam em grande parte as condições requeridas pela planta com relação à fertilidade do solo (PIMENTEL et al., 2006).

Ocorrem ainda, efeitos diferenciados sobre os atributos físicos, em função do tipo de preparo do solo adotado em cada sistema de manejo, e estes são dependentes da intensidade de revolvimento, trânsito de máquinas, tipo de equipamento utilizado, manejo de resíduos vegetais (COSTA et al., 2006).

A preocupação com a mudança climática global e com as medidas mitigadoras do problema, principalmente envolvendo ciclagem e fixação de C, tem colocado o sistema pastoril como um dos grandes responsáveis por alterações negativas no meio ambiente. Isso se deve, principalmente, ao fato desse sistema aparecer, em geral, em substituição a ambientes naturais de mata, havendo, com

isso, grandes liberações de C, principalmente devido às práticas de formação dos pastos, em especial quando se faz uso de queimadas. Apesar das críticas, ainda não há dados conclusivos a respeito da quantidade de C que é liberada com a substituição de mata nativa por sistemas de pastagens, nem mesmo quanto de C é mantido nos diversos compartimentos desse novo ambiente, principalmente em se tratando do compartimento solo. Nesse caso, a substituição de ambientes naturais por agroecossistemas com culturas introduzidas causa alteração tanto na quantidade quanto na qualidade do C do solo (COSTA et al., 2009).

Dos componentes do manejo, o preparo do solo é a atividade que mais influi no seu comportamento físico, pois atua diretamente na sua estrutura. Além das modificações na porosidade e densidade, o manejo provoca alterações na estrutura do solo, que afetam a retenção de água e a resistência mecânica, entre outros efeitos. Atualmente, no Brasil, como no resto do mundo, há grande preocupação com o aumento das áreas agrícolas com problemas de compactação, o que se deve em grande parte às operações mecanizadas realizadas sem considerar a umidade ideal do solo (VIEIRA; KLEIN, 2007).

Em ecossistemas naturais é mantida estreita e harmônica integração da cobertura vegetal com o sistema físico, químico e biológico do solo, através de processos essenciais, como a ciclagem de nutrientes, pela formação e decomposição da matéria orgânica. Entretanto, essa harmonia é destruída fisicamente, com as operações de preparo do solo, e alterada quimicamente pela incorporação de corretivos e fertilizantes, causando o desequilíbrio do sistema e, em consequência, a aceleração ou retardamento dos processos de ciclagem de nutrientes e de formação e, ou, decomposição da matéria orgânica (RESCK, 1996).

Os principais responsáveis por esses processos são os microrganismos do solo (fungos e bactérias), algas e microfauna, cuja massa ou biomassa microbiana está permanentemente em renovação, obtendo a energia da matéria orgânica, atuando assim como fonte e dreno (mineralização/imobilização temporária) dos nutrientes necessários ao desenvolvimento das plantas (FERREIRA et al., 2007).

Fialho et al. (2008) avaliando áreas sob vegetação natural e cultivos de bananeiras na Chapada do Apodi (CE), encontraram que o uso agrícola causa alterações ambientais que reduzem a biomassa e a atividade microbiana, tendo

como consequência a redução de sua qualidade, quando comparado à área sob mata natural.

2.2.3 Indicadores de qualidade do solo

O solo constitui o principal componente relacionado à produção agropecuária. Dessa forma, a conservação, ou melhoria de sua qualidade, é essencial para a sustentação da atividade produtiva.

Em ecossistemas naturais, a qualidade edáfica tem sido proposta com o objetivo de se obter um valor padrão ou referência, enquanto que em agrosistemas, ela é indicada, com vistas ao manejo do sistema, pra incentivar a produção, sem degradar o solo (GREGORICH, 2002).

A Qualidade do solo expressa a capacidade do solo em desempenhar suas funções no momento atual e a preservação dessas funções para uso futuro (USDA-NRCS, 2008). Nesse sentido, é a percepção de tempo que reside s relação entre a qualidade do solo e a sustentabilidade agrícola.

O estabelecimento de índices de qualidade do solo é útil na tarefa de avaliação de impactos ambientais quando biomas são incorporados ao processo produtivo, seja de forma extensiva ou intensiva. Torna-se, assim, um instrumento importante nas funções de controle, fiscalização e monitoramento de áreas destinadas à proteção ambiental (ARAÚJO et al., 2007).

Como o número possível de indicadores é muito grande, a aplicação de índices de qualidade e uso de análise estatística multivariada podem ajudar na interpretação dos resultados (BARETTA, 2007).

2.2.3.1 Indicadores químicos

Em solos do Cerrado, altamente intemperizados, a capacidade de troca de cátions deve-se à fração argila e, principalmente, à matéria orgânica que representa um grande percentual da CTC total. A fração argila desses solos possui mineralogia muito pobre, com baixa CTC que varia entre 4 e 14 cmolc dm^{-3} (PIGNATARO NETTO, 2008). Dessa forma, a matéria orgânica do solo não somente é uma reserva

de carbono, mas também, é a principal responsável pelos níveis de fertilidade da maioria dos solos tropicais (NOVAIS et al., 2007; MUÑOZ et al., 2007).

Os indicadores químicos retratam parâmetros que são responsáveis pelos processos naturais do funcionamento do solo, como a matéria orgânica (influencia a textura e a biomassa microbiana), o pH (a disponibilidade de nutrientes) e o conteúdo de nutrientes (a produção de biomassa).

A influência da matéria orgânica não se restringe apenas à fertilidade, pois atua também na agregação do solo, que é um processo dinâmico, sendo necessário o acréscimo contínuo de material orgânico para manter a estrutura adequada ao desenvolvimento das plantas. Sistemas de manejo de solo e de cultura adequadamente conduzidos proporcionam o aporte de material orgânico por meio de resíduos vegetais, além da ação benéfica das raízes das plantas e proteção oferecida à superfície do solo (CAMPOS et al., 1995).

Fragoso et al. (1999) comentaram que a capacidade produtiva dos solos não depende somente da fertilidade, mas também da comunidade microbológica desses solos. Uma vez que a atividade dos microrganismos decompositores depende do pH, este influencia na velocidade de decomposição da matéria orgânica. Assim, em valores de pH próximo da neutralidade, a maioria dos microrganismos do solo trabalha mais eficientemente. Dessa maneira, as alterações do pH podem influenciar o acúmulo de carbono orgânico no solo pelos microrganismos, ou de maneira direta, afetando os processos microbianos, ou indiretamente, por meio da disponibilidade dos nutrientes (MELLO et al., 1985).

2.2.3.2 Indicadores microbiológicos

O solo é um habitat extremamente complexo e dinâmico devido às suas características heterogêneas. Segundo Moreira e Siqueira (2006), essas características são os principais impedimentos para a introdução de tecnologias de manejo biológico, cujo efeito no solo é, em muitos casos, impossível de prever. A atividade microbiana é um componente crítico dos ecossistemas naturais ou manipulados pelo homem.

A atividade microbiana influencia diretamente os atributos químicos, físicos e biológicos do solo, sendo a matéria orgânica e o manejo do solo importantes fatores que atuam na decomposição, imobilização e transformação dos ciclos dos elementos biogeoquímicos. Além de contribuírem de forma direta e indireta para reduzir o impacto da atuação do homem, os microrganismos e seus processos, atuam como agentes no combate à poluição do meio ambiente (SILVA, 2009).

A população microbiana é grandemente influenciada pelo manejo e pela cobertura vegetal do solo, sendo cada grupo afetado de forma seletiva. Os solos submetidos ao plantio direto ou preparo reduzido apresentam acúmulo superficial de resíduos orgânicos e nutrientes minerais, possibilitando a formação de uma camada de alguns centímetros muito favorável ao desenvolvimento microbiano. Com o aumento da profundidade, as condições tornam-se adversas e a população diminui. No preparo convencional, onde a aração é feita até 20 cm em média, ocorre a incorporação mais uniforme dos resíduos resultando numa distribuição mais homogênea da população microbiana na camada arável (GAMA-RODRIGUES et al., 2008).

Um solo equilibrado proporciona a planta um desenvolvimento vigoroso e oferece condições para expressar todo o seu potencial genético de produção. Esse equilíbrio é alcançado quando se tem uma comunidade microbiana ativa e com todas as condições de desenvolver suas atividades (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007).

A porção viva da matéria orgânica do solo varia de 1 a 5%, desta fração, algo entre 60 e 80% são microrganismos. Dessa forma, a maioria da matéria orgânica viva presente no solo é protoplasma microbiano, que é responsável pela quase totalidade da atividade biológica (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006) e pelo fluxo e rápida ciclagem de nutrientes no solo (GAMA-RODRIGUES et al., 2008).

Indicadores biológicos representam diferentes aspectos da qualidade do solo nos diferentes ecossistemas e podem ser utilizados para monitorar as três funções ou parâmetros básicos: estrutura ou desenvolvimento do solo, estoque de nutrientes e atividade biológica (GREGORICH et al., 1994).

As propriedades biológicas do solo, como biomassa microbiana, atividade enzimática e taxa de respiração constituem indicadores sensíveis às alterações ambientais e servem como ferramenta para orientar o planejamento e avaliar as

práticas de manejo do solo. Alguns trabalhos avaliaram variáveis microbiológicas e identificaram que estas foram mais sensíveis em detectar os efeitos de diferentes manejos do solo do que as variáveis físicas e químicas, utilizando como referência vegetações nativas (SILVA, 2009).

Para verificar a relação entre o sistema de produção e o meio ambiente, podem ser adotados diversos critérios. Dentre eles, os indicadores considerados como mais sensíveis à mudança ambiental são os indicadores biológicos, dos quais os mais indicados para monitorar possíveis mudanças do solo são: a biomassa e atividade microbiana. Segundo Araújo e Monteiro (2007), o monitoramento da matéria orgânica do solo constitui-se de um indicador importante da qualidade do sistema, tendo a mesma relação com a fertilidade, estrutura e estabilidade do solo.

Para Reis Júnior e Mendes (2007), a identificação e o melhor conhecimento de indicadores microbiológicos em solos são fundamentais tanto para incentivar o agricultor que já está adotando sistemas agrícolas conservacionistas, bem como para alertar aquele que está adotando sistemas de manejo que levam à degradação do solo.

Ainda segundo os mesmos autores uma das principais estratégias para evitar a expansão da fronteira agrícola, com o desmatamento de novas áreas, é recuperar as áreas que se encontram em algum estágio de degradação e manter ou melhorar a qualidade das áreas utilizadas atualmente na atividade agropecuária. Desse modo, o melhor entendimento do componente biológico do solo será decisivo para a resolução da equação, envolvendo a manutenção de altas produtividades e a sustentabilidade de sistemas agropecuários.

2.2.3.2.1 Carbono da biomassa microbiana do solo

Os microrganismos do solo respondem rapidamente às alterações causadas pelas formas de uso da terra, acusando mudanças antes dos atributos químicos em resposta ao manejo, de modo que têm papel primordial como ferramenta de monitoramento. Kaschuk et al. (2009) apresentaram um modelo conceitual ilustrando as relações que podem ser esperadas entre a biomassa microbiana do solo e produtividade agrícola. Segundo esse modelo, pequenas perdas em BMS não

apresentam reflexos na produtividade devido adaptações possíveis de serem levadas a cabo pela resiliência do solo.

A biomassa microbiana do solo (BMS) compreende a parte viva da matéria orgânica, desconsiderando as raízes e os organismos maiores que $5 \times 10^3 \mu\text{m}^3$. A BMS está relacionada a inúmeros processos: decomposição de resíduos orgânicos, ciclagem de nutrientes, solubilização de nutrientes, degradação de compostos xenobióticos e de poluentes, estruturação do solo e controle biológico de patógenos, sendo reconhecida, portanto, como um componente importante para a qualidade e produtividade do solo, já que responde mais rapidamente a mudanças ambientais que qualquer outro parâmetro agrônômico (KASCHUK et al., 2009).

A biomassa microbiana é a fração viva e lábil da matéria orgânica do solo (MOS), composta por bactérias, fungos, actinomicetos, protozoários e algas. Essa fração reflete na dinâmica da MOS e no desenvolvimento do solo, medindo processos que afetam o ecossistema por estar associados à ciclagem de nutrientes, à fertilidade do solo e às mudanças no estoque de carbono (MENDONÇA; MATOS, 2005).

A Biomassa microbiana do solo é responsável pela decomposição e mineralização de resíduos vegetais e orgânicos, e utiliza esses materiais como fonte de energia e nutrientes para a manutenção e multiplicação (GAMA-RODRIGUES et al., 2008). A sua quantificação permite avaliar alterações na quantidade de matéria orgânica causadas pelo sistema de cultivo (MERCANTE et al., 2008).

A BMS funciona como compartimento de reserva de carbono, nitrogênio, fósforo e enxofre no solo, elementos essenciais para o desenvolvimento vegetal e como catalisador na decomposição da matéria orgânica (SOUZA et al., 2010).

A quantidade e composição da biomassa microbiana podem ser influenciadas por diversos fatores, entre os quais, o sistema de cultivo, a rotação de culturas e a textura dos solos (VENZKE FILHO et al., 2008).

Os valores mais elevados dos teores de C microbiano implicam maior imobilização temporária de nutrientes e, conseqüentemente, em menores perdas de nutrientes no sistema solo-planta (MERCANTE et al., 2008).

Franchini et al. (2007) apontaram os parâmetros associados com a atividade biológica, entre eles o CBM, como sendo indicadores rápidos e sensíveis de efeitos

do manejo no solo, demonstrando sua utilidade como indicador de qualidade nos trópicos.

A partir dos dados de carbono da biomassa, carbono orgânico e respiração basal podem ser calculados o quociente metabólico (qCO_2) e microbiano ($qMIC$). O qCO_2 é calculado pela relação respiração basal/carbono da biomassa e pode indicar comunidades microbianas em estágio inicial de desenvolvimento, alta atividade microbiana, ou ainda, populações microbianas sob algum tipo de stresse (ANDERSON; DOMSCH, 1990).

A biomassa microbiana do solo (BMS) é uma indicadora sensível das mudanças no solo (MERCANTE et al., 2008) por ser a principal responsável pela transformação da matéria orgânica, pela ciclagem de nutrientes e pelo fluxo de energia no solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

O parâmetro da biomassa microbiana e sua atividade tem sido considerado o mais sensível às mudanças iniciais no conteúdo total da M.O do solo, podendo ser utilizado para indicar o nível de degradação ou alterações na qualidade do solo, em função do uso e práticas de manejo utilizadas (TRANNIN et al., 2007).

2.2.3.2.2 Respiração basal do solo

Peña et al. (2005) utilizando a respiração microbiana como indicadora de qualidade do solo em ecossistema florestal, não encontraram variações na atividade microbiana nas camadas superficiais do solo, ao longo das estações do ano. Segundo os autores, a avaliação da produção de CO_2 em laboratório dificulta a avaliação do efeito estacional, pois com o procedimento analítico, a temperatura é mantida constante.

2.2.3.2.3 Quocientes metabólico (qCO_2) e microbiano ($qMic$)

Quociente Metabólico do Solo (qCO_2) é a razão entre a respiração basal do solo por unidade de carbono da biomassa microbiana do solo conforme descrito por Silva et al. (2007), e tem sido usado para estimar a eficiência do uso de substrato

pelos microrganismos do solo (ANDERSON; DOMSCH, 1993) podendo ser utilizado como sensível indicador de estresse quando a biomassa microbiana é afetada.

O uso do qCO_2 como indicador de mudanças na qualidade do solo está baseado na teoria sobre a respiração da comunidade descrita por Odum (1969), na qual descreve que o aumento da respiração da comunidade pode ser distúrbio no solo e requer desvio de energia do crescimento e reprodução. Desse modo, durante um estresse na biomassa microbiana, haverá direcionamento de mais energia para a manutenção celular, em lugar do crescimento, de forma que uma proporção de carbono da biomassa será perdida como gás carbônico.

Valores mais altos de qCO_2 indicam maior necessidade de energia de manutenção para os microrganismos. Assim, sob solos ácidos, onde há necessidade de manter o pH celular em torno de 6,0, apesar dos valores mais baixos do meio circundante, o qCO_2 se eleva. Nessa situação sobra menos energia para a produção de biomassa microbiana.

O $qMIC$ é obtido pela relação carbono da biomassa/carbono orgânico total e fornece indicações sobre a qualidade da matéria orgânica. Alto $Qmic$ pode significar a entrada de resíduos de alta qualidade, ou seja, resíduos orgânicos com baixo conteúdo de lignina e alta capacidade de decomposição, que influenciam a quantidade de biomassa microbiana e sua atividade (BALDOCCHI et al., 2006).

