



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

RAQUEL ALMEIDA CARDOSO DA HORA

**ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DE UM LATOSSOLO AMARELO
DISTROCOESO SUBMETIDO A USO INTENSIVO DO SOLO**

**FORTALEZA
2018**

RAQUEL ALMEIDA CARDOSO DA HORA

EFEITO DA DEGRADAÇÃO MECÂNICA EM ATRIBUTOS DA QUALIDADE DO SOLO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo. Área de concentração: Manejo do solo e da água.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Marcus Lima Bezerra.

FORTALEZA

2018

RAQUEL ALMEIDA CARDOSO DA HORA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

D11a da Hora, Raquel.
ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DE UM LATOSSOLO AMARELO
DISTROCOESO SUBMETIDO A USO INTENSIVO DO SOLO / Raquel da Hora. – 2018.
72 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Fortaleza, 2018.

Orientação: Prof. Dr. Francisco Marcus Lima Bezerra.

Coorientação: Prof. Dr. José Fernandes de Melo Filho.

1. Qualidade do solo. 2. sistemas de manejo. 3. preparo do solo. I. Título.

CDD 631.4

RAQUEL ALMEIDA CARDOSO DA HORA

**ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DE UM LATOSSOLO AMARELO
DISTROCOESO SUBMETIDO A USO INTENSIVO DO SOLO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo. Área de concentração: Manejo do solo e da água.

Aprovada em: 25/07/2018.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Francisco Marcus Lima Bezerra (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dra. José Fernandes de Melo Filho
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB)

Dr. João Valdenor Pereira Filho
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.
Aos meus pais, familiares e amigos.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida, oportunidades e força nas dificuldades enfrentadas;
Aos meus pais Edmeia Almeida Cardoso e Leonildo Jesus da Hora e minha avó Maria das Dores de Almeida que foram meu alicerce, me educaram e me deram amor e carinho;

Aos meus irmãos Rafaela Cardoso da Hora e Leonardo Cardoso da Hora pela convivência, apoio e por dividirem comigo os momentos felizes e me sustentar nos momentos difíceis;

Ao meu namorado Victor Morais Campos e toda sua família pelo amor, incentivo e todas as palavras de força e demonstrações de carinho e preocupação;

A Iara pela enorme ajuda, pelas conversas e pelo apoio dado durante todo o período experimental e de escrita;

Ao Prof. Dr. Francisco Marcus Lima Bezerra, pela orientação e confiança depositada;

Ao Prof. Dr. José Fernandes de Melo Filho pelo incentivo de fundamental importância para minha formação acadêmica e profissional;

Aos professores da UFC, em especial, Dra. Mirian Cristina Gomes Costa, Dr. Paulo Mendes, Dr. Jaedson Cláudio Anunciato Mota e Raimundo Nonato de Assis Júnior pelos ensinamentos, incentivo e atenção;

À banca examinadora Dr. Francisco Marcus Lima Bezerra, Dr. José Fernandes de Melo Filho e Dr. João Valdenor Pereira Filho por aceitarem o convite de participação;

À técnica do laboratório de manejo e conservação do solo e água do DCS/UFC, Deyse Maia, pela amizade e pela ajuda técnica na realização das análises;

A todos os funcionários e colegas do DCS, pelo convívio e auxílio durante todo o período do curso;

A todos os colegas e amigos do Laboratório de Manejo do Solo (LMS - UFC), e do laboratório de Manejo e qualidade do Solo (LMQS - UFRB) pelo convívio e momentos inesquecíveis durante o curso;

Aos amigos, em especial Ana Caroline, Emanuela Barbosa, Pedro Novaes, Tiago Cavalcante, Keivia Lino, Laís Monique, Gabriela Haana e Leilane Falcão, que participaram direta ou indiretamente da minha pós-graduação, agradeço imensamente por todo o companheirismo e convívio, pelos momentos de descontração, lazer e valiosas conversas;

Ào Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de estudos de mestrado.

Obrigada!

Na vida, não vale tanto o que
temos, nem tanto importa o que
somos. Vale o que realizamos com
aquilo que possuímos e, acima de
tudo,

importa o que fazemos de nós!

Chico Xavier

RESUMO

A degradação do solo é um problema grave na sociedade atual, afetando a produção agrícola, alimentação humana e a preservação do meio ambiente. Refere-se à redução da sua qualidade natural, interferindo em serviços e funções no ecossistema, cuja principal causa está relacionada ao uso intensivo e contínuo do solo, principalmente com preparo convencional. O objetivo geral deste estudo foi avaliar o efeito do preparo mecânico intensivo sobre os atributos físicos, químicos e microbiológicos de um Latossolo Amarelo Distrocoeso submetido a diferentes ciclos de preparo mecânico no Recôncavo da Bahia. O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental do Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas (CCAAB) da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, localizado no município de Cruz das Almas – BA, com base em um delineamento experimental do tipo fatorial 4 x 5, com 20 tratamentos. Foram 4 níveis de preparo do solo e 5 parcelas de tratamento. Os níveis de preparo mecânico do solo foram: sem preparo (SPM); quatro preparos mecânicos (T4PM); oito preparos mecânicos (T8PM); doze preparos mecânicos (T12PM). Foram avaliados indicadores químicos (pH, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , P, Al^{3+} , CTC e matéria orgânica), físicos (resistência à penetração a 100 kPa, condutividade hidráulica do solo saturado, macro e microporosidade, porosidade total, densidade do solo) e biológicos (carbono da biomassa microbiana, respiração basal do solo, atividade microbiológica total) a fim de indicar o impacto dos tratamentos no solo estudado. Os resultados demonstraram que o preparo mecânico exerceu influência de imediato nos atributos químicos, microbiológicos e físicos, sucessivamente, sendo os atributos químicos e microbiológicos, nesse estudo, os mais sensíveis à ação do preparo mecânico. E que o uso intensivo de práticas de preparo periódico mecânico causa efeito de degradação danificando a qualidade dos solos.

Palavras chaves: Qualidade do solo, sistemas de manejo e preparo do solo.

ABSTRACT

Soil degradation is a problem in today's society, affecting agricultural production, human reality and the economy of the environment. Refers to reduction of your natural quality, interfering in services and functions in the system, main cause is related to the intensive and continuous use of the soil, mainly with conventional preparation. The objective of this study was to evaluate the effect of intensive preparation on the physical, chemical and microbiological attributes of a YELLOW LATOSOL Distrocoesus with different cycles of mechanical preparation in the Bahia Recôncavo. The experiment was carried out at the Experimental Farm of the Agricultural, Environmental and Biological Sciences Center (CCAAB) of the Federal University of the Recôncavo da Bahia, located in the municipality of Cruz das Almas - BA, based on a 4 x 5 factorial experimental design with 20 treatments. There were 4 soil preparation levels and 5 treatment plots. The levels of mechanical preparation of the soil were: without preparation (SPM); four mechanical preparations (T4PM); eight mechanical preparations (T8PM); twelve mechanical preparations (T12PM). Physical (resistance to penetration of 100 kPa, saturated soil hydraulic conductivity, macro and microporosity, total of porosity, soil density (microbial biomass carbon, basal soil respiration, total microbiological activity). The results showed that the physical preparation influenced the chemical, microbiological and physical only chemical and microbiological variables, in this study, the most sensitive to the action of mechanical preparation, and the intensive use of periodic preparation practices due to soil quality.