Quociente Microbiano ($qMic$) indica o carbono disponível para o crescimento microbiano, de modo que valores mais altos devem estar relacionados a solos de melhor qualidade. Os quocientes metabólico e microbiano podem ser utilizados na avaliação da vulnerabilidade dos solos à perturbação, em termos de resiliência.

Segundo Colozzi Filho et al. (1999) atividade microbiana maior representa mais carbono respirado e, por conseguinte, perda de carbono do sistema solo-planta para a atmosfera. Altas taxas de respiração podem indicar tanto um distúrbio ecológico como um alto nível de produtividade do ecossistema (ISLAM; WEIL, 2000). Por sua vez, um baixo qCO_2 indica economiana utilização de energia e supostamente reflete um ambiente mais estável ou mais próximo do seu estado de equilíbrio; ao contrário, valores elevados são indicativos de ecossistemas submetidos a alguma condição de estresse ou de distúrbio (TÓTOLA; CHAER, 2002).

2.2.3.2.4 Enzimas do solo

Segundo Melo et al. (2008) enzimas são biomoléculas de natureza predominantemente proteica, que catalisam reações termodinamicamente possíveis. São catalisadores que aumentam a velocidade das reações bioquímicas, por volta de 10⁶ a 10¹² vezes quando comparadas com reações não catalizadas (SMITH et al., 1985).

Segundo Andrade e Silveira (2004), a determinação da atividade enzimática no solo é uma maneira de se medir a atividade microbiana, indicando mudanças ocorridas na microbiota do solo, entretanto, sem relacioná-las a um grupo específico de organismo. As enzimas apresentam grande potencial como indicadores de qualidade do solo por serem sensíveis às variações induzidas por fatores ambientais e de manejo, e os processos de sua análise são relativamente simples e rápidos (BALOTA et al., 2004; TEJADA et al., 2006).

Os microrganismos do solo produzem uma grande variedade de enzimas que desempenham um papel essencial em diversos processos do ecossistema e estão envolvidas no metabolismo celular, tais como a decomposição de materiais orgânicos (VAN DER HEIJDEN et al., 2008; SILVA et al., 2010). A atividade enzimática do solo é uma das primeiras propriedades que é alterada quando os solos são degradados (ACOSTA-MARTINEZ et al., 2007).

A celulose é considerada como uma das únicas fontes renováveis de carbono, além de ser disponível em grandes quantidades em resíduos celulósicos, representando mais de 60% dos resíduos agrícolas. Estima-se que a produção anual de celulose atinja a casa dos 100 bilhões de toneladas. Assim, a atividade enzimática se constitui uma forma de avaliar impactos, antes que outras propriedades sejam afetadas. Uma detecção precoce possibilita maior probabilidade de êxito na prevenção ou correção dos efeitos negativos (REVOREDO, 2005).

As enzimas extracelulares sintetizadas por bactérias são principalmente lípases e celulasas, que atacam o material não-lignificado. As bactérias só degradam a lignina depois do ataque inicial por fungos (JASTROW et al., 2007).

Araújo et al. (2012), avaliando a atividade da urease em diferentes manejos de integração lavoura pecuária (ILP), relataram diferença significativa para a urease em função dos diferentes sistemas de manejo, demonstrando sua sensibilidade como indicador de qualidade de solo.

As desidrogenases são consideradas enzimas que refletem atividade microbiana do solo, visto que fazem uso do NAD^+ como transportador de elétrons (NANNIPIERI et al., 1980). São enzimas que catalisam a oxidação de substratos orgânicos, os quais são recebidos por uma coenzima como NAD^+ ou FAD^+ . As desidrogenases são enzimas ligadas às células e não enzimas extracelulares.

A celulase é uma enzima que catalisa a hidrólise da celulose em unidades de celobiose, que é um dissacarídeo formado por unidades de glicose em ligação glicosídica $\beta 1,4$. A celobiose é posteriormente hidrolisada pela ação da glicosídica β -glicosidase, de tal modo que a hidrólise total da celulose resulta em muitas moléculas de glicose (PANCHOLY; RICE, 1973).

2.3 Utilização da análise multivariada como ferramenta para avaliar os atributos do solo

No solo, existem diversas inter-relações entre os atributos físicos, químicos e biológicos que controlam os processos e os aspectos relacionados à sua variação no tempo e no espaço (CARNEIRO et al., 2009).

As comparações, na maioria das vezes, são feitas entre parâmetros físicos, químicos, ou biológicos individualmente, o que dificulta a visualização do conjunto, já que, em termos de ecossistema, pela própria definição, as alterações provocam reações em cadeia, alterando uma série de componentes do ambiente (ALVARENGA; DAVIDE, 1999).

A utilização de técnicas estatísticas que permitam a ordenação de amostras em função de uma série de fatores ambientais simultaneamente permite uma análise conjunta dos fatores ambientais para a verificação de suas associações em diferentes ecossistemas ou usos do solo (MELLONI et al., 2008).

A necessidade de análise multivariada surge toda vez que o pesquisador tem vários atributos a serem analisados e necessita estudar simultaneamente suas

relações (GELSOMINO et al., 2006). Essa abordagem é muito útil porque, além de identificar os atributos do solo mais relevantes para a separação das áreas, permite considerá-lo como um indicador sensível para a avaliação da intervenção antrópica, bem como do status de sustentabilidade dos agroecossistemas.

A análise de agrupamento por método hierárquico é um técnica multivariada exploratória que tem por finalidade reunir as unidades amostrais em grupos, de tal forma que exista homogeneidade dentro do grupo e heterogeneidade entre eles. A estrutura de grupos contida nos dados é vista em um gráfico denominado dendrograma construído com a matriz de semelhança entre as amostras (SNEATH; SOKAL, 1973).

As comparações, na maioria das vezes, são feitas entre parâmetros físicos, químicos, ou biológicos individualmente, o que dificulta a visualização do conjunto, já que, em termos de ecossistema, pela própria definição, as alterações provocam reações em cadeia, alterando uma série de componentes do ambiente (ALVARENGA; DAVIDE, 1999).

A análise estatística multivariada surgiu como importante ferramenta na obtenção de quantidade maior de informação que dificilmente seria gerada com o uso de métodos univariados (BEEBE et al., 1998). Na estatística multivariada, o fenômeno depende de muitas variáveis, com isso não basta conhecer as variáveis isoladas, mas conhecê-las na sua totalidade, pois uma depende da outra e as informações são fornecidas pelo conjunto e não individualmente (GROBE, 2005).

O modelo de análise estatística univariada convencional torna-se menos sensível em sistemas biológicos, em razão das particularidades de cada manejo (MALUCHE-BARETTA et al., 2006), tratando somente umas das diversas variáveis a cada tempo, e não considera o efeito conjunto dos inúmeros atributos químicos e microbianos avaliados. Assim, a necessidade de análise multivariada surge toda vez que o pesquisador tem vários atributos a serem analisados e necessita estudar simultaneamente suas associações (GELSOMINO et al., 2006).

Entre os métodos multivariados, a análise de componentes principais busca explicar a estrutura de variância-covariância de um conjunto de variáveis através de combinações lineares dessas variáveis (JOHNSON; WICHERN, 2007). Possui como principais objetivos: reduzir o número de variáveis e analisar quais variáveis ou quais

conjuntos de variáveis explicam a maior parte da variabilidade total, revelando o relacionamento existente entre eles (BOUROCHE; SAPORTA, 1982).

Verifica-se que, quando as variáveis ambientais (atributos físicos, químicos e biológicos) do solo são analisadas em conjunto e correlacionadas com diferentes ecossistemas, a visualização e a ordem de influência dessas variáveis são bem mais claras (MELLONI et al., 2008). Os autores anteriormente citados, avaliando a qualidade de solos em áreas de floresta de eucalipto, araucária, mata e pastagem, por meio de componentes principais e análise de agrupamento, observaram que os atributos químicos, físicos e microbianos promoveram uma análise mais abrangente da qualidade dos ecossistemas, indicando os atributos que influenciaram nessa avaliação.

A análise das informações geradas a partir das características químicas e físicas de solos pode ser realizada utilizando-se técnicas estatísticas de análise multivariada. A análise multivariada é importante ferramenta para a análise exploratória de dados de solos, permitindo agrupamento de amostras seguindo sua similaridade e ainda permitindo a seleção de variáveis de maior importância na discriminação de grupos pré-selecionados (BENITES et al., 2010).

A análise dos componentes principais (ACP) é uma técnica que transforma um conjunto grande de variáveis originais em um conjunto menor de variáveis (componentes principais), as quais são combinações lineares dos valores originais, representando a maior variabilidade do conjunto de dados iniciais (NIELSEN; WINDING, 2002). Os componentes principais são ordenados, com o primeiro componente extraindo a maior variabilidade e o último componente a menor variabilidade (TABACHNICK; FIDELL, 2007). O número de componentes principais que se deve analisar dependendo do percentual de variabilidade que é explicado por cada componente principal. A representação gráfica dos dados ajuda na interpretação dos resultados.

Campos et al. (1995) também utilizando a análise dos componentes principais (ACP), verificaram se as modificações na utilização do solo no México afetaram sua qualidade e identificaram quais os indicadores são os melhores representantes da variabilidade dos dados originais. Os dois primeiros componentes explicaram 62% da variância do total dos dados e as variáveis relacionadas, dentre elas, o quociente

metabólico e o carbono da biomassa microbiana foram identificados como potenciais indicadores para o monitoramento da qualidade do solo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização das áreas de estudo

O estudo foi desenvolvido em cinco áreas nos municípios Anapurus e Chapadinha, na Microrregião de Chapadinha-MA que está localizada na Mesorregião Leste Maranhense. Sua população foi estimada em 2009 pelo IBGE em 203.848 habitantes. Possui uma área total de 10.030,543 km² e está dividida em nove municípios: Anapurus, Belágua, Brejo, Buriti, Chapadinha, Mata Roma, Milagres do Maranhão, São Benedito do Rio Preto e Urbano Santos.

O clima da Região de acordo com a classificação de Köppen é Aw' do tipo tropical quente e úmido, com totais pluviométricos anuais, que variam de 1.600 a 2.000 mm, umidade relativa do ar anual entre 73 a 79%. Há uma dualidade estacional, com um período de estiagem (julho a dezembro) e um chuvoso (janeiro a junho) e temperaturas anuais variando de 32 a 41° C (MARANHÃO, 2002).

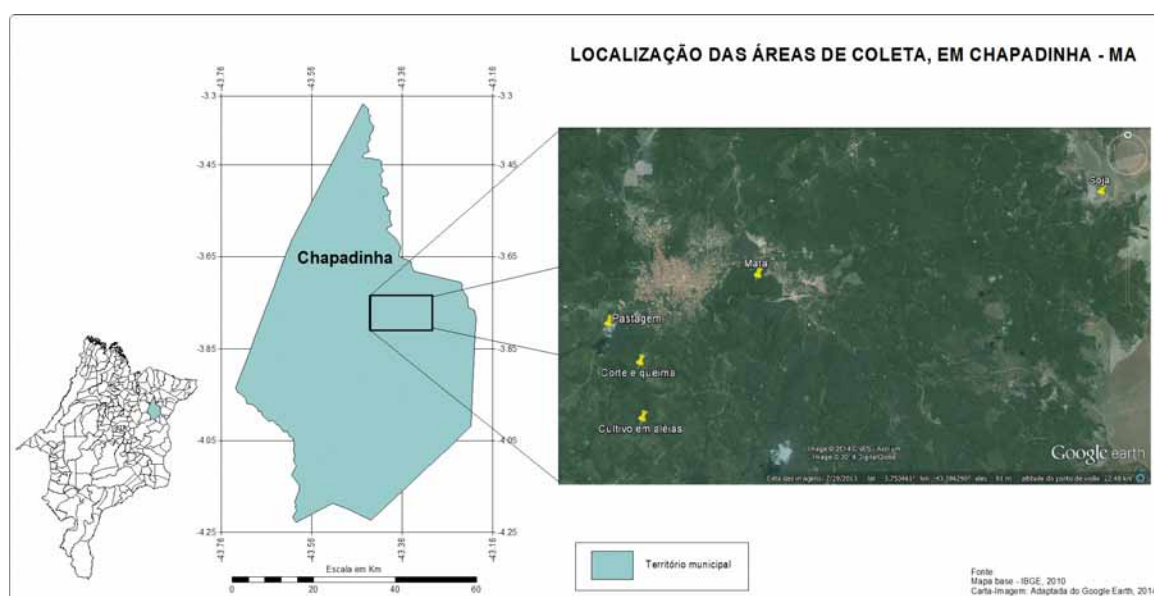


Figura 1. Localização das áreas de coleta.

O solo de cada ambiente foi classificado seguindo critérios descritos por Santos et al. (2013). As áreas apresentaram a seguinte caracterização:

- **Área de mata nativa (Cerrado nativo):** solo classificado como Latossolo Amarelo Distrófico Argissólico, A moderado, textura médio-argilosa, fase floresta tropical subcaducifólia com transição para cerrado subcaducifólio. Área de mata secundária/antropisada apresentando serapilheira espessa.



Figura 2. Perfil do solo e cobertura vegetal da área de mata nativa.

- **Área de monocultura de soja:** Área de cultivo com manejo convencional (aração e gradagem) de soja. Cultura implantada em substituição a uma floresta tropical subcaducifílica com transição para cerrado subcaducifólio há 5 anos. Sob Latossolo Amarelo Distrófico Argissólico, A moderado, textura médio-argilosa.



Figura 3. Perfil do solo e cobertura vegetal da área de monocultura de soja.

- **Área de cultivo em aléias:** área de 35,5m x 50,0m de Cultivo agroecológico instalado em janeiro de 2009, constituído de combinações das seguintes espécies de leguminosas arbóreas (*Leucaena leucocephala* L., *Clitoria fairchildiana* L.; *Acassia mangium*; *Gliricidia sepium* L.) que são podadas periodicamente e adicionadas ao solo como cobertura morta. Antes da calagem e do plantio das leguminosas, foram coletadas amostras de solo na profundidade de 0-0,10m e que apresentaram as seguintes características químicas: Matéria orgânica ($40,5 \text{ g.dm}^{-3}$), pH CaCl_2 (5,0), Fósforo ($10,0 \text{ mg.dm}^{-3}$), H+Al ($58,0 \text{ mmolc.dm}^{-3}$), Al^{3+} ($1,0 \text{ mmolc.dm}^{-3}$), Soma de Bases ($29,0 \text{ mmolc.dm}^{-3}$), CTC ($87,0 \text{ mmolc.dm}^{-3}$), V (34%). Para a correção da acidez do solo foram aplicadas duas toneladas de calcário por hectare. Para a correção dos baixos teores de fósforo do solo foram aplicados 300 kg de superfosfato simples por hectare durante o plantio das leguminosas. Latitude: $03^\circ 47' 71,6'' \text{ S}$ e longitude $43^\circ 21' 70,8'' \text{ W}$. Solo classificado como sendo um Plintossolo Pétrico Concrecionário êndico Tb, A moderado, textura média-argilosa, fase floresta tropical subcaducifólia transição cerrado subcaducifólio, relevo plano.



Figura 4. Perfil do solo e cobertura vegetal da área de cultivo em aléias.

- **Área de corte e queima:** área de agricultura tradicional de subsistência (milho, feijão e mandioca) há 5 anos sem adubação e sem calagem, com capinas manuais periódicas. Solo classificado como Plintossolo Pétrico

Concrecionário êndico Tb, A moderado, textura média-argilosa, fase floresta tropical subcaducifólia com transição para cerrado subcaducifólio, relevo plano. Latitude: 03° 46' 34,6" S e longitude 43° 22' 15,5" W.



Figura 5. Perfil do solo e cobertura vegetal da área de corte e queima.

- **Área de pastagem:** Solo sob pastagem de *Brachiaria humidicola* L. implantada pelo menos 20 anos, com uso e manejo de forma extensiva com bovinos sem controle de lotação, sob um Plintossolo Argilúvico Distrófico típico, Tb, A moderado, textura média-arenosa/média-argilosa, fase floresta tropical subcaducifólia com babaçu, relevo suave-ondulado. Latitude: 03° 45' 41,2" S e longitude 43° 23' 01,4" W.



Figura 6. Perfil do solo e cobertura vegetal da área de pastagem.

3.2 Coleta e análise química do solo

Coletou-se em cada área de aproximadamente um hectare 30 amostras compostas de solo, constituídas de sete amostras simples cada uma, coletadas ao acaso com trado holandês, na profundidade de 0-0,10m. As amostras deformadas foram transportadas imediatamente para o laboratório, secas ao ar e a seguir passadas em peneiras de malha de 2,0 mm. As análises químicas foram realizadas no Laboratório de Solos da Universidade Estadual do Maranhão e consistiram das seguintes determinações: pH em CaCl_2 , cátions trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+), acidez trocável (Al^{3+}) e potencial (H^+ + Al^{3+}), fósforo disponível (P resina) e matéria orgânica (MO), seguindo método proposto por Raij et al. (2001). Com os valores analíticos obtidos, foram calculados os valores para a soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions a pH 7,0 (CTC pH 7,0) e saturação por bases (V).