Keywords: Soil quality, management systems and soil preparation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Respiração basal do solo em função da profundidade e do preparo mecânico.....	41
Figura 2 - Carbono da biomassa microbiana em função da profundidade e do preparo mecânico.....	43
Figura 3 – Carbono orgânico total do solo em função da profundidade e do preparo mecânico	44
Figura 4 – Quociente metabólico do solo em função da profundidade e do preparo mecânico	45
Figura 5 – Quociente microbiano do solo em função da profundidade e do preparo mecânico.....	47
Figura 6 – Resultado da análise dos atributos físico e químicos do solo para a profundidade de 0,00-0,15 m pelo método <i>scree plot</i>	48
Figura 7 – Autovalores e autovetores da configuração (a) e diagrama de ordenação de distribuição (b) dos atributos do solo avaliados na profundidade de 0,00-0,15 m em quatro tratamentos de preparo mecânico.....	50
Figura 8 – Resultado da análise dos atributos físico e químicos do solo para a profundidade de 0,15-0,30 m pelo método <i>scree plot</i>	51
Figura 9 – Autovalores e autovetores da configuração (a) e diagrama de ordenação de distribuição (b) dos atributos do solo avaliados na profundidade de 0,15-0,30 m em quatro tratamentos de preparo mecânico.....	52

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Resumo da ANOVA para os atributos físicos: condutividade hidráulica (K0), densidade do solo (DS), densidade de partículas (DP), porosidade total (PT), microporosidade (MI), macroporosidade (MA), resistência a penetração (RP), diâmetro métrico geométrico (DMG), diâmetro médio ponderado (DMP), índice de floculação (IF) e umidade da porosidade em 33Kpa (UVPAPT).....28
- Tabela 2 - Comparação de médias para a densidade do solo nos tratamentos analisados e nas diferentes profundidades..... 29
- Tabela 3 - Comparação de médias para a macroporosidade do solo nos tratamentos analisados e nas diferentes profundidades.....31
- Tabela 4 - Comparação de médias para a porosidade total do solo nos tratamentos analisados e nas diferentes profundidades.....34
- Tabela 5 - Comparação de médias para a umidade volumétrica em 33 KPa do solo nos tratamentos analisados e nas diferentes profundidades.....35
- Tabela 6 - Resumo da ANOVA para os atributos químicos: pH, alumínio (Al), acidez potencial (H+Al) sódio (Na), saturação por bases (V%), saturação por alumínio (m%), matéria orgânica do solo (MO) soma de bases (SB) e capacidade de troca catiônica (CTC).....35
- Tabela 7 - Comparação de médias para as variáveis: pH, alumínio (Al), acidez potencial (H+Al), sódio (Na), saturação por bases (V%), saturação por alumínio (m%), matéria orgânica do solo (MO) soma de bases (SB) e capacidade de troca catiônica (CTC).....36
- Tabela 8 - Resumo da ANOVA para os atributos químicos: Magnésio (Mg), Fosforo (P), Potássio (K) e Cálcio (Ca).....38
- Tabela 9 - Comparação de médias para as variáveis: Magnésio (Mg), Fosforo (P), Potássio (K) e Cálcio (Ca).....39
- Tabela 10 - Comparação de médias para: Respiração basal do solo (RBS), Carbono da biomassa microbiana (CBM), Carbono orgânico total (COT), quociente metabólico (qCO₂) e quociente microbiano (qMIC) em diferentes áreas de preparos de manejo.....40
- Tabela 11 - Matriz de correlação dos componentes principais rotacionados dos atributos físicos e químicos do solo solo, autovalor e percentagem de variação nas CPs dos tratamentos de preparo mecânico na profundidade de 0,00-0,15 m.....49
- Tabela 12 - Matriz de correlação dos componentes principais rotacionados dos atributos físicos e químicos do solo solo, autovalor e percentagem de variação nas CPs dos tratamentos de preparo mecânico na profundidade de 0,15-0,30 m.....51

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	13
2.1 Qualidade do Solo	14
2.2 Indicadores de qualidade física	16
2.2.1 <i>Densidade do Solo</i>	16
2.2.2 <i>Porosidade</i>	17
2.2.3 <i>Resistencia a Penetração</i>	18
2.2.4 <i>Condutividade Hidráulica do Solo Saturado</i>	18
2.3 Indicadores de qualidade química	19
2.4 Indicadores de qualidade biológicos (microbiológicos)	20
2.4.1 <i>Respiração Basal do Solo</i>	20
2.4.2 <i>Carbono da Biomassa Microbiana</i>	21
2.4.3 <i>Quociente metabólico</i>	21
2.4.4 <i>Quociente microbiano</i>	22
3 MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1 Caracterização da área	23
3.2 Delineamento experimental / Tratamento.....	23
3.3 Procedimentos analíticos.....	24
3.3.1 Atributos Físicos	24
3.3.1.1 <i>Resistencia à penetração do solo</i>	24
3.3.1.2 <i>Condutividade hidráulica do solo saturado</i>	24
3.3.1.3 <i>Densidade do solo</i>	24
3.3.1.4 <i>Densidade de partículas</i>	24
3.3.1.5 <i>Porosidade total</i>	24
3.3.1.6 <i>Microporosidade e Macroporosidade</i>	24
3.3.2 Atributos Químicos	25
3.3.2.1 <i>pH</i>	25
3.3.2.2 <i>Carbono Orgânico Total</i>	25
3.3.2.3 <i>Acidez Potencial (H+Al)</i>	25
3.3.2.4 <i>Cálcio</i>	25
3.3.2.4 <i>Magnésio</i>	25
3.3.1.5 <i>Fosforo</i>	25
3.3.1.5 <i>Potássio</i>	25
3.3.1.5 <i>Sódio</i>	25
3.3.3 Atributos biológicos.....	26
3.3.3.1 <i>Respiração Basal do Solo</i>	26

3.3.3.2 <i>Carbono da biomassa microbiana</i>	26
3.3.3.3 <i>Quociente Metabólico</i>	26
3.3.3.4 <i>Quociente Microbiano</i>	27
3.4 Análise Estatística	27
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
4.1 Analise Univariada	28
4.1.1 Atributos Físicos	28
4.1.1.1 <i>Densidade do solo</i>	29
4.1.1.2 <i>Macroporosidade</i>	31
4.1.1.3 <i>Porosidade total</i>	33
4.1.1.4 <i>Umidade volumétrica em 33KPa</i>	34
4.1.2 Atributos químicos	35
4.1.3 Atributos biológicos (microbiológicos)	40
4.1.3.1 <i>Respiração basal do solo</i>	20
4.1.3.2 <i>Carbono da biomassa microbiana</i>	42
4.1.3.3 <i>Carbono orgânico total</i>	44
4.1.3.4 <i>Quociente metabólico</i>	45
4.1.3.5 <i>Quociente microbiano</i>	46
4.2 Analise Multivariada	48
5 CONCLUSÕES	63
6 REFÊNCIAS	63

1 INTRODUÇÃO

A alimentação da população mundial é um desafio do presente e futuro da humanidade. Com 7,3 bilhões de pessoas vivendo no planeta em 2015 e com expectativa de aumento para 9,5 bilhões em 2050, torna-se necessário o aumento significativo da produção agrícola em, aproximadamente, 70% entre até 2050 para atender a essa demanda, sendo seu maior entrave a degradação do solo, definida como a redução da qualidade natural do solo para desempenhar suas funções no ecossistema (DAILY, 1995; LAL, 2009; LAL, 2015). Nesse contexto os sistemas de uso mecanizado intensivo do solo, pelas consequências que geram para a relação solo planta, são o objeto de maior preocupação dos pesquisadores que se preocupam com a sustentabilidade da atividade agrícola (GIAROLA et al., 2007; ARAÚJO et al., 2010; MOTA et al.; 2013).

Pode-se perceber geralmente o uso intensivo resulta na redução dos estoques de C e N no solo (DONG et al., 2012; DIAMINI et al., 2014; TRAORÉ et al., 2015), incrementa a densidade do solo e reduz o tamanho dos agregados, a macroporosidade e as taxas de infiltração (LLANILLO et al., 2006; REICHERT et al., 2009; FERREIRA et al., 2010; TAVARES FILHO E TESSIER, 2010; CUNHA et al., 2011; PORTELLA et al., 2012) e conseqüentemente acelera as perdas de solo por erosão, causando, maiores perdas de produtividade e da capacidade solo de desempenhar vários outros serviços e funções ecossistêmicas (LAL, 2015).

No Recôncavo da Bahia tradicionalmente cultivam-se culturas de ciclo curto como mandioca, fumo, inhame, dentre outras, e perenes, principalmente citros (CARVALHO E GURGEL, 2014; IBGE, 2012).

Esse preparo convencional, amplamente usado, reduz o tamanho médio dos agregados na camada mobilizada e aceleram a decomposição da matéria orgânica, reduzindo a estabilidade dos agregados do solo (PORTELLA et al, 2012). Inicialmente, este sistema aumenta o espaço poroso do solo (BERTOL et al., 2000), a permeabilidade e o armazenamento de água e ar, facilitando o crescimento das raízes das plantas na camada preparada (BRAUNACK E DEXTER, 1989). Mas esses aspectos positivos são perdidos, quando o solo, descoberto pelo efeito do preparo, é submetido a chuvas erosivas, as quais desagregam suas partículas pelo impacto das gotas, diminuem a infiltração (BERTOL et al.,, 2001) e aumentam o escoamento superficial e a erosão hídrica (BERTOL et al.,, 1997). Causando a degradação que geralmente resulta na redução dos estoques de C e N no solo (TRAORÉ et al.,, 2015), incrementa a densidade do solo e reduz o tamanho dos agregados, a macroporosidade e as taxas de infiltração (PORTELLA et al.,, 2012) e conseqüentemente acelera as perdas de solo por

erosão, causando, maiores perdas de produtividade e da capacidade do ecossistema de desempenhar vários outros serviços e funções (LAL, 2015). Reduzindo dessa forma a qualidade do solo, responsável por manter uma “saúde do solo” mais próximo da ótima.

Giarola et al., (2007), verificaram que sistemas de produção intensivos causam degradação física do solo, verificada por redução da macroporosidade e da porosidade total, bem como aumentos da densidade do solo e da resistência à penetração de raízes.

Lisboa et al. (2012) avaliando a influência do manejo nos indicadores microbianos do solo, concluíram que no preparo convencional os indicadores tiveram desempenho menor, enquanto o campo nativo e o plantio direto apresentaram resultados semelhantes, indicando que o preparo convencional promove a degradação biológica do solo.

Aratani et al. (2008), estudando a qualidade química do solo sob diferentes manejos e condições edafoclimáticas, identificou que houve valores de fósforo e potássio mais satisfatórios no manejo de plantio direto quando em comparação com o plantio convencional.

Tais estudos confirmam que o uso de práticas não sustentáveis resultantes da implantação de sistemas agrícolas tem acarretado alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e proporcionando a redução da capacidade ativa e essencial deste recurso, reduzindo sua qualidade e dificultando a sua recuperação. Dessa forma, é necessária a busca por informações que possam permitir a sustentabilidade da produção agrícola e a preservação da qualidade do solo que deve ser continuada. Assim, o objetivo do presente trabalho foi avaliar as alterações provocados por diferentes ciclos de preparo mecânico nos atributos físicos, químicos e biológicos de um Latossolo Amarelo Distrocoeso no Recôncavo da Bahia.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Qualidade do solo

Os sistemas de uso e manejo dos solos interferem na qualidade do mesmo, ações como o tráfego de máquinas, veículos e animais, implantação e manejo inadequado de pastagens, práticas de uso, cultivo e manejo (preparo do solo, uso excessivo de fertilizantes, irrigação com água de baixa qualidade, aplicação de agrotóxicos e desmatamento), além do desenvolvimento urbano desordenado e a exploração mineral, são algumas das causas antropogênicas que mais degradam os solos (BLANCO E LAL, 2010).

Como a grande maioria dos estudos demonstra que a perda da qualidade do solo por atividade agrícola e sua consequente degradação, ocorrem devido ao manejo inadequado, nota-se que a maior causa da degradação dos solos agrícolas em ambiente tropical está ligada ao uso contínuo, intensiva mobilização e compactação do solo, que características do preparo convencional.

Considerando os diversos aspectos relacionados com a qualidade do solo, têm-se os componentes ligados à resistência ou estabilidade do solo. A resistência refere-se à capacidade do solo em resistir a distúrbios ou estresses aplicados, tendo correlação com a susceptibilidade do solo à degradação (LAL, 1993). No Recôncavo da Bahia o manejo do solo é predominantemente convencional com aração e gradagem e utilização de fertilizantes, muitas vezes, sem aplicação de corretivos, além dos cultivos serem intensivos e contínuos e geralmente morro a baixo, favorecendo os processos erosivos e a degradação do solo.

Existem vários conceitos para a qualidade do solo, Larson & Pierce (1991), de forma mais singela, conceituaram a QS como “apto ao uso”, já Doran & Parkin (1994) trouxeram um conceito mais robusto, o qual se refere como “a aptidão do solo funcionar dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado para sustentar a produtividade biológica, manter ou aumentar a qualidade ambiental e promover a saúde das plantas, animais e dos homens”.

A Sociedade Americana de Ciência do Solo seguiu a mesma linha das definições anteriores, definindo a QS como a “capacidade de um dado solo funcionar, dentro de um sistema natural ou manejado de forma a manter a produtividade vegetal e animal, manter ou melhorar a qualidade da água e do ar e suportar a saúde humana e habitacional” (KARLEN et al., 1997).

Gregorich et al. (1997) apresentam outra definição de QS, tendo como base o grau de aptidão de dado solo para um fim específico, ou seja, a função que o solo exerce em benefício à humanidade. Já outros autores destacam a forte correlação entre a QS e os fatores de formação do solo, como no caso de Norfleet et al. (2003). Neste sentido QS pode ser pensada como uma extensão (ramo) da pedologia, focada principalmente nas alterações e características de cada solo.