3.3 Análises microbiológicas do solo

3.3.1 Determinação da respiração basal do solo (RBS)

A atividade respiratória microbiana (carbono do CO_2 liberado) foi determinada em 100 g de solo úmido colocado em um frasco com tampa rosquiável com capacidade de 2,5 L, conforme Rezende et al. (2004), com o teor de umidade corrigido para 60% da capacidade de retenção de água (CRA). Em cada frasco foram colocados e béqueres com capacidade de 50 mL cada, um contendo 20 mL de H_2O destilada e outro contendo 20 mL da solução de NaOH 0,5M. Os frascos foram vedados com filme plástico do tipo PVC seguidos de tampa e incubados à 30°C por 7 dias. Ao final do período de incubação, retirou-se o béquer contendo NaOH 0,5M, ao qual foram adicionados 2 mL da solução de cloreto de bário 30%, três gotas da solução de fenolftaleína 1%, titulando-se o mesmo com HCl 0,5M, até a viragem da cor rosa escuro para incolor, de modo que a determinação da quantidade de CO_2 produzida foi acumulativa. Dois frascos contendo seus respectivos béqueres sem o solo foram incluídos como controle.

3.3.2 Determinação do carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS)

As amostras de solo secas ao ar foram submetidas a umedecimento prévio até atingir 75% da capacidade de campo, a fim de reativar a microbiota do solo. As amostras umedecidas foram deixadas em repouso por um período de 24 horas (GONÇALVES, 1999).

A determinação do carbono da biomassa microbiana (CBM) foi realizada pelo método de irradiação- extração descrito por Mendonça e Matos (2005). Tal método consiste em utilização de energia eletromagnética (microondas), irradiação, visando a morte dos microrganismos (lise celular), para posterior quantificação do carbono. Antes da exposição das amostras ao microondas, foi realizado o cálculo de potência do aparelho bem como o cálculo do tempo de exposição da amostra ao mesmo, através da equação descrita abaixo:

Cálculo da potência do microondas:

$$(1) P = \frac{C_p \cdot K \cdot \Delta T \cdot M}{t}$$

Onde:

P=potência real do aparelho em W;

$C_p=1 \text{ J} \cdot \text{mL}^{-1}\text{K}^{-1}$, capacidade da água de receber calor;

$K=4,184$, fator de correção de $\text{cal mL}^{-1}\text{K}^{-1}$ para watts ($\text{J} \cdot \text{s}^{-1}$);

T=variação da temperatura de 1L de H_2O em 2 minutos de exposição, em $^{\circ}\text{C}$;

$m=1000 \text{ g}$, massa da água ao microondas;

$t=120\text{s}$, tempo de exposição da água ao microondas.

Cálculo do tempo de exposição da amostra:

$$(2) t = \frac{r \cdot m}{P}$$

Onde:

t=tempo de exposição das amostras ao microondas;

$r=800 \text{ J g}^{-1}$ de solo, quantidade de energia necessária pra a exposição;

m=peso total da amostra a ser irradiada, em gramas;

P=potência real do aparelho, em W.

Para quantificação do C foi adotada a metodologia descrita por Vance et al. (1987). As amostras de solo foram transferidas para Erlenmeyer de 125 mL adicionando-se 50 mL da solução extratora de sulfato de potássio 0,5 M. Agitou-se por uma hora em agitador horizontal e filtrou-se a mistura. Pipetou-se 8 mL do filtrado em Erlenmeyer de 125 mL. Adicionou-se ao filtrado 2 mL da solução de dicromato de potássio 0,066 M e 10 mL de ácido sulfúrico concentrado (85%). A mistura foi submetida à ebulição por 1 hora em banho Maria, logo após esse período adicionou-se água destilada até atingir o volume de 75 mL. Depois que a solução atingiu temperatura ambiente, adicionou-se 1 mL da solução de difenilamina (10 g de difenilamina por litro de ácido sulfúrico concentrado). Mistura foi então titulada com solução de sulfato ferroso amoniacal 0,033 M em solução de ácido sulfúrico 0,4 M até a mudança da cor de azul para verde musgo. Para cada solo foi feito um branco, omitindo-se a adição de extrato de solo.

3.3.2.1 Cálculos para o valor do carbono da biomassa microbiana

1. Calculou-se o volume excedente de dicromato correspondente aos extratos do solo e ao branco;
2. Com esse valor fez-se o cálculo da quantidade de dicromato consumido, que é a diferença entre o que sobrou da digestão do branco e a digestão do extrato de solo;
3. Fez-se o cálculo do carbono extraível assumindo-se que 1 mL de $(K_2Cr_2O_7)$ 0,066M é equivalente a 1.200 $\mu\text{g C}$;
4. Dividiu-se o valor encontrado pelo peso seco do solo utilizado;
5. Fez-se a multiplicação pelo volume de extração e dividiu-se pelo volume do extrato usado;
6. Para efetuar o cálculo final utilizou-se a relação: carbono da biomassa microbiana= 2,64 x Ec onde:
Ec= C extraível do solo fumigado – C extraível do solo não fumigado.
Carbono da Biomassa Microbiana= $\mu\text{g C. g}^{-1}$ de solo seco.

3.3.3 Determinação dos quocientes metabólicos (qCO_2) e microbiano ($qMic$)

O quociente metabólico (qCO_2) é uma relação entre o CO_2 liberado e o carbono da biomassa microbiana e é usado como indicador de eficiência da comunidade microbiana em incorporar o carbono à própria biomassa (ANDERSON; DOMSH, 1990). Assim, quanto maior o índice, menos eficiente seria a comunidade microbiana em ação, já que mais dióxido de carbono é perdido para a atmosfera para incorporar uma unidade de carbono à biomassa. Os resultados foram expressos em $\mu g CO_2 \mu g CBM^{-1} dia^{-1}$.

O quociente metabólico (qCO_2) foi calculado pela razão entre a taxa de Respiração Microbiana e o Carbono da Biomassa Microbiana (ANDERSON; DOMSCH, 1990), sendo expresso em $Mg C-CO_2 Cmic^{-1}dia^{-1}$, conforme a fórmula a seguir:

$$CO_2 = TRM / CBM \quad (1)$$

$$TRM = RM / d \quad (2)$$

Em que:

qCO_2 = quociente metabólico ($Mg C-CO_2 mg Cmic^{-1}.dia^{-1}$);

TRM = Taxa de respiração microbiana ($Mg C-CO_2 kg^{-1}dia^{-1}$);

RM = respiração microbiana ($Mg C-CO_2 kg^{-1}$);

d = dias de incubação para a determinação da respiração microbiana;

CBM = Carbono da biomassa microbiana ($Mg C kg^{-1}$).

3.3.4 Atividade enzimática no solo

3.3.4.1 Atividade da celulase

Foi determinada conforme metodologia proposta por Kanazawa e Miyashita (1986), utilizando-se carboximetilcelulose como substrato. Os açúcares redutores

formados na mistura de reação da enzima foram determinados conforme método de Somogyi-Nelson (SOMOGYI, 1952).

3.3.4.2 Atividade da urease

A determinação da atividade da urease foi realizada com base na metodologia proposta por McGarity e Myers (1967). Pesando 2,0 g de terra fina seca ao ar (TFSA) em tubo de 18x18 mm, acrescentando-se 0,2 mL de tolueno que ficou em repouso por 15 minutos e foram adicionados 2 mL de tampão fosfato 0,1M- pH 6,7 e como substrato 1 mL de solução de uréia a 10% e incubou-se a 37°C em banho-maria por 3 horas. Após a incubação acrescentaram-se 3 mL de água destilada. Após a centrifugação (10.000 rpm por 10 minutos), foram pipetados 0,1 mL do centrifugado, em tubos de ensaio. Adicionando-se 2,1 mL de água destilada, 0,5 mL de fenolato e 0,3 mL de hipoclorito 0,9% de cloro ativo. Os tubos foram agitados vigorosamente, incubando-se novamente, agora em temperatura ambiente por 60 minutos e realizou-se a leitura da absorbância em espectrofotômetro no comprimento de onda de 630 nm. Os resultados foram calculados a partir de uma curva padrão com solução de sulfato de amônia.

3.3.4.3 Atividade da desidrogenase

A atividade da desidrogenase foi obtida através do método de Casida et al. (1964). Pesando 3,0 g de terra fina seca ao ar (TFSA) em tubo de ensaio de 18x180 mm, misturou-se 0,03g de carbonato de cálcio (CaCO_3). Após isso foi adicionado 0,5 mL de TTC 3% (trifenil tetrazolium cloreto de sódio), acrescentou-se 1,3 mL de água destilada para a formação de um filme de líquido na superfície do solo. Fez-se a agitação leve do tubo com as mãos, incubando-se a 37°C por 24 hs. Após incubação, o solo foi lavado com 30 mL de metanol, filtrando em papel chupão. Em seguida, realizou-se a leitura da absorbância em espectrofotômetro no comprimento de onda de 485 nm. Através da realização da curva padrão com concentrações crescentes de solução de TFF (trifenilformazan), calculou-se a quantidade de TFF produzido com a reação enzimática.

3.4 Processamento de dados e análises estatística

Inicialmente, a variabilidade dos dados foi avaliada por meio da estatística descritiva, calculando-se média, desvio-padrão, mínimo, máximo e coeficiente de variação. Para os atributos que apresentaram normalidade e homocedasticidade entre os agroecossistemas foi aplicado o teste de Duncan a cinco por cento de significância e para as variáveis que não apresentaram distribuição normal foi aplicado o teste de Kruskal-Wallis com cinco por cento de significância. Posteriormente, os atributos foram submetidos às análises exploratórias multivariadas de agrupamento por método hierárquico e componentes principais.

Após a padronização dos dados (média nula e variância unitária), as análises foram conduzidas no programa STATISTICA 7.0 (StatSoft. Inc., Tulsa, OK, USA). Simultaneamente às análises estatísticas, as pressuposições básicas da análise de variância, normalidade dos erros e homogeneidade das variâncias foram testadas para todas as propriedades avaliadas (dados não apresentados).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Variação dos atributos químicos do solo nas áreas avaliadas

O teor de matéria orgânica foi maior nas áreas sob cultivo em aléias e corte e queima diferido estatisticamente ($p < 0,05$) dos demais (Tabela 1). Valor mais expressivo de MO no cultivo em aléias pode ser justificado segundo Torres et al. (2008), pela presença de um sistema radicular bem desenvolvido nas plantas utilizadas como adubos verdes, propiciando assim, maior ciclagem de nutrientes e o aumento dos estoques de carbono orgânico e nitrogênio total no solo

Observou-se maior valor de pH do solo sob monocultura de soja quando comparados às outras áreas (Tabela 1). Este aumento tem sido registrado em diversos estudos (JANTALIA et al., 2007) e foi atribuído à maior concentração de bases trocáveis na camada superficial do solo devido às práticas de fertilização e correção.

Tabela 1. Atributos químicos do solo nas áreas de AL (Cultivo em Aléias), C.Q (Corte e Queima), Soja, Mata e Pastagem.

Áreas	Média	DP	Mínimo	Máximo	CV (%)
Matéria Orgânica do solo (gdm⁻³)					
AL	37,83d	3,78	28,50	44,50	10,00
C.Q	34,30c	4,84	25,80	42,90	14,16
Soja	11,23a	2,87	7,90	22,80	25,58
Mata	19,60b	2,09	14,90	23,30	10,71
Pastagem	20,27b	10,14	11,80	57,50	49,66
pH (CaCl₂)					
AL	4,97c	0,17	4,70	5,41	3,43
C.Q	4,59b	0,13	4,37	4,87	2,85
Soja	5,77d	0,26	5,21	6,16	4,54
Mata	3,84a	0,09	3,69	4,07	2,35
Pastagem	4,53b	0,17	4,26	4,92	3,77
P resina (mgdm⁻³)					
AL	45,10c	28,84	14,60	130,80	63,61
C.Q	7,40ab	2,88	3,30	13,70	39,61
Soja	38,23c	22,85	14,10	147,10	60,27
Mata	6,60a	1,24	4,40	8,70	18,84
Pastagem	8,40b	1,29	6,90	11,80	15,07
H+Al (mmol_cdm⁻³)					
AL	56,30d	16,02	2,48	92,06	28,32
C.Q	65,70e	10,23	48,41	85,52	15,41
Soja	13,80a	2,37	10,50	21,28	17,02
Mata	50,50c	5,20	40,47	62,34	10,32
Pastagem	35,07b	13,04	26,27	91,10	37,10
Al (mmol_cdm⁻³)					
AL	0,00a	0,00	0,00	0,00	0,00
C.Q	2,20b	3,13	0,00	14,50	145,58
Soja	0,00a	0,00	0,00	0,00	0,00
Mata	9,43c	2,99	3,00	16,00	33,11
Pastagem	1,00b	1,03	0,00	3,50	117,04
SB (mmol_cdm⁻³)					
AL	66,40d	9,54	50,47	88,96	14,34
C.Q	40,46c	7,49	26,73	51,52	18,70
Soja	28,93b	5,87	21,14	53,79	20,26
Mata	12,09a	3,89	5,36	18,98	32,23
Pastagem	29,27b	16,53	16,90	93,17	56,09
CTC (mmol_cdm⁻³)					
AL	122,67c	16,83	82,29	158,37	56,09
C.Q	106,23c	13,32	80,72	128,03	12,51
Soja	42,72a	6,20	35,58	64,47	14,46
Mata	62,63b	5,76	52,86	72,77	9,22
Pastagem	64,31b	28,02	46,84	164,51	43,36
V (%)					
AL	54,79d	9,86	41,39	100,00	18,02
C.Q	38,12b	5,49	26,59	51,35	14,59
Soja	67,50e	5,48	49,84	77,43	8,14
Mata	19,21a	5,52	8,33	28,99	28,70
Pastagem	44,37c	5,93	34,73	62,91	13,34

N = 30; DP = desvio-padrão; CV = coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Kruskal-Wallis, ao nível de 5% de probabilidade.

Nas áreas de cultivo em aléias e monocultura de soja foi observado o maior teor de fósforo disponível (P disponível) que diferiram estatisticamente ($p < 0,05$) dos demais. Isto está relacionado à contribuição da adubação feita no sistema com função repositória (LEITE et al., 2013).

O maior teor de P encontrado no cultivo em aléias foi atribuído também ao reduzido revolvimento do solo e à liberação desse nutriente pela decomposição de resíduos de plantas adicionados ao solo no manejo do sistema, com a conseqüente competição dos ácidos orgânicos oriundos no processo de mineralização com o fósforo pelos sítios de adsorção, aumentando os teores de fósforo disponível na solução do solo, conforme registrado por Faleiro et al. (2003). Por outro lado, o menor teor foi verificado na área de mata natural demonstrando as limitações em termos de disponibilidade de fósforo em solos sob o bioma cerrado.

Pode-se observar que os valores de soma de bases (SB) e saturação por base (V%) foram estatisticamente maiores ($p < 0,05$) no solo sob cultivo em aléias, representando, portanto, maior liberação de nutrientes para as plantas (Tabela 1). Silva e Mendonça (2007) relataram em seus estudos que nos solos das regiões tropicais, que caracterizam a maior parte do território brasileiro, a matéria orgânica oferece geralmente a maior contribuição nos valores de CTC total do solo. Os baixos valores de V% e SB encontrados no solo sob sistema de mata nativa indicam que mesmo apresentando elevado teor de matéria orgânica, este solo apresenta poucas bases em seu complexo de troca.

4.2 Variação dos atributos microbiológicos do solo nas áreas avaliadas

A respiração basal (C-CO₂) do solo foi favorecida pelas características da área de corte e queima e de mata nativa, que proporcionaram maiores valores de C-CO₂, sendo estatisticamente ($p < 0,05$) superiores aos demais agroecossistemas avaliados (Tabela 2). As condições do ambiente de mata nativa, de acordo com estudos de Alves et al. (2011) favorecem a heterogeneidade das fontes de carbono, conseqüentemente, favorecendo a atividade e estabilidade da comunidade microbiana.

Pode-se observar nos resultados obtidos que a maior produção de C-CO₂ nem sempre está associada às melhores condições da biomassa microbiana do solo. De acordo com Almeida et al. (2007) emissões de C-CO₂ mais elevadas podem estar associadas às condições de estresse microbiano, o que pode refletir em baixa eficiência de conversão dos resíduos orgânicos em carbono microbiano.

Os maiores valores de respiração basal foram obtidos nas áreas de corte e queima e de mata natural, o que poderia indicar um maior equilíbrio energético nesses sistemas. No entanto, Nunes et al. (2009) relatam que na avaliação da atividade respiratória do solo deve-se ter cuidado na interpretação dos resultados, susceptíveis à decomposição com conseqüente liberação de nutrientes para as plantas, conforme verificado na área de mata nativa, como pode ser reflexo de um consumo intenso de carbono oxidável pela população microbiana para a sua manutenção, em circunstâncias em que a biomassa encontra-se sob algum fator de estresse de acordo com os valores observados na área de corte e queima.

Os valores de Carbono da Biomassa Microbiana (C-BMS) na área de cultivo em aléias e mata nativa foram mais elevados, diferindo ($p < 0,05$) das demais áreas. Perez Marin (2002) observou que a adoção de práticas agroflorestais em combinação com culturas anuais, conduziram a melhores condições de biomassa microbiana do solo.

Os baixos valores de C-BMS observados nas áreas de soja e corte e queima podem ser explicados pelo efeito negativo que o cultivo do solo exerce sobre a microbiota do solo, efeito este confirmado por Bayer e Mielniczuk (2008) que estudando solos sob vegetação e sob cultivo, concluíram que métodos de preparo com revolvimento do solo e sistemas de cultura com baixa adição de resíduos vegetais influenciam a atividade e a biomassa microbiana. No presente estudo observou-se que a capacidade de imobilização de carbono pela biomassa microbiana foi inversamente proporcional à intensidade de manejo do solo.

O sistema de monocultura de soja apresentou altos valores de quociente metabólico (qCO_2), indicando um estresse nas populações microbianas deste sistema (Tabela 2). Mercante et al. (2008) relataram que o intenso revolvimento e manejo do solo proporciona a decomposição acelerada dos resíduos vegetais presentes neste ambiente, indicando que a biomassa microbiana foi menos eficiente

na utilização dos compostos orgânicos, liberando mais carbono na forma de C-CO₂ e incorporando menos carbono aos tecidos microbianos.

Tabela 2. Atributos microbiológicos do solo nas áreas de AL (Cultivo em Aléias), C.Q (Corte e Queima), soja, Mata e Pastagem.

Áreas	Média	DP	Mínimo	Máximo	CV (%)
*Respiração Basal do solo (mgC-CO₂ kg⁻¹ solo secodia⁻¹)					
AL	43,33a	8,62	28,79	57,10	19,87
C.Q	80,91c	9,49	63,38	102,67	11,77
Soja	48,80b	11,03	27,23	68,05	22,24
Mata	81,05c	14,80	57,09	127,77	18,44
Pastagem	40,89a	9,91	25,65	63,37	24,12
**Carbono da Biomassa Microbiana do Solo (mgCmickg⁻¹ de C solo)					
AL	175,09d	47,04	87,34	314,79	26,48
C.Q	49,27b	17,08	17,83	100,64	34,77
Soja	16,46a	11,90	3,10	53,97	71,99
Mata	172,30cd	91,02	31,73	258,13	51,61
Pastagem	130,15c	70,41	32,50	381,00	52,36
**Quociente Metabólico-qCO₂(mg-CO₂g⁻¹BMS-Ch⁻¹)					
AL	0,26a	0,06	0,13	0,47	24,00
C.Q	1,85c	0,79	0,91	4,61	42,70
Soja	5,07c	4,19	1,03	15,24	80,15
Mata	0,68b	0,54	0,21	2,84	84,37
Pastagem	0,60ab	0,21	0,13	1,03	55,26
**Quociente Microbiano (%)					
AL	7,99b	2,00	4,60	13,20	24,69
C.Q	2,56a	0,99	0,87	4,93	38,52
Soja	2,53a	1,66	0,53	6,75	65,87
Mata	15,16c	7,80	2,52	33,47	50,19
Pastagem	12,18bc	6,71	3,74	30,48	53,34
**Desidrogenase (µg TFFg⁻¹ solo seco)					
AL	17,44c	5,14	6,22	28,65	29,56
C.Q	12,72b	6,63	4,73	24,97	51,67
Soja	8,66a	5,98	1,54	24,78	68,81
Mata	16,79c	4,62	9,98	27,94	27,40
Pastagem	23,07d	7,99	12,59	43,94	34,36
**Celulase (µg Glicoseg⁻¹ solo seco)					
AL	1201,31c	721,32	76,59	2534,68	64,41
C.Q	368,37ab	538,64	0,74	2519,64	140,15
Soja	363,74ab	534,69	4,95	2579,79	142,48
Mata	469,71b	377,01	2,61	1542,23	77,98
Pastagem	309,21a	479,60	1,84	2342,79	151,17
**Urease (µg NH₄-Ng⁻¹ solo seco)					
AL	1009,78ab	431,57	104,77	1844,25	42,25
C.Q	1258,09b	655,03	199,02	3076,97	51,53
Soja	1042,27ab	499,03	267,63	2190,91	46,69
Mata	1203,60ab	698,50	191,49	2330,60	57,80
Pastagem	921,58a	407,25	194,72	1988,92	43,94

N = 30; DP = desvio-padrão; CV = coeficiente de variação. * Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan, ao nível de 5% de probabilidade. ** Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Kruskal-Wallis, ao nível de 5% de probabilidade.

Foi encontrado menor valor de qCO_2 para a área de cultivo em aléias, diferindo ($p < 0,05$) estatisticamente dos demais sistemas. Menores valores de qCO_2 , indicam agroecossistemas mais estáveis, sendo que a substituição da vegetação nativa acelera a decomposição dos resíduos com o aumento do valor de qCO_2 (MOREIRA; MALAVOLTA, 2004).

Os valores do qCO_2 indicaram de forma significativa as alterações decorrentes dos diferentes usos do solo, destacando-se como um indicador sensível frente às intervenções antrópicas.

Os menores valores do $qMIC$ foram encontrados nas áreas de corte e queima e monocultura da soja, diferindo estatisticamente ($p < 0,05$) das demais áreas (Tabela 2). Baixos valores de $qMIC$ podem ser ocasionados por circunstâncias em que a microbiota se encontra sob algum fator de estresse ou devido à baixa qualidade nutricional da matéria orgânica, fazendo com que a biomassa microbiana torne-se incapaz de utilizar totalmente o carbono orgânico.

Valores mais significativos de $qMIC$ foram obtidos na área de mata nativa e pastagem, sendo estatisticamente superiores ($p < 0,05$) aos demais sistemas avaliados. Em ecossistemas estáveis, há uma tendência de aumento da atividade microbiana e em consequência, o $qMIC$ tende a aumentar, até atingir um equilíbrio. Desse modo, ambientes preservados, em estado de equilíbrio, o valor dessa relação pode ser usada como padrão para avaliar o quanto um solo se encontra degradado (INSAM; DOMSCH, 1988). Os maior valor para atividade da desidrogenase foi obtidos no solo sob área de pastagem, sendo estatisticamente superiores ($p < 0,05$) aos demais sistemas avaliados. Resultados esses que corroboram com Peixoto et al. (2010) que observaram em solos de pastagem valores mais significativos para a enzima desidrogenase.

O valor da atividade da celulase foi maior na área de cultivo em aléias, diferindo ($p < 0,05$) estatisticamente dos demais sistemas avaliados. Perez Martin (2002) observou que a adoção de práticas agroflorestais em combinação com culturas anuais, conduziu a um melhor estado da matéria orgânica do solo, com maiores valores de carbono orgânico e atividade enzimática do solo. Quanto à atividade específica da urease houve menor atividade na área de pastagem que diferiu estatisticamente ($p < 0,05$) das demais.

4.3 Relação de inter e intradependência dos atributos químicos e microbiológicos com as áreas avaliadas

A análise de agrupamento por método hierárquico possibilitou a formação de 3 grupos com subgrupos distintos representando as áreas, denominados: Grupo 1 (Soja), Grupo 2 apresentando dois subgrupos constituídos pela Pastagem e pela Mata e Grupo 3 também apresentando 2 subgrupos (corte e queima e aléias), sugerindo padrões diferentes (Figura 7). Quando no mesmo grupo, considera-se que estes agroecossistemas apresentam similaridades, a exemplo do Grupo 2 (pastagem e mata). Em adição, entre um grupo e outro grupo (G1 e G2, por exemplo) existe dissimilaridade, sendo que, ambas as medidas levam em consideração várias características concomitantemente. Dentro deste contexto a Figura 7 representa a estrutura natural de agrupamento dos agroecossistemas avaliados neste estudo.

O Grupo 1 (soja) se liga aos outros grupos a uma distância euclidiana maior, o que significa que esse grupo possui características que o torna diferente dos demais grupos. Uma característica a ser ressaltada é o qCO_2 que obteve maior valor no agroecossistema de soja, indicando que, embora nesta área tenham ocorrido maiores emissões de C- CO_2 , a biomassa microbiana foi menos eficiente quando comparada às demais áreas. O qCO_2 pode ser considerado um sensível indicador dos efeitos ambientais e antropogênicos sobre a comunidade microbiana (D'ANDRÉIA et al., 2002).

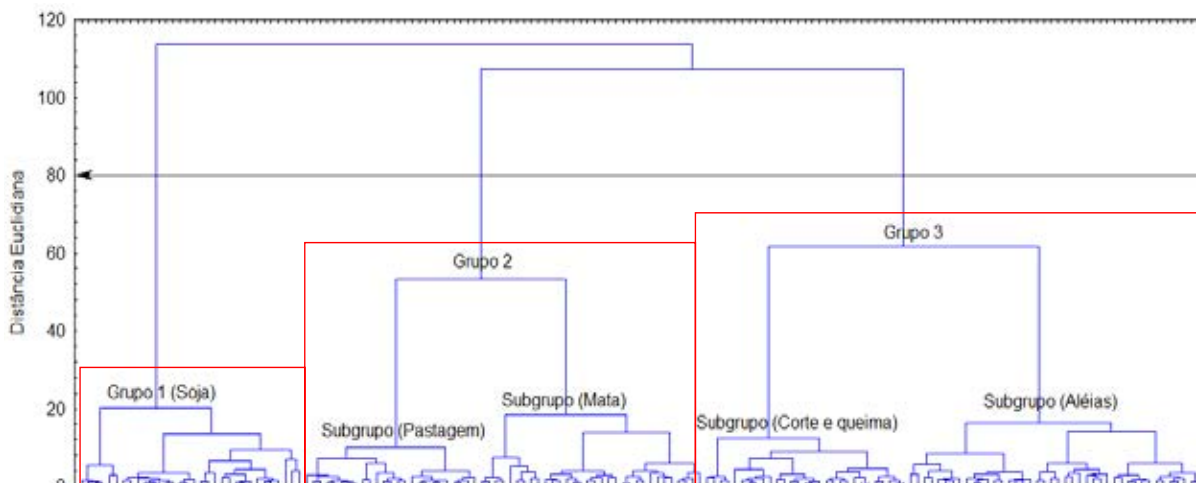


Figura 7. Dendrograma mostrando a hierarquia de grupos (áreas) resultante da análise de agrupamento por método hierárquico.

No Grupo 2 (pastagem e mata), dentre outros atributos, o teor de matéria orgânica na pastagem não diferiu estatisticamente da área de mata natural (Tabela 1), mostrando que mesmo sendo solos diferentes foram agrupados pela análise no mesmo grupo, devido principalmente ao manejo diferenciado da área de pastagem que possibilitou uma maior similaridade à mata nativa. Segundo Tótola e Chaer, (2002) a manutenção da matéria orgânica é desejável para a sustentabilidade do uso da terra, em razão de múltiplos benefícios sobre o status de nutrientes, sobre a capacidade de retenção de água e sobre a estrutura do solo.

O plano tridimensional (Figura 8) gerado com os três primeiros componentes principais CP1 (30,35%), CP2 (26,58%) e CP3 (13,33%) responde por 70,26% da variação contida no conjunto de variáveis iniciais. Tais resultados condizem com o critério estabelecido por Sneath e Sokal (1973), em que o número de CP utilizado na interpretação deve ser tal que explique no mínimo 70% da variância total dos dados.

Pela análise multivariada evidenciou-se que a MO e a CTC do solo estão altamente associadas e que por sua vez apresentam-se antagônicas em relação ao qCO_2 (Figura 8). Como nos solos tropicais a maior proporção da CTC é composta por argilas de baixa atividade a maior parte das cargas negativas é originária de sua fração orgânica, previa-se então a influência dos teores de MO nos valores de CTC dos solos estudados.

Observou-se ainda no estudo uma relação inversa entre o $qMIC$ e a respiração basal do solo e que pode ser explicada, uma vez que, baixos valores de

qMIC podem ser ocasionados por circunstâncias em que a microbiota se encontra sob algum fator de estresse ou devido à baixa qualidade nutricional da MO, fazendo com que a biomassa microbiana torne-se incapaz de utilizar totalmente o carbono orgânico que é perdido pela respiração do solo.

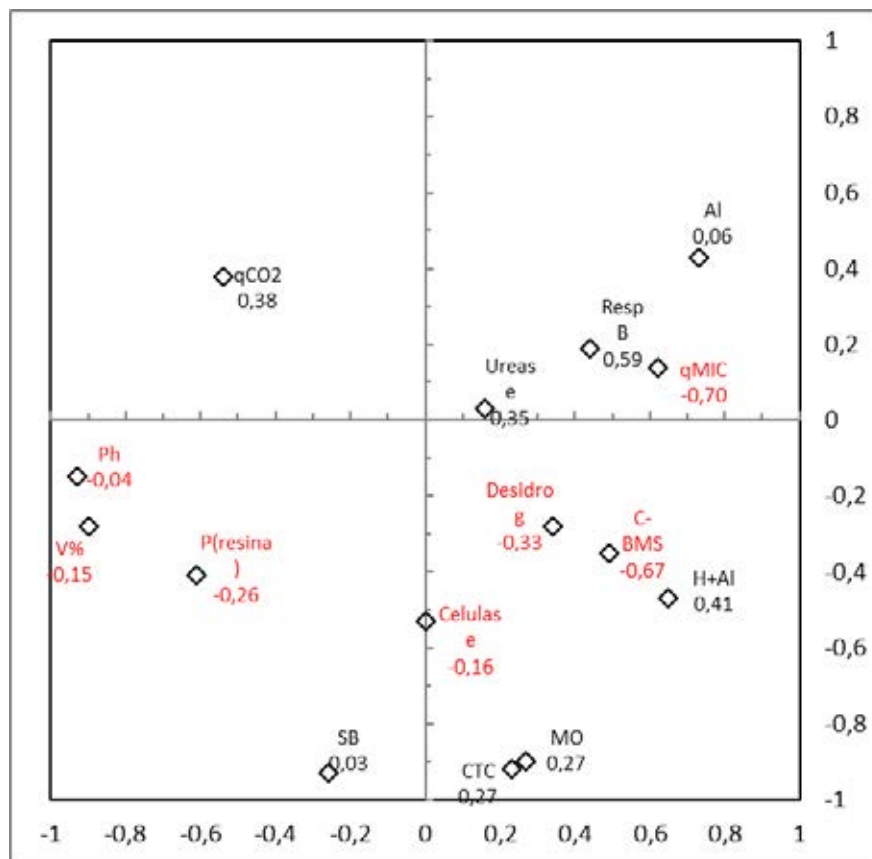


Figura 8. Representação tridimensional das variáveis do solo (MO = matéria orgânica do solo; CTC = capacidade de troca catiônica; celulase = atividade da celulase; desidrogenase = atividade da desidrogenase; urease = atividade da urease; C-BMS = carbono da biomassa microbiana do solo; qMIC = quociente microbiano; Resp B = respiração basal do solo; Al = alumínio; qCO₂ = quociente metabólico; pH = pH do solo; V% = saturação por bases e SB = soma de bases) segundo os eixos 1 e 2 obtidos na análise em componentes principais. A coordenada no terceiro eixo está registrada logo abaixo da identificação de cada variável. Inércia do presente sistema: 70,26%.

Houve no estudo uma associação positiva entre pH, Presina e V%. A associação entre o pH e o Presina deve-se ao fato deste elemento ter sua maior solubilidade associada a um pH em torno de 5-5- 6,0 e, à medida que o pH atinge valores menores que 5,0, a disponibilidade do Presina diminui por causa da formação de fosfato de ferro e alumínio. A associação positiva entre pH e V% é

esperada, uma vez que, quando se adiciona calcário no solo, para a correção da acidez, estão sendo adicionados ao mesmo tempo cálcio e magnésio os quais influenciam no valor do V%.

A desidrogenase, C-BMS e celulase apresentaram-se moderadamente associadas sendo antagônicas ao qCO₂, Resp B, Urease, Al e SB (Figura 8). A associação positiva e direta entre a desidrogenase, celulase e o C-BMS pode ser justificada uma vez que, estas enzimas participam do catabolismo biológico dos componentes orgânicos e minerais do solo, sendo sua atividade relacionada com a MO e a biomassa microbiana.

Tabela 3. Coordenadas das variáveis estudadas nos três eixos da análise multivariada.