Para avaliar a QS, faz-se necessário selecionar algumas de suas propriedades que são consideradas como atributos indicadores (DORAN & PARKIN, 1994). Um eficiente indicador deve ser sensível às variações do manejo, bem correlacionado com as funções

desempenhadas pelo solo, capaz de elucidar os processos do ecossistema, ser compreensível e útil para o agricultor e, preferentemente, de fácil e barata mensuração (DORAN & ZEISS, 2000). Ainda, deve ser sensível às alterações na QS induzidas por modificações recentes no manejo do solo.

Para Islam & Weil (2000), os indicadores podem ser distinguidos em três grandes grupos: os efêmeros, cujas alterações ocorrem em curto espaço de tempo ou são modificados pelas práticas de cultivo, tais como: umidade do solo, densidade, pH, disponibilidade de nutrientes; os permanentes, que são inerentes ao solo, tais como: profundidade, camadas restritivas, textura, mineralogia; e, entre esses dois extremos, estão os indicadores intermediários, que demonstram uma crítica influência da capacidade do solo em desempenhar suas funções, tais como: agregação, biomassa microbiana, quociente respiratório, carbono orgânico total e ativo. Para esses autores, os indicadores intermediários são os de maior importância para integrarem um índice de QS.

Os indicadores são ferramentas que refletem a qualidade do solo, como por exemplo, a diminuição da condutividade hidráulica do solo que infere na diminuição da infiltração da água no solo que pode estar relacionada a processos de compactação e consequentemente redução da qualidade do solo.

2.2 Indicadores de qualidade física

Os atributos físicos do solo são bons indicadores de sua qualidade e permitem o monitoramento de áreas que sofreram algum tipo de interferência, determinando o melhor uso que provoca menor degradação (ARSHAD *et al.*, 1996). A estrutura pode ser avaliada por meio da densidade do solo, porosidade, resistência à penetração e infiltração da água no solo. Esses atributos indicam o efeito do manejo, sendo de fácil mensuração, com respostas rápidas e de razoável precisão (CAMPOS *et al.*, 1995).

2.2.1 Densidade do solo

O conhecimento da densidade pode constituir importante indicativo das condições de manejo de determinado solo (FERREIRA, 2010). A densidade do solo tem sido usada como medida da qualidade do solo devido às suas relações intrínsecas com outros atributos, como porosidade, umidade do solo, condutividade hidráulica, entre outros.

A densidade é frequentemente considerada como um parâmetro útil da estrutura do solo, e é usada como um indicador de compactação do solo porque está diretamente relacionada à porosidade total. (HAMBLIN, 1987). De acordo com Klein (2008), os valores de densidade dos solos agrícolas variam de 0,9 a 1,8 g cm⁻³, dependendo da textura e do teor de matéria orgânica do solo. Utilizando o conteúdo de argila como referência, Reinert, Reichert e Silva (2001) propuseram valores críticos de densidade do solo, sendo de 1,45 g cm⁻³ para solos com mais de 55% de argila, 1,55 g cm⁻³ para solos com teor de argila entre 20 e 55% de argila e 1,65 g cm⁻³ para solos com menos de 20% de argila.

Além da estrutura, a densidade do solo pode estar relacionada com a textura, pois são observados maiores valores para solos arenosos (entre 1,35 e 1,85 kg dm⁻³), enquanto nos solos argilosos essa se apresenta na faixa de 0,95 a 1,25 kg dm⁻³ (ARAÚJO *et al.*, 2004; TORMENA; ROLOFF; SÁ, 1998).

2.2.3 Porosidade

A formação de poros no solo pode ser oriunda de fatores abióticos (ciclos de congelamento e descongelamento, umedecimento e secagem) e bióticos (crescimento de raízes, escavação por minhocas, etc.) (KAY; VANDENBYGAART, 2002). A porosidade do solo é importante para caracterizar o armazenamento de água no mesmo e, sobretudo, o movimento desta, além do desenvolvimento de raízes das plantas. Como as partículas variam em tamanho, forma, regularidade e tendência de expansão pela água, a geometria das partículas do solo determina a quantidade de poros existentes (FERREIRA, 2010).

Richards (1965) separou o diâmetro igual a 0,05 mm como limite adequado para separação entre macro (> 50 µm) e microporos (< 50 µm). A principal função dos macroporos, conforme Libardi (2012), é permitir o processo de aeração do solo e condução de água durante a infiltração; já a dos microporos é promover a retenção e a armazenagem de água. A macroporosidade mínima de 0,10 m³ m⁻³ é ideal para que ocorra a adequada difusão de oxigênio no solo, para o bom desenvolvimento das plantas (GRABLE; SIEMER, 1968).

A relação entre macro e microporos é responsável em parte pela capacidade do solo em reter água e disponibilizá-la às plantas. A quantidade de macroporos influencia o crescimento das raízes e a absorção de água e nutrientes por estas. Solos com reduzida macroporosidade induzem ao crescimento lateral das raízes, que diminui seus diâmetros a fim de penetrarem nos poros menores. Por outro lado, em solos excessivamente porosos pode

haver menor contato solo/raiz, reduzindo a absorção de água e nutrientes pelas raízes, provocando também seu menor desenvolvimento (BEUTLER; CENTURION, 2003).

2.2.4 Resistência a penetração

A resistência do solo à penetração é um fator de impedimento mecânico que o solo oferece ao desenvolvimento de raízes de plantas, afetando diretamente a produtividade das culturas (SILVA *et al.*, 2008). Esta é influenciada diretamente pela densidade do solo, proporcionando um indicativo do estado de compactação do solo, sendo variável com o conteúdo de umidade, textura e estrutura do solo (IMHOFF; SILVA; TORMENA, 2000).

A resistência do solo à penetração é um parâmetro útil na avaliação da qualidade física do solo, pois permite identificar áreas com resistência mecânica potencialmente limitante ao crescimento das raízes e estabelecer a umidade e a densidade do solo críticas para o desenvolvimento das plantas (IMHOFF; SILVA; TORMENA, 2000).

O valor de 2 MPa tem sido frequentemente considerado como crítico, sendo utilizado no conceito do intervalo hídrico ótimo (SILVA; KAY; PERFECT, 1994; TORMENA; SILVA; LIBARDI, 1998). No entanto, há indicações de culturas que se desenvolvem normalmente até valores superiores a 3,0 MPa (BEUTLER; CENTURION, 2003), assim como há plantas que já sofrem limitações em valores de 1,4 MPa (FOLONI; CALONEGO; LIMA, 2003).

2.2.5 Condutividade hidráulica do solo saturado

A condutividade hidráulica (K) pode ser representada pela função $K(\Theta)$, em que Θ é a umidade volumétrica do solo, que traduz o quanto o solo conduz de água em uma dada umidade (KLEIN; LIBARDI, 2002). Portanto, para um dado solo, a condutividade hidráulica (K) é tanto maior quanto maior for sua umidade (Θ), atingindo seu valor máximo, segundo Reichardt (1990), quando o solo encontra-se em condição de saturação, em que todos os poros estão preenchidos por água. Nessa condição, afirma Reichardt (1975), os fenômenos de capilaridade e adsorção são nulos, e assim também o é o potencial mátrico. Nessa condição, para efeito de energia total da água no solo são importantes os potenciais de pressão e gravitacional (esse apenas para fluxo vertical).

A condutividade hidráulica do solo saturado (K_0) é considerada uma das propriedades do solo de maior importância, uma vez que serve de parâmetro para o correto

manejo da água no solo, além de fornecer informações indiretas da estrutura e da estabilidade estrutural do solo (KLUTE, 1965). Mediante sua relevância, deve ser dada muita atenção para a sua correta determinação já que decisões são tomadas a partir do seu conhecimento (MESQUITA; MORAES, 2004).

2.3 Indicadores de qualidade química

Áreas não manejadas, em comparação com o áreas aradas e gradeadas, tem efeitos positivos sobre as propriedades químicas mais importantes do solo. Sob o sistema de plantio direto, registram-se maiores valores de pH, cálcio, magnésio, fósforo, potássio, proporcionando também maiores valores de soma de bases e capacidade de troca de cátions, ao passo que o alumínio tóxico se tornam mais baixa (MUZILLI, 2002).

O pH exerce influência sobre a absorção dos nutrientes pela planta (GOMES; FILIZOLA, 2006). Em termos de qualidade química do solo, o aumento do pH pode favorecer processos de mineralização da matéria orgânica, nitrificação e fixação biológica do nitrogênio (MENGEL *et al.*, 2001). Contudo, pH alcalino pode interferir no desenvolvimento das culturas devido à redução na disponibilidade de micronutrientes (HE *et al.*, 2005).

Quanto ao carbono orgânico total (COT), quando seus teores são baixos podem haver prejuízos à produtividade das culturas em razão de seu efeito na estrutura, na disponibilidade de água para as plantas e devido ao seu poder de tamponamento frente a presença de compostos muitas vezes tóxicos às plantas (GOMES; FILIZOLA, 2006).

A CTC é um indicador de qualidade química do solo pelo fato de indicar a quantidade de cátions retidos na superfície das argilas (GOMES; FILIZOLA, 2006).

O fósforo é um elemento limitante da prática da agricultura, devido aos baixos teores encontrados nos Estados nordestinos de modo geral (SAMPAIO *et al.*, 1995). Sendo o conteúdo de P no solo afetado principalmente por fatores como material de origem, clima, organismos e processos biogeoquímicos no solo, e a sua distribuição tem grande heterogeneidade espacial (LANE *et al.*, 2011).

2.4 Indicadores de qualidade biológica (microbiológicos)

A evolução da agricultura está intimamente ligada à mecanização das operações do campo. A mecanização torna o trabalho agrícola menos árduo, a lavoura mais homogênea e

aumenta a produtividade das culturas. Um dos obstáculos da mecanização agrícola é o aumento da compactação do solo devido ao tráfego de máquinas (ROBOREDO et al., 2010).

O sistema de preparo mecanizado do solo influencia diretamente sobre as propriedades físicas e biológicas do solo, além de propiciar ambiente para o estabelecimento das culturas. O tipo de preparo do solo, assim como o estabelecimento de nova cultura, impõe ao sistema solo/microrganismos nova condição que influencia diretamente sobre a disponibilidade, a qualidade e a quantidade dos nutrientes no solo (LISBOA et al., 2012). Segundo ISLAM e WEIL (2000), a atividade microbiana está relacionada à degradação ou à qualidade do solo, sendo que as análises de carbono da biomassa microbiana e a relação da respiração basal por unidade de biomassa microbiana são indicadores para esta determinação; além disso, a atividade microbiana do solo pode ser mensurada por meio do quociente microbiano.

No plantio convencional, o revolvimento do solo permite o rompimento dos agregados, além de promover maior contato entre os resíduos vegetais e o solo. Esses fatores estimulam, temporariamente, a microbiota a degradar a matéria orgânica do solo (LISBOA et al., 2012).

2.4.1 Respiração basal do solo

A respiração basal do solo mede a atividade microbiológica do solo onde os microrganismos degradam os compostos orgânicos a CO_2 (SILVA et al., 2013). Assim como a matéria orgânica, a umidade diminui à medida que se aumenta a profundidade. Em solos com presença de palhada, as perdas por evaporação são menores em comparação com solos sem cobertura vegetal, promovendo um ambiente mais adequado ao estabelecimento da cultura (PERES et al., 2010).

Os estados fisiológicos das células microbianas influenciam na respiração basal do solo, assim com a umidade, a temperatura, a estrutura do solo, a textura, a quantidade de matéria orgânica, dentre outros (SILVA et al., 2010).

A avaliação da respiração do solo é a técnica mais frequente para quantificar a atividade microbiana. Para entender a respiração microbiana, primeiro é necessário explicar um pouco da dinâmica do carbono no solo.

2.4.2 Carbono da biomassa microbiana do solo

O carbono da biomassa microbiana do solo (CBMS) consiste na fração viva da matéria orgânica do solo, menor que 5000 μm^3 , composta por bactérias, cianobactérias, fungos, algas (JENKINSON e LADD, 1981). São responsáveis por funções cruciais no solo como a decomposição dos compostos orgânicos, ciclagem de nutrientes e pelo fluxo de energia do solo, solubilização de nutrientes como o fósforo (SILVA *et al.*, 2010), degradação de compostos xenobióticos e de poluentes, controle biológico de patógenos (KASCHUK *et al.*, 2009).

Representa um reservatório de nutrientes para o solo, pois a biomassa microbiana do solo é responsável pela imobilização temporária de nutrientes, que serão liberados após sua morte e decomposição (JENKINSON e LADD, 1981).

A estimativa da biomassa microbiana foi sugerida por Jenkinson e Rainer (1977) e Powlson *et al.* (1987) como um parâmetro sensível às mudanças iniciais no processo de transformação da matéria orgânica do solo, sendo um indicador útil para avaliar alterações em ecossistemas com interferência antrópica.

No entanto, Bowles *et al.* (2014) afirmam que somente a quantificação da biomassa não fornece indicações sobre os níveis de atividade das populações microbianas do solo, sendo importante também avaliar parâmetros que estimem a atividade microbiana, como a respiração microbiana e atividade enzimática, para verificar o estado metabólico das comunidades de microrganismos do solo.

A análise isolada do carbono da biomassa microbiana (CBM) e da respiração basal do solo (RBS) pode limitar a análise do solo quanto à atividade microbiana; assim, o quociente metabólico, junto com essas variáveis fornecem informações mais adequadas para o entendimento da atividade microbiológica do solo (ALVES *et al.*, 2011).

A partir dos dados de carbono da biomassa microbiana, carbono orgânico e respiração microbiana podem ser calculados o quociente metabólico ($q\text{CO}_2$) e microbiano ($q\text{MIC}$).

Anderson e Domsch (1985) propuseram a razão entre a respiração basal do solo e o carbono da biomassa microbiana (CBMS), denominado quociente metabólico como indicador das mudanças da atividade microbiana após distúrbios.