Atributo	CP1 (30,35%)*	CP2 (26,58%)*	CP3 (13,33%)*
MO	0,27	-0,90	0,27
pH	-0,93	-0,15	-0,04
P (resina)	-0,61	-0,41	-0,26
H+Al	0,65	-0,47	0,41
Al	0,73	0,43	0,06
SB	-0,26	-0,93	0,03
CTC	0,23	-0,92	0,27
V%	-0,90	-0,28	-0,15
Resp B	0,44	0,19	0,59
C-BMS	0,49	-0,35	-0,67
qCO ₂	-0,54	0,38	0,38
qMIC	0,62	0,14	-0,70
Desidrogenase	0,34	-0,28	-0,33
Celulase	0,00	-0,53	-0,16
Urease	0,16	0,03	0,35

*Valor referente à porcentagem da variação do conjunto original dos dados retida pelos respectivos componentes principais. Correlações em negrito (>0,50 em valor absoluto) foram consideradas na interpretação do componente principal.

Os maiores valores de atividade respiratória foram encontrados nos solos das áreas de corte e queima e mata nativa (Tabela 2), o que indica um maior equilíbrio energético nesses sistemas. No entanto, na avaliação da atividade respiratória devemos ter cuidado na interpretação dos resultados, uma vez que elevados valores de respiração tanto pode ser resultantes de acúmulo de matéria orgânica rica em frações lábeis à superfície do solo, suscetível à decomposição com conseqüente algum fator de estresse, de acordo como os valores observados na área de corte e queima (RHEINHEIMER et al., 2003).

O teor de MO no cultivo em aléias foi aproximadamente 10% maior que o observado no sistema de corte e queima, enquanto o C-BMS do cultivo em aléias foi 261% maior que o de corte e queima, esta diferença encontrada caracteriza o C-BMS como um indicador de qualidade de solo mais sensível ao decréscimo da MO do solo. Moreira e Siqueira (2006) relataram que a biomassa microbiana é a fração mais ativa MO com tempo de reciclagem de 0,2 a 0,6 ano, bem menor que a biomassa vegetal, proporcionando assim, um grande fluxo de carbono e nutrientes.

Mudanças significativas no C-BMS podem ser detectadas muito antes de alterações no carbono orgânico total, permitindo adoção de medidas corretivas antes que a perda da qualidade do solo seja crítica.

O sistema de cultivo em aléias, de acordo com os valores dos atributos analisados, é um sistema que pode ser implantado em substituição ao sistema agrícola de corte e queima utilizado pelo pequeno agricultor familiar da microrregião de Chapadinha.

A análise multivariada (ACP) indicou pelos valores de correlação das variáveis, encontradas em três componentes principais, que a melhoria de um determinado atributo do solo pode refletir diretamente na melhoria de outros. O conhecimento da variabilidade dentro dos atributos avaliados é importante, principalmente para definir o manejo mais adequado a ser utilizado nas áreas em estudo.

5 CONCLUSÕES

Nos solos estudados estão altamente associados os atributos MO, CTC, pH e V% entre os atributos químicos e a desidrogenase, C-BMS, celulase e qMIC entre os atributos microbiológicos do solo.

Os atributos CTC e MO mostram-se antagônicos ao pH, Presina, V% e qMIC.

Correlações positivas entre as características biológicas e químicas do solo sugerem que o uso do solo favoreceu o crescimento da biomassa e estimulou a atividade microbiana, que se mostrou eficiente nos processos de ciclagem de nutrientes e melhorou a qualidade do solo.

6 REFERÊNCIAS

ACOSTA-MARTÍNEZ, V.; MIKHA, M. M.; VIGIL, M. F. Microbial communities and enzyme activities in soil under alternative crop rotation compared to wheat-fallow for Central Great Plains. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 37, n. 1-2, p. 41-52, 2007.

ALCÂNTARA, E. H. de. Caracterização da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, Maranhão – Brasil. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 7, n. 11, p. 97-113, 2004.

ALMEIDA, E. F.; POLIZEL, R. H. P.; GOMES, L. C.; XAVIER, F. A. da S.; MENDONÇA, E. de S. Biomassa microbiana em sistema agroflorestal na zona da mata mineira. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Cruz Alta, v. 2, n. 2, p. 740-742, 2007.

ALVARENGA, M. I. N.; DAVIDE, A. C. Características físicas e químicas de um Latossolo Vermelho Escuro e a sustentabilidade de agroecossistemas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23; n. 4, p.933-942, 1999.

ALVES, T. S.; CAMPOS, L. L.; NETO, N. E.; MATSUOKA, M.; LOUREIRO, M. F. Biomassa e atividade microbiana do solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 2, p. 341- 347, 2011.

ANDERSON, T. H. DOMSCH, K. H. Application of eco-physiological quotiens (qCO₂ and qD) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 22, n. 2, p. 251-255, 1990.

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soil. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 25, n. 3, p. 393-395, 1993.

ANDRADE, S. A. L.; SILVEIRA, A. P. D. Biomassa e atividade microbianas do solo sob influência de chumbo e da rizosfera da soja micorrizada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 12, p. 1191-1198, 2004.

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade de solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 3, p. 66-75, 2007.

ARAÚJO, E. A.; KHER, J. C.; NEVES, J. C. L.; LANI, J. L. Qualidade do solo: conceitos, indicações e avaliação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava, v. 5, n. 1, p. 187-206, 2012.

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

ASSIS, R. L. D.; LANÇAS, K. P. Avaliação da compressibilidade de um Nitossolo Vermelho distroférico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 4, p. 507-514, 2005.

BAI, Z. G.; DENT, D. L.; OLSSON, L.; SCHAEPMAN, M. E. **Global assessment of land degradation and improvement**. Wageningen: ISRIC - World Soil Information, 2008. 78 p.

BALDOCCHI, D. D.; TANG, J.; XU, L. How switches and lags in biophysical regulators affect spatio-temporal variation of soil respiration in na oak-grass Savanna. **Journal Geophysical Research Biogeosciences**, Gottingen, v. 111, n. 5, p. 1-13, 2006.

BALOTA, E. L.; KANASHIRO, M.; COLOZZI FILHO, A.; ANDRADE, D. S.; DICK, R. P. Soil enzyme activities under long-term tillage and crop rotation systems in subtropical agro-ecosystems. **Brazilian Journal of Microbiology**, São Paulo, v.35, n.4, p.300-306, 2004.

BARETTA, D. **Fauna do solo e outros atributos edáficos como indicadores de qualidade ambiental em áreas de *Araucaria angustifolia* no Estado de São Paulo**. 2007. 158 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2007.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. de; SILVA, L. S. da; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. de; (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 7-18.

BEEBE, K. R.; PELL, R. J.; SEASHOLT, M. B. **Chemometrics: A practical guide**. New York: John Wiley & Sons, 1998. 348 p.

BENITES, V. M.; CORREA, J. C.; MENEZES, J. F. S.; POLIDORO, J. C.; CAMPOS, D. V. B. Production of granulated organomineral fertilizer from pig slurry and poultry litter in Brazil. In: 15TH WORLD FERTILIZER CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SCIENTIFIC CENTRE FOR FERTILIZERS, 15., 2010. Bucharest. **Anais...** Bucharest: CIEC/ICPA, 2010. p. 1.

BOUROCHE, J. M.; SAPORTA, G. **Análise de dados**. Rio de Janeiro: Zahar, 1982. 116 p.

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**, Viçosa, v. 19, n. 1, p. 121-126, 1995.

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

CARTER, M. C.; FOSTER, C. D. Prescribed burning and productivity in Southern pine forest: a review. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 191, n. 1-3, p. 93-109, 2004.

CARTER, M. R. Organic matter and sustainability. In: REES, B. C.; BALL, B. C.; CAMPBELL, C. D.; WATSON, C. A. (Ed.). **Sustainable management of soil organic**. Wallingford: CAB International, 2001. p. 9-22.

CARVALHO, D. A.; OLIVEIRAFILHO A. T. de; BERG, E. V. D.; LEITE, M. A. F.; VILELA, E. A.; MARQUES, J. J. G. S. M.; CARVALHO, W. A. C. Variações florísticas e estruturais do componente arbóreo de uma floresta ombrófila alto-montana às margens do rio Grande, Bocaina de Minas, MG, Brasil. **Acta botânica Brasileira**, Belo Horizonte, v. 19, n. 1, p. 91-109, 2005.

CARVALHO, R.; GOEDERT, W. J.; ARMANDO, M. S. Atributos físicos da qualidade um solo sob sistema agroflorestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 11, p. 1153-1155, 2004.

CASIDA, L. E.; KLEIN, D. A.; SANTORO, T. Soil dehydrogenase activity. **Soil Science**, Philadelphia, v. 98, p. 371-376, 1964.

CASTRO, A. A. J. F.; CASTRO, N. M. C. F.; COSTA, J. M.; FARIAS, R. R. S.; MENDES, M. R. A. Cerrados Marginais do Nordeste e Ecótonos Associados. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, n. 1, p. 273-275, 2007.

CAVALCANTE, E. G. S.; ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M. de; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1329-1339, 2007.

CHAER, G. M.; FERNANDES, M. F.; MYROLD, D. D.; BOTTOMLEY, P. J. Shifts in Microbial Community Composition and Physiological Profiles across a Gradient of Induced Soil Degradation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 73, n. 4, p. 1327-1334, 2009.

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

COLOZZI FILHO, A.; BALOTA, E. L.; ANDRADE, D. S. Microrganismos e processos biológicos no sistema plantio direto. In: SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A. E.; CARVALHO, J. G. (Ed.). **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Viçosa: SBCS; Lavras: UFLA/DCS, 1999. 818 p.

CONCEIÇÃO, G. M.; CASTRO, A. A. J. F. Fitossociologia de uma área de Cerrado marginal, Parque Estadual do Mirador, Mirador, Maranhão. **Scientia Plena**, Aracaju, v. 5, n. 10, p. 1-16, 2009.

CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 777-788, 2005.

COSTA, B. M. DA; SANTOS, I. C. V.; OLIVEIRA, G. J. C. DE et al. Avaliação de folhas de *Gliricidia sepium* (jacq.) walp por ovinos. **Archivos de Zootecnia**, Córdoba, v. 58, n. 221, p. 33-41, 2009.

COSTA, E. A.; GOEDERT, W. J.; SOUSA, D. D. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 7, p. 1185-1191, 2006.

COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um latossolo bruno afetada pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, N. 3, p. 527-535, 2003.

COSTA, R. N. M.; ANDRADE, A. P.; ARAUJO, K. D. Cobertura vegetal e evolução do uso agrícola do solo da região de Chapadinha – MA. **Revista Acta Tecnológica**. São Luís, v. 6, n. 1, p. 45-61, 2011.

COUTINHO, L. M. O conceito de bioma. **Acta Botânica Brasileira**, Belo Horizonte, v. 20, n. 1, p. 13-23, 2006.

D'ANDRÉIA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; SIQUEIRA, J. O.; CARNEIRO, M. A. C. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do cerrado do sul do estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 913-923, 2002.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Org.) **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: SSSA, 1994. p. 3-21.

DORAN, J. W.; SARRANTONIO, M.; JANKE, R. Strategies to promote soil quality and health. In: PANKHURST, C. E.; DOUBE, B. M.; GUPTA, V. V. S. R.; GRACE, P. R. (Ed.). **Soil Biota Management in sustainable farming systems**. Commonwealth Scientific Industrial Research Organization, 1994, p. 230-237.

DRINKWATER, L. E.; SNAPP, S. S. Nutrients in agroecosystems: Rethinking the management paradigm. **Advances in Agronomy**, Madison, v. 92, n. 1-2, p. 163-186, 2007.

EVANGELISTA, A. W. P.; ALVES JÚNIOR, J.; MELO, P. C. Resposta do cafeeiro à aplicação de níveis de irrigação e adubação com Alfertil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n. 4, p.392-396, 2013.

FALEIRO, R. M.; SOUZA, C. M.; SILVA, C. S. W.; SEDIYAMA, C. S.; SILVA, A. A.; FAGUNDES, J. L. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1097-1104, 2003.

FERREIRA, E. A. B.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C.; RAMOS, M. L. G. Dinâmica do carbono da biomassa microbiana em cinco épocas do ano em diferentes sistemas de manejo do solo no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1625-1635, 2007.

FIALHO, J. S., GOMES, V. F. F.; OLIVEIRA, T. S. de; SILVA JÚNIOR, J. M T. da. Indicadores da qualidade do solo, em sistema de rotação, na Chapada do Apodi, Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 39, n. 3, p. 353-361, 2008.

FRAGOSO, C.; ROJAS, P.; BROWN, G. The role of soil macrofauna in the paradigm of tropical soil fertility: some research imperatives. In: SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A. E.; CARVALHO, J. G. (Ed.). **Interrelação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Viçosa: SBCS; Lavras: UFLA/DCS, 1999. p. 421- 428.

FRANCHINI, J.; CRISPINO, C.; SOUZA, R.; TORRES, E.; HUNGRIA, M. Microbiological parameters as indicators of soil quality under various soil management and crop rotation systems in Southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 92, n. 1, p. 18-29, 2007.

GAMA-RODRIGUES, E. F. TAPIA-CORAL, S.; GALLARDO-ORDINOLA, J.; SILVA, G. C.; LUIZÃO, R. C.; T RUIJILLO-CABRERA, L.; WANDELLI, E.; FERNANDES, E. C. M. Atributos biológicos em solos sob sistemas agroflorestais de cacau: um estudo de caso. In: LUIZÃO, F. J. (Ed.). **Sistemas Agroflorestais: bases para o desenvolvimento**. Campos dos Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2006. p. 87-100.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; PAULINO, G. M.; FRANCO, A. A. Atributos químicos e microbianos de solos sob diferentes coberturas vegetais no norte do Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 1521-1530, 2008.

GELSOMINO, A.; BADALUCCO, L.; AMBROSOLI, R.; CRECCHIO, C.; PUGLISI, E.; MELI, S. M. Changes in chemical and biological soil properties as induced by antropogenic disturbance: A case study of na agricultural soil under recurrent flooding by wastewaters. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 38, n. 8, p. 2069-2080, 2006.

GOEDERT, W. J. Qualidade do solo em sistemas de produção agrícola In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., 2005, Recife. **Anais... RECIFE**: SBCS, 2005. 1 CD-ROM.

GOEDERT, W. J.; OLIVEIRA, S. A. Fertilidade do solo e sustentabilidade da atividade agrícola. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V.; V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, p. 991-1017.

GOMES, J. B. V.; CURI, N.; SCHULZE D. G.; MARQUES, J. J. G. S. E M.; KER, J. C.; MOTTA, P. E. F. Mineralogia e micromorfologia de solos esqueléticos do bioma Cerrado, no Leste de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 875-886, 2007.

GONÇALVES, A. S. **Biomassa microbiana de carbono de solos de pastagens do Estado do Rio de Janeiro**. 1999. 158 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 1999.

GOVAERTS, B.; MEZZALAMA, M.; UNNO, Y.; SAYRE, K.D.; GUIDO, M.L.; VANHERCK, K.; DENDOO VEN, L.; DECKERS, J. Influence of tillage, residue management, and crop rotation on soil microbial biomass and catabolic diversity. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 37, n. 1-2, p. 18-30, 2007.

GREGORICH, E. G.; CARTER, M. R.; ANGERS, D. A.; MONREALL, 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, n. 4, p. 367-385, 1994.

GREGORICH, E. G. Quality. In: LAL, R. (Ed.). **Encyclopedia of soil science**. New York: Marcel Dekker, 2002, p. 1058-1061.

GROBE, J. R. **Aplicações da estatística multivariada na análise de resultados em experimentos com solos e animais**. 2005. 145 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

HARIDASSAN, M. Nutrição mineral de plantas nativas do Cerrado. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v. 12, n. 1, p. 54-64, 2000.

INSAM, H.; DOMSCH, K. H. Relationship between soil organic carbon and microbial biomass on chronosequences of reclamation sites. **Microbial Ecology**, New York, v. 15, n. 4, p. 177-188, 1988.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Soil quality indicator properties in mid-atlantic soils as influenced by conservation management. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 55, n. 1, p. 69-78, 2000.

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

JANTALIA, C. P.; RESCK, D. V. S.; ALVES, B. J. R.; ZOTARELLI, L.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Tillage effect on C stocks of a clayey Oxisol under a soybean-based crop rotation in the Brazilian Cerrado region. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 95, n. 1-2, p.97-109, 2007.

JASTROW, J. D.; AMONETTE, J. E.; BAILEY, V. L. Mechanisms controlling soil carbon turnover and their potential application for enhancing carbon sequestration. **Climatic Change**, Dordrecht, v. 80, n. 1-2, p. 5-23, 2007.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis**. 6 ed. Nova Jersey: Prentice-Hall, 2007. 800 p.