2.4.3 Quociente metabólico

O quociente metabólico (qCO_2) é a razão entre a respiração basal e a biomassa microbiana do solo, por unidade de tempo (ANDERSON; DOMSCH, 1993). Ele expressa quanto de CO_2 é liberado pela biomassa microbiana em função do tempo, representando a taxa de respiração específica da biomassa microbiana (ALVES et al., 2011).

O quociente microbiano ($qMic$) representa a relação entre o carbono da biomassa microbiana e o carbono orgânico total. Essa relação tem sido utilizada como indicador da qualidade da matéria orgânica do solo, indicando a quantidade de carbono orgânico que está imobilizado na biomassa e demonstrando, ainda, a eficiência dos microrganismos na utilização dos compostos orgânicos (SILVA et al., 2010). Quando esses valores são maiores, maior quantidade de carbono está sendo perdido na forma de CO_2 (SILVA et al., 2007).

O uso do quociente metabólico como indicador de mudanças no solo está baseado na teoria bioenergética do desenvolvimento dos ecossistemas de Odum (1969), segundo a qual, a razão da respiração total e biomassa total (qCO_2) diminui com o tempo ou com a sucessão num ecossistema. O qCO_2 diminui com o aumento da maturidade do solo. A medida que uma determinada biomassa microbiana se torna mais eficiente, menos carbono é perdido como CO_2 pela respiração e uma fração significativa de C é incorporada ao tecido microbiano. Biomassa microbiana “eficiente” teria menor taxa de respiração em relação a uma biomassa “ineficiente” (GAMA-RODRIGUES;GAMA-RODRIGUES, 2008).

PINTO (2014) 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 de crescimento, de forma que uma proporção de carbono da biomassa será perdida como gás carbônico.

2.4.4 Quociente microbiano

Quociente microbiano ($qMIC$) representa a relação entre o carbono microbiano e o carbono orgânico total e pode-se perceber que áreas com baixa atividade microbiana apresentam baixos valores de quociente microbiano, indicando menor reserva de compostos orgânicos nessas áreas (CARNEIRO et al., 2009). Essa relação fornece informações sobre a qualidade da matéria orgânica e a quantidade de carbono imobilizado na biomassa microbiana (BANNING et al., 2008). Espera-se que solos com melhor qualidade terão valores altos do

quociente microbiano (KASCHUK; ALBERTON; HUNGRIA, 2010). Indicando que a matéria orgânica do solo é ativa e está sujeita a ser decomposta pela microbiota.

A respiração microbiana é um dos componentes da respiração do solo que representa a soma total da atividade metabólica do solo e os processos biológicos responsáveis por essa atividade que são a respiração microbiana, respiração da fauna e a respiração das raízes (SILVA *et al.*, 2012). Segundo os mesmos autores, microrganismos do solo, nas suas atividades metabólicas, são os principais responsáveis pela respiração total do solo.

A respiração pode ser avaliada tanto pelo consumo de oxigênio como pela produção de CO₂. A vantagem de se medir o CO₂ ao invés de oxigênio, está no fato do CO₂ refletir a atividade, tanto de microrganismos aeróbios quanto anaeróbios (GAMA-RODRIGUES; GAMA-RODRIGUES, 2008).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área

O estudo foi realizado na área da Fazenda Experimental I, situada na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), campus Cruz das Almas na região do Recôncavo Baiano, localizada nas coordenadas: Latitude: -12.656642, Longitude: -39.082606, a uma altitude de 220 m. O solo da área do experimento foi classificado como um Latossolo Amarelo distrocoeso (SISTEMA..., 2006). O clima da região é do tipo tropical chuvoso de floresta (Köppen), possui médias anuais de pluviosidade de 1100 mm e temperatura de 24,5°C, com 1 a 3 meses secos, sendo normalmente os meses de abril e maio os mais chuvosos e setembro e outubro os mais secos (BAHIA, 1998).

3.2 Delineamento experimental / tratamento

O delineamento experimental foi em faixas, as quais tinham uma dimensão de 6 metros de largura por 57 metros de comprimento, totalizando 342 m², nas quais aplicaram-se os tratamentos. Cada tratamento foi aplicado em uma faixa exclusiva, seguindo a seguinte ordem: T0 - sem preparo mecânico; T1 - 4 preparos mecânicos; T2 - 8 preparos mecânicos e T3 - 12 preparos mecânicos. Os preparos mecânicos foram realizados quando o solo estava no ponto de friabilidade, em uma sequência mensal de aração seguida de gradagem na profundidade de 0,3 m, durante 12 meses. Noventa dias depois do último preparo realizou-se

uma roçagem mecânica em todos os tratamentos para a realização da coleta de amostras, do tipo deformada e indeformada, nas profundidades de 0,0 - 0,15m e 0,15 - 0,30 m, para a realização das análises físicas, químicas e biológicas.

3.3 Procedimentos analíticos

3.3.1 Atributos físicos

3.3.1.1 Resistência à penetração do solo (RP)

Foi determinada em um penetrômetro eletrônico de bancada modelo MA – 933 ® marca Marconi acoplado a um microcomputador, utilizando-se um cone de 4 mm de diâmetro, com velocidade constante de 10 cm min⁻¹ e leituras a cada 1 segundo, cujos resultados foram obtidos em MPa. Com o objetivo de padronizar o conteúdo de água das amostras para determinação da RP, realizou-se a saturação das mesmas seguida de submissão a uma tensão de 0,1 MPa em câmara de Richards.

3.3.1.2 Condutividade hidráulica do solo saturado (K_0)

Foi determinada através do permeâmetro de carga constante, conforme descrito em KLEIN (2012).

3.3.1.3 Densidade do solo (DS)

Foi determinada através do método do anel volumétrico descrito por Donagema (2014).

3.3.1.4 Porosidade total (PT)

Utilizou-se a metodologia proposta pela Donagema (2014).

3.3.2.6 Microporosidade (Mi) e Macroporosidade (Ma)

Foi determinada em amostras com estrutura não deformada, previamente saturadas durante 24 horas, e posteriormente submetidas a tensão de 60 cm de altura de coluna de água em mesa de tensão. Sendo a macroporosidade obtida pela diferença entre porosidade total e a microporosidade. Após pesagem, antes e depois de ir à estufa a 105 °C obteve-se o volume de macro e microporos contidos na amostra (DONAGEMA, 2014).

3.3.2 Atributos químicos

3.3.2.1 pH

Foi medido em H₂O (1:2,5) por potenciometria (EMBRAPA, 2011).

3.3.2.2 Carbono orgânico total (COT)

Os teores de carbono orgânico total (COT) foram determinados conforme método descrito por Yeomans e Bremner (1988), que consiste na oxidação da matéria orgânica via úmida com dicromato de potássio, em presença de ácido sulfúrico (H₂SO₄) e aquecimento externo, e titulação do excesso de dicromato com sulfato ferroso amoniacal.

3.3.2.3 Acidez potencial (H+Al)

Foi extraída com acetato de cálcio tamponado a pH 7,0 e determinada por titulometria; alumínio (Al) trocável extraído com solução de cloreto de potássio (KCl) 1M e determinado por titulometria (EMBRAPA, 2011).

3.3.1.5 Cálcio (Ca) e magnésio (Mg)

Foram extraídos com solução de KCl 1M e determinados por espectrometria de absorção atômica (EMBRAPA, 2011).