KANAZAWA, S.; MIYASHITA, K. A. Modified method for determination of cellulose activity in forest soil. **Science and Plant Nutrition**, Singapore, v. 32, n. 1, p.71-79, 1986.

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

LARSON, W. E.; PIERCE, F. J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 37-51.

LEITE, L. F. C.; ARRUDA, F. P. de; COSTA, C. N.; FERREIRA, S.; NETO, M. R. H. Qualidade química do solo e dinâmica do carbono sob cultivo e consórcio de macaúba e pastagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 12, p. 1257-1263, 2013.

LIEBIG, M. A.; DORAN, J. W. Evaluation of point-scale assessments of soil quality. **Journal Soil Water Conservation**, Ankeny, v. 54, n. 2, p. 510- 518, 1999.

LIMA, S. S.; LEITE, L. F. C.; OLIVEIRA, F. C.; COSTA, D. B. Atributos químicos e estoque de carbono e nitrogênio em Argissolo Vermelho-Amarelo sob sistemas agroflorestais e agricultura de corte e queima no norte do Piauí. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 1, p.51-60, 2011.

LOURENTE, E. R. P.; MERCANTE, F.M.; ALOVISI, A. M. T.; GASPARINI, A. S.; GOMES, C. F.; NUNES, C. M. Atributos microbiológicos, químicos e físicos do solo sob diferentes sistemas de manejo e condições de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 1, p.20-28, 2011.

LUCENA, C. I. **Ecologia populacional de espécies lenhosas clonais em savana neotropical**. 2013. 108 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2013.

LUIZÃO, F. J.; TAPIA-CORAL, S.; GALLARDO-ORDINOLA, J.; SILVA, G. C.; LUIZÃO, R. C.; T RUJILLO-CABRERA, L.; WANDELLI, E.; FERNANDES, E. C. M. **Sistemas Agroflorestais: bases para o desenvolvimento sustentável**. Campos dos Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2006. p. 156 p.

MALUCHE-BARETTA, C. R. D.; AMARANTE, C. V. T.; KLAUBERG FILHO, O. Análise multivariada de atributos do solo em sistemas convencional e orgânico de produção de maçãs. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 10, p. 1531-1539, 2006.

MARANHÃO - GOVERNO DO ESTADO DO MARANHÃO. Gerência de Planejamento e Desenvolvimento Econômico - GEPLAN. **Atlas do Maranhão**. São Luís: Universidade Estadual do Maranhão, 2002. 39 p.

MARCHIORI JÚNIOR, M.; MELO, W. J. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solo de mata natural submetido a diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 3, p. 1177-1182, 2000.

MARIMON JR. B.; HARIDASAN, M. Comparação da vegetação arbórea e características edáficas de um cerradão e um Cerrado *sensu stricto* em áreas adjacentes sobre solo distrófico no leste de Mato Grosso, Brasil. **Acta Botânica Brasileira**, Belo Horizonte, v. 19, n. 4, p. 913-926, 2005.

MARINARI, S.; MANCINELLI, R.; CAMPIGLIA, E.; GREGO, S. Chemical and biological indicators of soil quality in organic and conventional farming systems in Central Italy. **Ecological Indicators**, Amsterdam, v. 6, n. 4, p. 701-711, 2006.

MARTINS, A. K. E.; SCHAEFER, C. E. G. R.; SILVA, E.; SOARES V.P. S.; CORRÊA G. R. C.; MENDONÇA, B. A. F. de. Relações solo-geoambiente em áreas de ocorrência de Ipucas na planície do médio Araguaia – Estado de Tocantins. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 297-310, 2006.

MAZOYER, M.; ROUDART, L. **História das agriculturas do mundo: do neolítico à crise contemporânea**. São Paulo/Brasília: Edunesp/NEAD/MDA, 2010, 568 p.

McGARITY, J. W.; MYERS, M. G. A survey of urease activity in soils of Northern New South Wales. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 27, n. 2, p. 217-238, 1967.

MELLO, F. A. F.; SOBRINHO, M. O. C. do B.; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R. I.; NETTO, A. C.; KIEHL, J. de C. **Fertilidade do Solo**. 3 ed., Piracicaba: Nobel, 1985. 400 p.

MELO, W. J.; MELO, G. M. P.; MELO, V. P. **Enzimas no solo**. 2008. Disponível em: <<http://www.fcav.unesp.br/wjmelo/TEXTOS/FERTBIO2008.pdf>> Acesso em: 12 dez. 2014.

MELLONI, R.; MELLONI, E. G. P.; ALVARENGA, M. I. N. E VIEIRA, F. B. M. Avaliação da qualidade de solos sob diferentes coberturas florestais e de pastagem no sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 6, 2461-2470, 2008.

MENDES, I. C.; SOUZA, L. V.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Propriedades biológicas em agregados de um Latossolo Vermelho-Escuro sob plantio convencional edireto no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 435-443, 2003.

MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. **Matéria orgânica do solo: métodos de análises**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2005. 107 p.

MENDONÇA, E. S.; STOTT, D. E. Characteristics and decomposition rates of pruning residues from a shaded coffee system in Southeastern Brazil. **Agroforestry Systems**, v. 57, n. 2, p.117-125, 2003.

MENESES, M. E. N. S.; COSTA, M. L.; HERMANN, B. Late Holocene vegetation and fire dynamics from a savanna-forest ecotone in Roraima state, northern Brazilian Amazon. **Journal of South American Earth Sciences**, Oxford, v. 42, p. 17-26, 2013.

MERCANTE, F. M.; SILVA, R. F.; FRANCELINO, C. S. F.; CAVALHEIRO, J. C. T.; OTSUBO, A. A. Biomassa microbiana em um Argissolo Vermelho, em diferentes coberturas vegetais, em área cultivada com mandioca. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 4, p. 479-485, 2008.

MIJANGOS, I.; PÉREZ, R.; ALBIZU, I.; GARBISU, C. Effects of fertilization and tillage on soil biological parameters. **Enzimology Microbiology and Technology**, Amsterdam, v. 40, n. 1, p. 100-106, 2006.

MONOKROUSOS, N.; PAPTODOROU, E. M.; DIAMANTOPOULOS, J. D.; STAMOU, G. P. Soil quality variables in organically and conventionally cultivated field sites. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 38, n. 6, p. 1282-1289, 2006.

MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E. Dinâmica da matéria orgânica e da biomassa microbiana em solo submetido a diferentes sistemas de manejo na Amazônia Ocidental. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n. 11, p.1103-1110, 2004.

MOREIRA, F. M.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. Lavras: Editora UFLA, 2006. 729 p.

MOREIRA, H. L.; OLIVEIRA, V. A. Evolução e gênese de um Plintossolo Pétrico concrecionário eutrítico argissólico no município de Ouro Verde de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 4, p.1683-1690, 2008.

MORENO, G.; OBRADOR, J. J.; GARCÍA, A. Impact of evergreen oaks on soil fertility and crop production in intercropped dehesas. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.119, p. 270-280, 2007.

MOTA, A. F.; CARDOSO, E. A.; NAOE, L. K.; COIMBRA, R. R. Eficiência de atributos físicos como indicadores de degradação dos plintossolos no vale do Javaés no Estado do Tocantins. In: XIII JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNITINS, 13., 2006, Palmas. **Anais...** Palmas: Etnias, 2006. p. 20-28.

MOURA, E. G.; ALBUQUERQUE, J. M.; AGUIAR, A. C. F. Growth and productivity of corn as affected by mulching and Tillage in alley cropping systems. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 65, n. 2, p. 204-208, 2008.

MUÑOZ, A.; LÓPEZ, P. A.; RAMÍREZ, M. Soil quality attributes of conservation management regimes in a semi-arid region of south western Spain. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 95, n. 1-2, p. 23-28, 2007.

NANNIPIERI, P.; CECCANTI, B.; CERVELLI, S.; MATARESE, E. Extraction of phosphatase, urease, proteases, organic carbon, and nitrogen from soil. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 44, n. 5, p. 1011-1016, 1980.

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

NEVES, C. M. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; CARDOSO, E. L.; MACEDO, R. L. G.; FERREIRA, M. M.; SOUZA, F. S. Atributos indicadores da qualidade do solo em sistema agrossilvopastoril no nordeste do estado de Minas Gerais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 74, p.45-53, junho, 2007.

NICOLOSO, R. S.; AMADO, T. J. C.; SCHNEIDER, S.; LANZANOVA, M. E.; GIRARDELLO, V. C.; BRAGAGNOLO, J. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. n. 4, 1723-1734, 2008.

NIELSEN, M. N.; WINDING, A. **Micoorganisms as indicators of soil health**. Roskilde: National Environmental Research Institute, 2002. 84 p.

NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CATARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 2007. 1017 p.

NUNES, L. A. P. L.; DIAS, L. E.; BARROS, I. J. N. F.; KASOYA, M. C. M.; CORREIRA, E. F. Impacto do monocultivo de café sobre os indicadores biológicos do solo na zona da área remanescente de cerrado mineira. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n.9, p. 2467-2474, 2009.

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

PACIULLO, D. S. C.; AROEIRA, L. J. M.; PIRES, M. F. A. Sistemas Silvopastoris para a produção de leite. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM: AS PASTAGENS E O MEIO AMBIENTE, 23., 2006. Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2006. p. 327-352.

PAGE-DUMROESE, D.; NEARY, D.; TRETTIN, C. **Scientific background for soil monitoring on National Forest and Rangelands**. San Dimas: Department of Agriculture, Forest Service, San Dimas Technology Center, 2010. 126 p.

PANCHOLY, S. K.; RICE, E. L. Soil enzymes in relation to old field succession: amylase, cellulase, invertase, gehydrogenase and urease. **Soil Science American Proceeding**, Madison, v.37, n. 1, p. 47-50, 1973.

PEDROSO Jr.; N. N.; MURRIETA, R. S. S.; ADAMS, C. A agricultura de corte e queima: um sistema em transformação. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG)**, Belém, v. 3, n. 2, p. 153-174, 2008.

PEIXOTO, F. G. T. **Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos do Estado de São Paulo sob vegetação nativa e cultivados**. 2010. 78 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2010.

PEÑA, M. L.; MARQUES, R.; JAHNEL, M. C.; ANJOS, A. Respiração microbiana como indicadores da qualidade do solo em ecossistema florestal. **Floresta**, Curitiba, v. 35, n. 1, p. 117-127, 2005.

PEREZ MARIN, A. M. **Impactos de um sistema agroflorestal com café na qualidade do solo**. 2002. 83 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

PIETRO-SOUZA, W.; CÂNDIDO, A. K. A. A.; FARIAS, L. N.; SILVA, N. M.; BARBOSA, D. S. Produção de necromassa e de serapilheira em área de preservação permanente pertencente ao rio São Lourenço, Campo Verde – MT. **Engenharia Ambiental: pesquisa e tecnologia**, São Paulo, v. 9, n. 1, p.047-066, 2012.

PIGNATARO NETTO, I. T. **Qualidade física e química de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob pastagens com diferentes períodos de uso**. 2008. 67 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

PIMENTEL, M. S.; AQUINO, A. M.; CORREIA, M. E. F.; COSTA, J. R.; RICCI, M. S. F.; DE-POLLI, H. Atributos biológicos do solo sob manejo orgânico de cafeeiro, pastagem e floresta em região do médio do Paraíba fluminense-RJ. **Coffee Science**, Lavras, v. 1, n. 2, p. 85-93, 2006.

PINTO, M. F. **Biologia do Solo. Atributos físicos, químicos e biológicos como indicadores de qualidade do solo**. Ceará: UFRC, 2008. 186 p.

PORTUGAL, A. F.; COSTA, O. D. A. V.; COSTA, L. M.; SANTOS, B. C. M. Atributos químicos e físicos de um Cambissolo Háplico Tb distrófico sob diferentes usos na Zona da Mata Mineira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 249-258, 2008.

PRAGANA, R. B.; RIBEIRO, M. R.; NÓBREGA, J. C. A.; RIBEIRO FILHO, M. R.; COSTA, J. A. Qualidade física de latossolos amarelos sob plantio direto na região do Cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 5, p. 591-1600, 2012.

RAIJ, B. VAN; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**, Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285 p.

REINERT, D. J. Recuperação de solos em sistemas agropastoris. In: DIAS, L. E.; MELLO, J. W. V (Ed.). **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: UFV, SOBRADE, 1998. p. 163-176.

REIS JUNIOR, F. B.; MENDES, I. C. **Biomassa microbiana do solo**. Brasília: Embrapa Cerrados, 2007. 38p.

RESCK, D.V.S. Manejo de solos e sustentabilidade dos sistemas agrossilvipastoris na região dos Cerrados. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 8.; INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TROPICAL SAVANNAS, 1., 1996, Brasília. **Anais...** Brasília: Embrapa-CPAC, 1996. p. 81-89.

REVOREDO, M. D. **Atributos químicos e bioquímicos de um latossolo tratado com lodo de esgoto contaminado com níquel e cultivado com sorgo.** 2005. 93 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2005.

REZENDE, L. A.; ASSIS, L. C.; NAHAS, E. Carbon, nitrogen and phosphorus mineralization in two soils amended with distillery yeast. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v. 94, n. 2, p. 159-167, 2004.

RHEINHEIMER D. S.; SANTOS, J. C. P.; FERNANDES, V. B. B. Modificações nos atributos químicos de solo sob campo nativo submetido à queima. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 1, p. 75-81, 2003.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. (Ed.). **Cerrado: ambiente e flora.** Brasília: Embrapa Cerrados. 1998. p. 86-196.

RODRIGUES, T. E.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. C.; VALENTE, M. A.; BARRETO, W. O. **Caracterização e classificação dos solos do Campo Experimental do Cerrado da Embrapa Amapá, Estado do Amapá.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2000. 37 p.

SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. **Cerrado: ecologia e flora.** Brasília: Embrapa Cerrados, 2008. 18 p.

SANTANA, D. P.; BAHIA FILHO, A. C. Qualidade do solo: Uma visão holística. **Boletim Informativo: SBCS**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 15-18, 2002.

SANTANA, H. M. P. **Unidades Pedoambientais da Região de Santa Tereza Estado do Tocantins.** 2008, 132 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias). Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2013, 353 p.

SCHROTH, G.; D'ANGELO, S. A.; TEIXEIRA, W. G.; HAAGD, D. LIEBEREIA, R. Conversion of secondary forest into agroforestry and monoculture plantations in Amazonia: consequences for biomass litter and soil carbon stocks after 7 years. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 163, n. 1-3, p. 131-150, 2002.

SILVA, C. J.; SANCHES, L.; BLEICH, M. E.; LOBO, F. A.; NOGUEIRA, J. S. Produção de serrapilheira no Cerrado e Floresta de Transição Amazônia-Cerrado do Centro-Oeste Brasileiro. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 37, n. 4, p. 543-548, 2007.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2 ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CATARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 275-374.

SILVA, S. R.; BARROS, N. F.; COSTA, L. M. Atributos físicos de dois Latossolos afetados pela compactação do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 4, p.842-847, 2006.

SILVA, V. D.; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; MOREIRA, F. M. D. S.; CURI, N.; ALOVISI, A. M. T. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica Campos das Vertentes-MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 4, p. 1521-1530, 2010.

SILVEIRA, R. B.; MELLONI, R.; MELLONI, E. G. P. Atributos microbiológicos e bioquímicos como indicadores da recuperação de áreas degradadas, em Itajubá/MG. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 1, p. 48-55, 2006.

SIMINSKI, A.; FANTINI, A. C. Roça-de-toco: usode recursos florestais e dinâmica da paisagem rural no litoral de Santa Catarina. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 3, p. 1-10, 2007.

SMITH, L.S.; HILL, R. L.; LEHMAN, I.R.; LEFKOWITZ, R.J. **Bioquímica: Aspectos gerais**. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1985, 170 p.

SNEATH, P. H. A.; SOKAL, R. R. **Numerical taxonomy**. San Francisco: W. H. Freeman & Co., 1973. 587 p.

SOMOGYI, M. Notes on sugar determination. **Journal Biology and Chemistry**, Bethesda, v. 195, n. 3, p. 19-23, 1952.

SOUZA, E. D.; COSTA, S. E. V. G. A.; ANGHINONI, I.; LIMA, C. V. S.; CARVALHO, P. C. F.; MARTINS, A. P. Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 79-88, 2010.

SOUZA, E. S.; ANTONINO, A. C. D.; JARAMILLO, R. A.; MACIEL NETTO, A.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SILVA, E. B. Variabilidade espacial dos parâmetros hidrodinâmicos de duas parcelas agrícolas no estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 5, p.1795-1804, 2008.

TABACHNICK, B. G.; FIDELL, L. S. **Using multivariate statistics**. 5. ed. Boston: Pearson Allyn & Bacon, 2007. 980 p.