3.3.1.6 Fósforo (P), potássio (K) e sódio (Na)

Foram extraídos com solução Mehlich 1 (0,05 mol L⁻¹ HCl + 0,0125 mol L⁻¹ H₂SO₄) (MEHLICH, 1953). A determinação do fósforo (P) se deu por colorimetria, enquanto que as determinações do K e Na por fotometria de chama (EMBRAPA, 2011).

A capacidade de troca de cátions (CTC), soma de bases (SB), saturação por bases (V%), saturação por alumínio (m%) e porcentagem de saturação por sódio (PST) Foram calculados com base nas descrições de Embrapa (2011)

3.3.3 Atributos biológicos:

3.3.3.1 Respiração Basal do Solo (RBS)

A respiração basal do solo foi estimada seguindo a metodologia proposta por Alef (1995). O solo foi destorroado e por catação retirado fragmentos de raízes e folhas sendo em seguida homogeneizado pela passagem em peneira com malha de 2 mm. As análises foram realizadas com 3 repetições em que 100 g de solo foram pesados e condicionados em recipientes de vidro hermeticamente fechados e com umidade aferida para 60% de sua capacidade de campo, no qual passou por um período de pré-incubação de 7 dias cuja finalidade é de restabelecer a comunidade microbiana do solo. No final desse período, deu-se o início a avaliação sendo colocados em cada recipiente dois béqueres; um contendo 20 ml de água e outro com 20 ml de NaOH (0,5 N), e a cada 24 horas por um período de 8 dias feito a leitura do CO₂ capturado, retirando-se uma alíquota de 10ml de NaOH parando a reação com uma alíquota de Cloreto de Bário e em seguida titulado com HCl.

3.3.3.2 Carbono da biomassa microbiana (CBM)

A determinação do carbono da biomassa microbiana foi realizada pelo método da fumigação-extração (VANCE et al., 1987), que apresenta, como princípio básico, a extração do C microbiano, após a morte dos microrganismos, e lise celular, pelo ataque do clorofórmio e liberação dos constituintes celulares cujo cálculo foi realizado pela equação

$$CBM = FC \cdot kc^{-1} \quad (1)$$

Onde: CBM é o carbono da biomassa microbiana em mg de C por kg de solo (ou µg. g⁻¹); FC é o fluxo obtido da diferença entre a quantidade de C (mg Kg⁻¹) recuperada no

extrato da amostra fumigada e a recuperada na amostra não fumigada e Kc é o fator de correção. O fator de correção (kC) em situações que exijam maior exatidão deverá ser calculado para cada tipo de solo. Como para os solos do Brasil o fator ainda não foi determinado, sugere-se utilizar o valor 0,33 preconizado por Sparling & West (1988) a fim de expressar a fração do CBM recuperada após o processo de fumigação-extração.

3.3.3.3 Quociente Metabólico (qCO_2)

Foi avaliado também, o quociente metabólico (qCO_2) que é a razão entre a respiração basal do solo por unidade de carbono da biomassa microbiana do solo cujo cálculo foi realizado pela equação $qCO_2 = (RBS / CBM) \cdot 10^{-3}$ (4) Onde: qCO_2 (mg C-CO₂ mg⁻¹ C-mic) é o quociente metabólico do solo; RBS (mg C-CO₂ Kg⁻¹ solo) é a respiração basal do solo; CBM (mg C-mic. kg⁻¹ solo) é o carbono da biomassa microbiana do solo e 10^{-3} é o fator de correção de unidade

3.3.3.4 Quociente Microbiano ($qMIC$)

Foi determinado ainda, o quociente microbiano (C-Mic/C-Org) que é a relação entre o carbono microbiano e o carbono orgânico total do solo que serve como parâmetro indicativo da quantidade de matéria orgânica no solo cujo valor foi calculado pela equação

$$qMIC = \left(\frac{CBM}{COT} \right) \times 100 \quad (2)$$

Onde: $qMIC$ (%) é o quociente microbiano; CBM (mg C-mic. Kg⁻¹ solo) é o carbono da biomassa microbiana e COT (g C Kg⁻¹ solo) é o carbono orgânico total do solo.

3.4 Análise estatística

Para a análise dos dados utilizou-se análises univariada e multivariada. A análise univariada foi feita empregando-se o programa computacional Statistical versão 7.0 (STATSOFT, 2004). Os valores observados dos atributos do solo foram submetidos à análise de variância, segundo delineamento em parcela dividida em faixas e os efeitos significativos foram comparados por meio do teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A análise multivariada foi feita com o auxílio do software SPSS (*Statistical Package for Social Sciences*) versão 25.0 e teve por finalidade distinguir os efeitos do preparo mecânico intensivo nos atributos físicos e químicos do solo sob os tratamentos de preparo mecânico. Deste modo, utilizou-se o critério de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) e o teste de

esfericidade de Bartlett, para verificar se os dados eram viáveis a fatoração, sendo considerados aceitáveis os valores atribuídos as variáveis na faixa de 0,5 a 1,0 no critério KMO e os valores do teste de esfericidade de Bartlett com níveis de significância $p < 0,05$, que indicam que a matriz é fatorável (SASS e SCHMITT, 2010; HAIR et al., 2005; TABACHNICK; FIDELL, 2007).

Foi feita a análise fatorial exploratória (AFE) e análise de componentes principais (ACP). que teve por objetivo reduzir o conjunto de atributos do solo ao menor número de variáveis explicativas (WIDAMAN, 2007). Utilizou-se apenas os componentes principais (CPs) com autovalores maiores que 1, pois são suficientes para explicar a maior parte da variação no conjunto dos dados, segundo o critério sugerido por Kaiser (1958). Para confirmação gráfica dos CPs utilizou-se o método gráfico denominado de teste do *scree plot* ou teste de Cattell (HAIR et al., 2005) e os CPs foram configurados pela representação dos autovalores e autovetores. A separação entre os tratamentos de preparo mecânico foi realizada utilizando-se o conjunto de atributos selecionados através da análise discriminante (AD).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise univariada

4.1.1 Atributos Físicos

Mediante teste F da análise de variância (ANOVA) (Tabela 6), detectou-se que houve interação significativa, ou seja, as fontes de variação avaliadas (mecanização e profundidade) influíram conjuntamente na densidade do solo, porosidade total e macroporosidade apenas. Ficando as outras variáveis sem apresentarem diferença estatística.

Tabela 1 – Resumo da ANOVA para os atributos físicos: condutividade hidráulica (K0), densidade do solo (DS), densidade de partículas (DP), porosidade total (PT), microporosidade (MI), macroporosidade (MA), resistência a penetração (RP), diâmetro métrico geométrico (DMG), diâmetro médio ponderado (DMP), índice de floculação (IF) e umidade da porosidade em 33Kpa (UVPAPT)

F. de variação	K0	DS	DP	PT	MI	MA	RP	UVPAPT
Bloco	1,30ns	0,93ns	0,16ns	0,10ns	0,70ns	0,12ns	0,45ns	0,25ns
Tratamento	67,19*	0,98ns	4,62*	1,56ns	0,52ns	3,77*	4,71*	1,31ns
Profundidade	0,40ns	26,64*	1,52ns	39,05*	8,25*	39,77*	5,57*	50,34*
PROF x TRAT	0,30ns	6,91*	0,64ns	6,18*	3,19ns	6,37*	0,08ns	7,32*
CV(%)	55,15	5,33	5,46	10,37	12,23	12,66	6,36	12,33

* e ns: Significativo a 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente; CV: Coeficiente de variação.