TEJADA, M.; HERNANDEZ, M. T.; GARCIA, C. Application of two organic amendments on soil restoration: effects on the soil biological properties. **Journal Environment Quality**, Madison, v. 35, n. 4, p. 1010–1017. 2006.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; FABIAN, A. J. Produção de fitomassa por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 3, p. 421-428, 2008.

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

TRANNIN, I. C. de B.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. de S. Características biológicas do solo indicadoras de qualidade após dois anos de aplicação de biossólido industrial e cultivo de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 1173-1184, 2007.

TRINDADE, E. F. da S.; KATO, O. R.; CARVALHO, E. J. M.; SERAFIM, E. C. da S. Disponibilidade de fósforo em solos manejados com e sem queima no nordeste paraense. **Amazônia: Ciência & Desenvolvimento**, Belém, v. 6, n. 12, p. 7-19, 2011.

USDA-NRCS. **Soil Quality Institute**, Ames, IA. 2008. Disponível em: <<http://soils.usda.gov/sqi/>>. Acesso em: 15 abr. 2014.

VAN DER HEIJDEN, M. G. A.; BARDGETt, R. D.; van STRAALen, N. M. The unseen majority: soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems. **Ecology Letters**, Chichester, v. 11, n. 3, p. 296-310, 2008.

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

VASCONCELOS, S. S.; ZARIN, D. J.; CAPANU, M.; LITTELL, DAVIDSON, R.; E. A.; ISHIDA, F. Y.; SANTOS, E. B.; ARAÚJO, M. M.; ARAGÃO, D. V.; RANGEL-VASCONCELOS, L. G. T.; OLIVEIRA, F. A.; MCDOWELL, W. H.; CARVALHO, C. J. R. Moisture and substrate availability constrain soil trace gas fluxes in an eastern Amazonian regrowth Forest. **Global Biogeochemical Cycles**, Hoboken, v. 18, n. 2, p. 1-10, 2004.

VENZKE FILHO, S. P.; FEIGL, B. J.; PICCOLO, M. C.; SIQUEIRA NETO, M. & CERRI, C. C. Biomassa microbiana do solo em sistema de plantio direto na região de Campos Gerais- Tibagi, PR. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 599-610, 2008.

VEZZANI, F.; MIELNICZUK, M. J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 4, p.743-755, 2009.

VIEIRA, M. L.; KLEIN, V. A. Propriedades físico-hídricas de um latossolo vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira e Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1271-1280, 2007.

ZALAMENA, J. **Impacto do uso da terra nos atributos químicos e físicos de solos do rebordo do planalto – RS**. 2008. 93 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

ZATORRE, N. P. Atributos biológicos do solo como indicadores de qualidade do solo. **Gaia Scientia**, Munich, v. 2, n. 1, p. 9-13, 2008.

APÊNDICES

APÊNDICE A. Descrição geral do perfil do solo da área de mata nativa

DATA: 13/10/2013

CLASSIFICAÇÃO: LATOSSOLO AMARELO Distrófico Argissólico, A moderado, textura médio-argilosa, fase floresta tropical subcaducifólia transição cerrado subcaducifólio, relevo plano.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Trincheira situada em terço superior de encosta plana, com cerca de 2% de declividade, em Itamacaoca. Município de Chapadinha (MA). Latitude: 03° 44' 31,1" S e longitude 43° 19' 66,1" W.

ELEVAÇÃO: 151 m.

SITUAÇÃO E DECLIVE: Terço superior de encosta plana, com cerca de 2% de declividade.

LITOLOGIA: Materiais arenoargilosos retrabalhados da Formação Barreiras do Terciário.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Formação Barreiras.

MATERIAL DE ORIGEM: Produto da alteração do material supracitado.

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Plano.

RELEVO REGIONAL: Plano a suave ondulado.

EROSÃO: Laminar ligeira.

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Transição floresta tropical subcaducifólia/cerrado subcaducifólio.

USO ATUAL: Capoeira.

CLIMA: Aw' segundo a classificação de Köppen.

DESCRITO E COLETADO POR: Marlen Barros e Silva.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A1	0 – 17 cm, cinzento-escuro (10YR 4/1, úmida) e bruno-acinzentado (10YR 5/2, seca); francoarenosa; grãos simples e fraca, pequena, granular; macia, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.
A2	17 – 30 cm, cinzento-escuro (10YR 4/1, úmida) e cinzento (10YR 6/1,5, seca); mosqueados bruno-amarelado-escuros (10YR 4/6, úmida) e bruno-amarelados (10YR 5/6, seca); franco-argiloarenosa; grãos simples e fraca, pequena e média granular; friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.
AB	30 – 48 cm, variegado de bruno-claro-acinzentado (10YR 6/3, úmida) e bruno muito claro-acinzentado (10YR 7/4, seca); e cinzento (10YR 6/1, úmida) e cinzento-claro (10YR 7/1, seca); franco-argiloarenosa; grãos simples e fraca, pequena blocos angulares e subangulares; friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.
BA	48 – 68 cm, bruno-amarelado-claro (10YR 6/4, úmida) e bruno muito claro-acinzentado (10YR 7/3, seca); mosqueados cinzentos (10YR 6/1, úmida) e cinzento-claros (10YR 7/1, seca); franco-argiloarenosa; moderada, pequena e média, blocos angulares; ligeiramente dura, muito friável, plástica e pegajosa; transição plana e clara.
Bw1	68 – 81 cm, variegado de cinzento (10YR 6/1, úmida) e cinzento-brunado-claro (10YR 6/2, seca) e rosado (7,5YR 7/4, úmida) e amarelo-avermelhado (7,5YR 7/6, seca); argiloarenosa; moderada, pequena e média, blocos angulares; dura, friável, muito plástica e muito pegajosa; transição plana e gradual.
Bw2	81 – 148 cm, rosado (5YR 7/3, úmida) rosado (5YR 7/4, seca); argiloarenosa; fraca a moderada, pequena e média, blocos angulares e subangulares; muito dura, friável, muito plástica e muito pegajosa; transição plana e gradual.
Bw3	148 – 174+ cm, rosado (5YR 7/4, úmida) e rosado (5YR 7/4, seca); argiloarenosa; moderada, pequena e média, blocos angulares e subangulares; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.
RAÍZES:	Muitas, finas e médias no A1; comuns, finas e médias no A2, AB e BA; poucas e finas no Bw1 e Bw2 e raras e finas no Bw3.

ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS

Horizonte		Frações da amostra total (g kg ⁻¹)			Composição granulométrica da Terra Fina (g kg ⁻¹)				Classe textural		
Símb	Prof. (cm)	Calhaus	Cascalhos	Terra Fina	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila			
A1	0 – 17	-	-	1000	270	480	100	150	francoarenosa		
A2	17 – 30	-	-	1000	200	470	100	230	franco-argiloarenosa		
AB	30 – 48	-	-	1000	210	430	110	250	franco-argiloarenosa		
BA	48 – 68	-	-	1000	180	440	130	250	franco-argiloarenosa		
Bw1	68 – 81	-	-	1000	170	360	120	350	argiloarenosa		
Bw2	81 – 148	-	-	1000	140	320	140	400	argiloarenosa		
Bw3	148 – 174+	-	-	1000	170	340	110	370	argiloarenosa		
Horizonte		pH			Cátions Trocáveis (cmol _c kg ⁻¹)						
Símb	Prof. (cm)	H ₂ O	CaCl ₂	KCl	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	Al ⁺⁺⁺	H ⁺	
A1	0 – 17	4,8	4,1	4,1	0,13	0,6	0,4	-	0,6	4,8	
A2	17 – 30	5,0	4,3	4,4	0,03	0,6	0,3	-	0,4	3,0	
AB	30 – 48	5,3	4,4	4,5	0,04	0,5	0,3	-	0,4	2,8	
BA	48 – 68	5,0	4,2	4,4	0,06	0,3	0,2	-	0,6	2,0	
Bw1	68 – 81	4,8	4,1	4,4	0,03	0,4	0,2	-	0,8	1,5	
Bw2	81 – 148	4,5	4,0	4,2	0,08	0,2	0,5	-	0,9	1,4	
Bw3	148 – 174+	4,6	4,2	4,3	0,02	0,2	0,1	-	0,8	1,3	
Horizonte		P resina (mg dm ⁻³)	S (mg dm ⁻³)	M.O. (g kg ⁻¹)	C org (g kg ⁻¹)	Valor S	Tsolo	Targ ⁽¹⁾	V %	Sat Al ⁺³ %	Sat. Na ⁺ %
Símb	Prof. (cm)					(cmol _c kg ⁻¹)					
A1	0 – 17	8	7	24,7	14,3	1,1	6,5	-	17	34	-
A2	17 – 30	6	6	14,0	8,1	0,9	4,4	-	21	30	-
AB	30 – 48	6	6	8,8	5,7	0,8	4,1	-	21	32	-
BA	48 – 68	4	5	8,4	4,9	0,6	3,2	12,8	17	52	-
Bw1	68 – 81	6	4	12,9	7,5	0,6	2,9	8,2	22	56	-
Bw2	81 – 148	6	7	6,5	3,7	0,3	2,6	6,6	13	73	-
Bw3	148 – 174+	4	12	5,9	3,4	0,3	2,4	6,3	14	71	-

⁽¹⁾ Targ = (T/g kg⁻¹ de argila) x 1000.

APÊNDICE B. Descrição geral do perfil do solo da área de Monocultura da soja

DATA: 13/10/2013

CLASSIFICAÇÃO: LATOSSOLO AMARELO Distrófico Argissólico, A moderado, textura médio-argilosa/argilosa, fase floresta tropical subcaducifólia transição cerrado subcaducifólio, relevo plano.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Trincheira situada em área plana na Fazenda Unha-de-Gato, no lado esquerdo da BR-222, sentido Chapadinha-Parnaíba. Município de Mata Roma (MA). Latitude: 03° 42' 26,6" S e longitude 43° 11' 27,6" W.

ELEVAÇÃO: 122 m.

SITUAÇÃO E DECLIVE: Terço superior de encosta plana, com cerca de 2% de declividade.

LITOLOGIA: Materiais arenoargilosos retrabalhados da Formação Barreiras do Terciário.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Formação Barreiras.

MATERIAL DE ORIGEM: Produto da alteração do material supracitado.

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Plano.

RELEVO REGIONAL: Plano a Suave ondulado.

EROSÃO: Laminar moderada e sulcos.

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Transição floresta tropical subcaducifólia/cerrado subcaducifólio.

USO ATUAL: Campo plantado com soja.

CLIMA: Aw segundo a classificação de Köppen.

DESCRITO E COLETADO POR: Marlen Barros e Silva.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Ap	0 – 15 cm, bruno-acinzentado (10YR 5/2, úmida) e cinzento-brunado-claro (10YR 6/2, seca); francoarenosa; grãos simples e fraca, pequena, granular; ligeiramente dura, friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.
A2	15 – 29 cm, bruno-acinzentado (10YR 5/2, úmida) e cinzento (10YR 6/1, seca); franco-argiloarenosa; maciça; extremamente dura, extremamente firme, não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.
AB	29 – 47 cm, bruno-acinzentado (10YR 5/2, úmida) e bruno (10YR 5/3, seca); mosqueados bruno-amarelados (10YR 5/6, úmida) e amarelo-brunados (10YR 6/6, seca); franco-argiloarenosa; grãos simples e fraca, pequena blocos angulares e subangulares; extremamente dura, firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.
BA	47 – 67 cm, variegado de bruno-acinzentado (10YR 5/2, úmida) e bruno-amarelado (10YR 5/3, seca); e bruno-claro-acinzentado (10YR 6/3, úmida) e bruno-amarelado-claro (10YR 6/4, seca); franco-argiloarenosa; grãos simples e fraca, pequena e média, blocos angulares; extremamente dura, firme, plástica e pegajosa; transição plana e clara.
Bw1	67 – 89 cm, variegado de bruno-claro (7,5YR 6/4, úmida) e rosado (7,5YR 7/4, seca); argiloarenosa; moderada, pequena e média, blocos angulares e subangulares; muito dura, firme, plástica e pegajosa; transição plana e difusa.
Bw2	89 – 150 cm, amarelo-avermelhado (7,5YR 6/6, úmida) amarelo-avermelhado (7,5YR 7/6, seca); argiloarenosa; grãos simples e fraca, pequena e média, blocos angulares; dura, friável, plástica e pegajosa; transição plana e difusa.
Bw3	150 – 178 ⁺ cm, amarelo-avermelhado (7,5YR 7/6, úmida) e amarelo-avermelhado (7,5YR 7/6, seca); argiloarenosa; grãos simples e fraca a moderada, pequena e média, blocos angulares e subangulares; ligeiramente dura, friável, plástica e pegajosa.
RAÍZES	Poucas e finas no Ap; raras e finas no A2 e ausentes nos demais horizontes.
OBS:	O solo encontrava-se seco no momento da descrição. Presença de fragmentos de carvão do horizonte A2 ao Bw3. Coleta de todos os horizontes.

ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS

Horizonte		Frações da amostra total (g kg ⁻¹)			Composição granulométrica da Terra Fina (g kg ⁻¹)				Classe textural		
Símb	Prof. (cm)	Calhaus	Cascalhos	Terra Fina	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila			
A1	0 – 15	-	-	1000	180	340	100	380	francoarenosa		
A2	15 – 29	-	-	1000	260	520	60	150	franco-argiloarenosa		
AB	29 – 47	-	-	1000	220	470	90	230	franco-argiloarenosa		
BA	47 – 67	-	-	1000	210	390	90	320	franco-argiloarenosa		
Bw1	67 – 89	-	-	1000	180	380	70	370	argiloarenosa		
Bw2	89 – 150	-	-	1000	170	350	80	400	argiloarenosa		
Bw3	150 – 178+	-	-	1000	160	340	120	380	argiloarenosa		
Horizonte		pH			Cátions Trocáveis (cmol _c kg ⁻¹)						
Símb	Prof. (cm)	H ₂ O	CaCl ₂	KCl	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	Al ⁺⁺⁺	H ⁺	
A1	0 – 15	6,0	5,5	6,0	0,06	2,1	0,3	-	0,1	1,3	
A2	15 – 29	6,0	5,4	5,7	0,03	1,5	0,2	-	0,1	1,6	
AB	29 – 47	5,2	4,7	4,6	0,03	0,8	0,2	-	0,2	2,3	
BA	47 – 67	4,5	4,1	4,2	0,03	0,4	0,1	-	0,8	2,5	
Bw1	67 – 89	4,8	4,1	4,2	0,03	0,3	0,1	-	0,7	2,0	
Bw2	89 – 150	4,7	4,4	4,5	0,05	0,8	0,2	-	0,3	1,7	
Bw3	150 – 178+	4,7	4,5	4,7	0,08	0,4	0,2	-	0,2	1,6	
Horizonte		P resina (mg dm ⁻³)	S (mg dm ⁻³)	M.O. (g kg ⁻¹)	C org (g kg ⁻¹)	Valor S	Tsolo	Targ ⁽¹⁾	V (%)	Sat. Al ⁺³ (%)	Sat. Na ⁺ (%)
Símb	Prof. (cm)					(cmol _c kg ⁻¹)					
A1	0 – 15	4	5	9,0	5,2	2,4	3,7	-	64	04	-
A2	15 – 29	7	4	25,8	14,9	1,6	3,4	-	49	06	-
AB	29 – 47	5	5	10,4	6,0	1,1	3,6	-	29	16	-
BA	47 – 67	4	10	8,7	5,0	0,5	3,7	11,5	13	62	-
Bw1	67 – 89	4	13	7,3	4,2	0,5	3,1	8,4	16	58	-
Bw2	89 – 150	4	10	6,5	3,7	1,1	3,0	7,5	35	22	-
Bw3	150 – 178+	4	7	5,9	3,4	0,7	2,5	6,6	27	23	-

(1) Targ = (T/g kg⁻¹ de argila) x 1000.

APÊNDICE C. Descrição geral do perfil do solo da área de cultivo em aléias

DATA: 13/10/2013

CLASSIFICAÇÃO: PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário êndico Tb, A moderado, textura média-argilosa, fase floresta tropical subcaducifolia transição cerrado subcaducifólio, relevo plano.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Trincheira situada no povoado Vila União, no lado direito da BR 222, sentido Chapadinha-Parnaíba. Município de Chapadinha (MA). Latitude: 03° 47' 71,6" S e longitude 43° 21' 70,8" W.

ELEVAÇÃO: 98 m.

SITUAÇÃO E DECLIVE: Terço superior de encosta plana com cerca de 2% de declividade.

LITOLOGIA: Arenitos da Formação Itapecuru do Cretáceo.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Formação Itapecuru.

MATERIAL DE ORIGEM: Produto da alteração do material supracitado.

PEDREGOSIDADE: Muito pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Plano.

RELEVO REGIONAL: Plano a ondulado.

EROSÃO: Laminar ligeira.

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Transição floresta tropical subcaducifolia/cerrado subcaducifólio.

USO ATUAL: Cultivo em aléias.

CLIMA: Aw' segundo a classificação de Köppen.

DESCRITO E COLETADO POR: Marlen Barros e Silva.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Ap	0 – 19 cm, cinzento-escuro (10YR 4/1, úmida) e cinzento (10YR 5/1, seca); francoarenosa; grãos simples e fraca, pequena, granular; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.
A2	19 – 34 cm, cinzento-escuro (10YR 4/1, úmida) e cinzento (10YR 5/1, seca); franco-argiloarenosa; grãos simples e fraca, pequena e média, granular e blocos subangulares; macia, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.
AB	34 – 65 (63 – 69) cm, bruno-acinzentado-escuro (10YR 4/2, úmida) e bruno-acinzentado (10YR 5/2, seca); franco-argiloarenosa; grãos simples e fraca, pequena e média, blocos angulares e subangulares; macia, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição ondulada e abrupta.
Bc1	63 – 103 cm, bruno-acinzentado-escuro (10YR 4/2, úmida) e bruno-acinzentado (10YR 5/2, seca); franco-argiloarenosa muito cascalhenta; transição plana e clara.
Bc2	67 – 89+ cm, bruno (7,5YR 5/4, úmida) e bruno-claro (7,5YR 6/4, seca); argiloarenosa muito cascalhenta.
RAÍZES:	Poucas e finas no Ap, A2 e AC, e ausentes nos demais horizontes.
OBS:	O solo encontrava-se seco no momento da descrição. Concreções ferruginosas nas dimensões de cascalhos e calhaus nos horizontes Bc1 e Bc2. Não foi possível a observação da consistência nos horizontes Bc1 e Bc2 em razão da grande quantidade de concreções. Coleta de todos os horizontes e solicitação de análises de frações grossas de todos os horizontes do perfil.

ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS

Horizonte		Frações da amostra total (g kg ⁻¹)			Composição granulométrica da Terra Fina (g kg ⁻¹)				Classe textural		
Símb	Prof. (cm)	Calhaus	Cascalhos	Terra Fina	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila			
Ap	0 – 19	-	-	1000	200	510	90	200	franco-argiloarenosa		
A1	19 – 34	-	-	1000	160	480	90	270	franco-argiloarenosa		
AB	34 – 65	-	-	1000	200	440	110	260	franco-argiloarenosa		
Bc1	63 – 103				180	440	80	300	franco-argiloarenosa		
Bc2	103 – 180+				180	380	80	360	argiloarenosa muito		
Horizonte		pH			Cátions Trocáveis (cmol _c kg ⁻¹)						
Símb.	Prof. (cm)	H ₂ O	CaCl ₂	KCl	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	Al ⁺⁺⁺	H ⁺	
Ap	0 – 19	5,4	4,8	5,1	0,12	2,1	0,5	-	0,1	4,1	
A1	19 – 34	5,2	4,3	4,3	0,10	1,1	0,5	-	0,1	8,8	
AB	34 – 65	5,3	4,3	4,4	0,04	0,6	0,4	-	0,1	5,8	
Bc1	63 – 103	6,4	4,7	4,7	0,04	0,6	0,4	-	0,4	3,5	
Bc2	103 – 180+	6,3	4,8	4,8	0,04	0,7	0,4	-	0,2	2,7	
Horizonte		P resina (mg dm ⁻³)	S (mg dm ⁻³)	M.O. (g kg ⁻¹)	C org (g kg ⁻¹)	Valor S	Tsolo	Targ ⁽¹⁾	V (%)	Sat. Al ³⁺ (%)	Sat. Na ⁺ (%)
Símb	Prof. (cm)					(cmol _c kg ⁻¹)					
Ap	0 – 19	5	6	24,1	14,0	2,6	6,8	-	39	04	-
A1	19 – 34	6	7	21,0	12,2	1,6	11,3	-	14	35	-
AB	34 – 65	4	8	15,7	9,1	1,0	7,7	-	13	50	-
Bc1	63 – 103	8	8	11,8	6,8	1,0	4,8	16,1	20	23	-
Bc2	103 – 180+	5	6	12,0	7,0	1,2	4,0	11,5	29	15	-

⁽¹⁾ Targ = (T/g kg⁻¹ de argila) x 1000.

APÊNDICE D. Descrição geral do perfil do solo da área de corte e queima

DATA: 13/10/2013

CLASSIFICAÇÃO: PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário êndico Tb, A moderado, textura média-argilosa, fase floresta tropical subcaducifólia transição cerrado subcaducifólio, relevo plano.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Trincheira situada próxima à Vila União, no lado direito da BR 222, sentido Chapadinha-Parnaíba. Município de Chapadinha (MA). Latitude: 03° 46' 34,6" S e longitude 43° 22' 15,5" W.

ELEVAÇÃO: 104 m.

SITUAÇÃO E DECLIVE: Área plana e alta com cerca de 2% de declividade.

LITOLOGIA: Arenitos da Formação Itapecuru do Cretáceo.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Formação Itapecuru.

MATERIAL DE ORIGEM: Produto da alteração do material supracitado.

PEDREGOSIDADE: Pedregosa.

ROCHOSIDADE: Rochosa.

RELEVO LOCAL: Plano.

RELEVO REGIONAL: Plano a ondulado.

EROSÃO: Laminar ligeira.

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Transição floresta tropical subcaducifólia/cerrado subcaducifólio.

USO ATUAL: Área desmatada no sistema corte e queima.

CLIMA: Aw' segundo a classificação de Köppen.

DESCRITO E COLETADO POR: Marlen Barros e Silva.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Ap	0 – 9 cm, cinzento muito escuro(10YR 3/1, úmida) e cinzento-escuro (10YR 4/1, seca); franco-argiloarenosa; grãos simples e fraca, pequena, granular; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.
A2	9 – 34 cm, cinzento-escuro (10YR 4/1, úmida) e bruno-acinzentado (10YR 5/2, seca); franco-argiloarenosa; grãos simples e fraca, pequena e granular; macia, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.
AB	34 – 56 cm, bruno (10YR 4,5/3, úmida) e bruno (10YR 5/3, seca); franco-argiloarenosa; grãos simples e fraca, pequena e média, blocos subangulares; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e abrupta.
Bc1	58 – 78 (75 – 80) cm, bruno (10YR 5/3, úmida) e bruno-claro-acinzentado (10YR 6/3, seca); franco-argiloarenosa muito cascalhenta; grãos simples e fraca e moderada, pequena e média, blocos subangulares e angulares; transição ondulada e clara.
Bc2	78 – 118 (116 – 120) cm, amarelo-avermelhado (7,5YR 6/6, úmida) e amarelo-avermelhado (7,5YR 7/6, seca); franco-argiloarenosa cascalhenta; grãos simples e fraca e moderada, pequena e média, blocos subangulares e angulares; macia, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição ondulada e clara.
Cc	118 – 209+ cm, amarelo-avermelhado (5YR 6/6, úmida) e amarelo-avermelhado (5YR 7/6, seca); franco-argiloarenosa cascalhenta; fraca, pequena e média, blocos subangulares e angulares; macia, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.
RAÍZES:	Comuns, finas e médias no Ap; comuns, finas, médias e grossas no A2; comuns, finas e médias no AB; comuns e finas no BTc1; poucas e finas no BTc2 e raras e finas no BCc.
OBS:	O solo encontrava-se seco no momento da descrição. Não foi possível a observação da consistência no horizonte Bc1 em razão da grande quantidade de concreções. Concreções ferruginosas nas dimensões de cascalhos e calhaus nos horizontes Bc1, Bc2 e Cc. Coleta de todos os horizontes e solicitação de análises de frações grossas de todos os horizontes do perfil.

ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS

Horizonte		Frações da amostra total (g kg ⁻¹)			Composição granulométrica da Terra Fina (g kg ⁻¹)				Classe textural		
Símb	Prof. (cm)	Calhaus	Cascalhos	Terra Fina	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila			
Ap	0–9	-	-	1000	180	500	120	200	franco-argiloarenosa		
A2	9–34	-	-	1000	170	470	130	230	franco-argiloarenosa		
AB	34–56	-	-	1000	140	490	170	200	franco-argiloarenosa		
Bc1	56–78	?	?	?	150	470	130	250	franco-argiloarenosa muito cascalhenta		
Bc2	78–118	?	?	?	130	460	110	300	franco-argiloarenosa cascalhenta		
Cc	118–209+	?	?	?	140	420	140	300	franco-argiloarenosa cascalhenta		
Horizonte		pH			Cátions Trocáveis (cmol _c kg ⁻¹)						
Símb	Prof. (cm)	H ₂ O	CaCl ₂	KCl	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	Al ⁺⁺⁺	H ⁺	
Ap	0–9	5,4	4,7	4,6	0,14	1,4	0,7	-	0,3	6,6	
A2	9–34	4,8	4,0	4,1	0,03	0,3	0,2	-	1,4	8,0	
AB	34–56	5,0	4,1	4,3	0,01	0,2	0,1	-	1,1	4,8	
Bc1	56–78	5,0	4,2	4,4	0,02	0,2	0,1	-	0,9	3,8	
Bc2	78–118	4,8	4,1	4,3	0,02	0,2	0,1	-	0,8	3,3	
Cc	118–209+	4,9	4,3	4,6	0,09	0,2	0,1		0,7	1,5	
Horizonte		P resina (mg dm ⁻³)	S (mg dm ⁻³)	M.O. (g kg ⁻¹)	C org (g kg ⁻¹)	Valor S	Tsolo	Targ ⁽¹⁾	V %	Sat Al ⁺³ (%)	Sat. Na ⁺ (%)
Símb	Prof. (cm)					(cmol _c kg ⁻¹)					
Ap	0–9	6	10	40,3	23,4	2,2	9,1	-	24	12	-
A2	9–34	7	8	21,6	12,5	0,5	9,9	-	05	73	-
AB	34–56	6	5	13,7	8,0	0,3	6,2	-	05	79	-
Bc1	56–78	7	4	13,2	7,6	0,4	5,1	25	07	71	-
Bc2	78–118	4	4	9,3	5,4	0,3	4,5	30	07	73	-
Cc	118–209+	5	4	7,0	4,1	0,4	2,6	30	16	63	

(1) Targ = (T/g kg⁻¹ de argila) x 1000.

APÊNDICE E. Descrição geral do perfil do solo da área de pastagem

DATA: 13/10/2013

CLASSIFICAÇÃO: PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Distrófico típico, Tb, A moderado, textura média-arenosa/média-argilosa, fase floresta tropical subcaducifólia com babaçu, relevo suave-ondulado.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Trincheira situada ao o lado lado da Fazenda Paraíso, município de Chapadinha, do lado direito da BR 222, sentido Chapadinha-Parnaíba. Município de Chapadinha (MA). Latitude: 03° 45' 41,2" S e longitude 43° 23' 01,4" W.

ELEVAÇÃO: 81 m.

SITUAÇÃO E DECLIVE: Terço inferior de elevação suave-ondulada, com cerca de 5% de declividade.

LITOLOGIA: Arenitos da Formação Itapecuru do Cretáceo.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Formação Itapecuru.

MATERIAL DE ORIGEM: Produto da alteração do material supracitado.

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Suave-ondulado.

RELEVO REGIONAL: Suave-ondulado.

EROSÃO: Não aparente.

DRENAGEM: Imperfeitamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Transição floresta tropical subcaducifólia com babaçu.

USO ATUAL: Pastagem.

CLIMA: Aw' segundo a classificação de Köppen.

DESCRITO E COLETADO POR: Marlen Barros e Silva.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Ap	0 – 19 cm, bruno-acinzentado-escuro (10YR 4/2, úmida) e bruno-acinzentado (10YR 5/2, seca); areia-franca; grãos simples e fraca, pequena, granular; ligeiramente dura, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.
A2	19 – 45 cm, bruno-acinzentado-escuro (10YR 4/2, úmida) e bruno-acinzentado (10YR 5/2, seca); francoarenosa; grãos simples e fraca, pequena e granular; dura, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.
E	45 – 92 cm, bruno (10YR 5/3, úmida) e bruno-claro-acinzentado (10YR 6/3, seca); francoarenosa; grãos simples e fraca, pequena e média, blocos angulares; ligeiramente dura, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
Btf1	92 – 126 cm, bruno-claro-acinzentado (10YR 6/3, úmida) e bruno muito claro-acinzentado (10YR 7/3, seca); mosqueados comuns, pequenos e médios, difusos, amarelo-avermelhados (7,5YR 6/6, úmida) e amarelo-avermelhados (7,5YR 7/6, seca), franco-argiloarenosa; fraca, pequena e média, blocos subangulares e angulares; dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.
Btf2	126 – 156 cm, variegado de vermelho (2,5YR 4/6, úmida), cinzento-claro (10YR 7/2, úmida) e bruno-amarelado (10YR 5/4, úmida) e vermelho (2,5YR 5/6, seca), bruno muito claro-acinzentado (10YR 8/2, seca) e bruno-amarelado (10YR 5/6, seca); argiloarenosa; moderada, pequena e média, blocos subangulares e angulares; dura, friável, plástica e pegajosa; transição plana e abrupta transição ondulada e gradual.
Btf3	156 – 184+ cm, variegado de vermelho (2,5YR 4/6, úmida), bruno-amarelado (10YR 5/6, úmida) e cinzento-claro (10YR 7/2, úmida) e vermelho-claro (2,5YR 6/6, seca), branco (10YR 8/1, seca) e bruno-amarelado (10YR 5/6, seca); franco-argiloarenosa; moderada, pequena e média, blocos subangulares e angulares; dura, friável, plástica e pegajosa.
RAÍZES:	Comuns e finas no Ap; comuns, finas e médias no A2 e E; poucas, finas e médias no Btf1 e raras e finas no Btf2 e Btf3.
OBS:	O solo encontrava-se seco no momento da descrição. Atividade de cupins em todo o perfil. Presença de carvão nos horizontes A2, E e Btf1. Coleta de todos os horizontes.

ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS

Horizonte		Frações da amostra total (g kg ⁻¹)			Composição granulométrica da Terra Fina (g kg ⁻¹)				Classe textural		
Símb	Prof. (cm)	Calhaus	Cascalhos	Terra Fina	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila			
Ap	0 – 19	-	-	1000	390	420	70	120	areia-franca		
A2	19 – 45	-	-	1000	380	380	80	160	francoarenosa		
E	45 – 92	-	-	1000	360	410	80	150	francoarenosa		
Btf1	92 – 126	-	-	1000	350	370	80	200	franco-argiloarenosa		
Btf2	126 – 156	-	-	1000	260	290	80	370	argiloarenosa		
Btf3	156 – 184 ⁺	-	-	1000	250	290	40	320	franco-argiloarenosa		
Horizonte		pH			Cátions Trocáveis (cmol _c kg ⁻¹)						
Símb	Prof. (cm)	H ₂ O	CaCl ₂	KCl	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	Al ⁺⁺⁺	H ⁺	
Ap	0 – 19	5,6	4,8	4,8	0,12	2,1	0,6	-	0,1	3,4	
A2	19 – 45	5,2	4,4	4,3	0,05	1,5	0,4	-	0,6	5,4	
E	45 – 92	5,4	4,4	4,4	0,04	1,0	0,3	-	0,6	3,5	
Btf1	92 – 126	5,2	4,3	4,3	0,05	0,1	0,4	-	0,6	2,2	
Btf2	126 – 156	4,9	4,2	4,1	0,05	0,8	0,4	-	1,4	2,7	
Btf3	156 – 184 ⁺	5,4	4,3	4,3	0,03	0,6	0,3	-	1,1	2,0	
Horizonte		P resina (mg dm ⁻³)	S (mg dm ⁻³)	M.O. (g kg ⁻¹)	C org (g kg ⁻¹)	Valor S	Tsolo	Targ ⁽¹⁾	V %	Sat. Al ⁺³ (%)	Sat. Na ⁺ (%)
Símb	Prof. (cm)	(cmol _c kg ⁻¹)									
Ap	0 – 19	6	4	21,6	12,5	2,8	6,4	-	4 4	03	-
A2	19 – 45	7	4	16,3	9,4	2,0	8,0	-	2 5	21	-
E	45 – 92	6	4	8,1	4,7	1,4	5,5	-	2 5	28	-
Btf1	92 – 126	7	3	6,2	3,6	1,4	4,3	21,3	3 3	28	-
Btf2	126 – 156	4	5	7,0	4,1	1,2	5,3	14,4	2 3	51	-
Btf3	156 – 184 ⁺	5	5	5,9	3,4	0,9	4,0	12,5	2 3	52	-

⁽¹⁾ Targ = (T/g kg⁻¹ de argila) x 1000.