Os resultados dos atributos físicos determinados para os quatro perfis são apresentados e discutidos a seguir. Apenas apresentaram resultados com diferenças significativas a densidade do solo (DS), porosidade total (PT), macroporosidade (MA) e a umidade na capacidade de campo (UVPAPT).

4.1.3.1 Densidade do solo

O conhecimento da densidade constitui importante indicativo das condições de manejo (FERREIRA, 2010) e tem sido usado como medida da qualidade do solo devido às suas relações intrínsecas com outros atributos, como a porosidade. Os menores valores de densidade do solo foram encontrados na profundidade de 0,00 – 0,15 cm, variando de 1,47 a 1,66 g cm⁻³. (Tabela 1).

Tabela 2 - Comparação de médias para a densidade do solo nos tratamentos analisados e nas diferentes profundidades

Tratamento	Profundidade (cm)	
	0,00 – 0,15	0,15 – 0,30
0	1.66Bab	1.79Aa
4	1.47Bab	1.83Aa
8	1.66Ab	1.67Aa
12	1.63Aab	1.72Aa

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tuket a 5% de probabilidade.

Letras maiúsculas coluna e letras minúsculas linha.

Foi observada variabilidade na densidade tanto na camada de 0,00 - 0,15 cm, quanto na camada de 0,15-0,30 com entre os tratamentos de mecanização estudados. Tais variações na densidade do solo são devido ao manejo (como revolvimento para o preparo do solo) o que pode propiciar a formação de poros com diâmetros maiores (MESQUITA; MORAES, 2004) os quais permitem maior infiltração de água no solo.

A profundidade de 0,00 – 0,15 foi a que apresentou os menores valores de densidade do solo ($1,47 \text{ g cm}^{-3}$, $1,63 \text{ g cm}^{-3}$ e $1,66 \text{ g cm}^{-3}$) em relação aos valores encontrados na profundidade de 0,15 – 0,30 ($1,67 \text{ g cm}^{-3}$, $1,72 \text{ g cm}^{-3}$, $1,79 \text{ g cm}^{-3}$ e $1,83 \text{ g cm}^{-3}$) (Tabela 1). Nas áreas em que a mecanização foi mais intensificada os valores da densidade do solo foram menores. É sabido que as perturbações mínimas do solo juntamente com a presença de árvores melhoram a maioria das propriedades do solo como os teores de matéria orgânica e agregação, diminuindo a densidade (ROMANECKAS *et al.*, 2009). Estes resultados estão em consonância com os maiores teores de carbono orgânico total encontrados superficialmente (Figura 1), que indicam maior teor de matéria orgânica, auxiliando na agregação, aumentando a porosidade e a infiltração da água, reduzindo a densidade do solo (SZOTT, 1991). Isso ocorre tanto pelo efeito positivo na estabilidade estrutural do solo, quanto pelo fato do o material orgânico apresentar baixa densidade, menor do que os sólidos minerais do solo (BRAIDA *et al.*, 2006).

A profundidade 0,00 – 0,15 cm do tratamento sem mecanização e do tratamento com 4 mecanizações diferiu estatisticamente de todos os outros valores, indicando que a densidade nessa profundidade para os dois tratamentos foi diferente estatisticamente, apresentando $1,66 \text{ g cm}^{-3}$ e $1,47 \text{ g cm}^{-3}$.

Os valores das duas profundidades para todos os tratamentos foram estatisticamente diferentes.

Tais diferenças podem estar relacionadas à intensificação de manejo que foi aplicada em cada tratamento que quanto mais revolvido tende a reduzir a porosidade e aumentar a densidade do solo, favorecendo a compactação (PEI *et al.*, 2008), sendo que os macroporos são destruídos primeiro (HORN *et al.*, 1995).

O solo do tratamento testemunha, na camada de 0, 00 – 0,15 cm, pelo seu não-revolvimento, apresentou maior valor de densidade do solo (Tabela 2) e menor de porosidade total (Tabela 4), o que concorda com os relatados por Vieira & Muzilli (1984), Corrêa (1985) e Urchei (1996), caracterizando maior compactação do solo em comparação aos demais sistemas de preparo.

Smittle & Threadgill (1977) verificaram aumentos no valor da resistência do solo à penetração após 10 cm, em solos preparados com grade aradora.

Os valores encontrados para a primeira profundidade situam-se abaixo ou bem próximos do valor crítico de densidade de solo proposto por Reinert, Reichert e Silva (2001) de $1,65 \text{ g cm}^{-3}$ para solos com menos de 20% de argila. Já para a profundidade de 0,15 – 0,30 os valores superaram o limite crítico de $1,55 \text{ g cm}^{-3}$ para solos com argila entre 20 e 55% (REINERT; REICHERT; SILVA, 2001). Os valores de densidade do solo, considerando todas as profundidades e tratamentos, variaram de $1,47 \text{ g cm}^{-3}$ a $1,83 \text{ g cm}^{-3}$, enquadrando-se nos parâmetros de Klein (2008) que explicita que os valores de densidade dos solos agrícolas variam de 0,9 a $1,8 \text{ g cm}^{-3}$, dependendo da textura e do teor de matéria orgânica.

4.1.1.2 Macroporosidade

A estrutura define a geometria de poros, influenciando decisivamente a movimentação da água e do ar no perfil do solo, pois a macroporosidade é responsável pela livre circulação da água e ar e a microporosidade pela retenção da água (BRADY; WEIL, 2008). Com o teste F para a macro e microporosidade do solo não foram observados resultados significativos para a micro, mas houve interação para a macroporosidade e porosidade total (mecanização e profundidades), procedendo-se os desdobramentos (Tabela 3).

Tabela 3 - Comparação de médias para a macroporosidade do solo nos tratamentos analisados e nas diferentes profundidades

Tratamento	Profundidade (cm)	
	0,00 – 0,15	0,15 – 0,30
0	0.21Ac	0.18Ba
4	0.30Aab	0.18Ba
8	0.27Abc	0.22Ba
12	0.25Abc	0.22Aa

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tuket a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas coluna e letras minúsculas linha.

A macroporosidade tem, geralmente, origem estrutural e/ou biológica e esses poros contribuirão com a infiltração e condução de água no solo (COOPER; VIDAL-TORRADO, 2005). Os maiores valores de macroporosidade foram encontrados na profundidade de 0,00 –

0,15 cm, com valores que variaram de 0,21 a 0,30 m³ m⁻³ nos tratamentos sem preparo mecânico e com 4 preparos, respectivamente, de modo que não diferiram estatisticamente (Tabela 3). Com isso observa-se que há favorecimento de processos de condução de água no solo nessas áreas. Embora a macroporosidade represente uma pequena porção da porosidade total do solo, esses vazios de maior tamanho têm papel importante na condutividade hidráulica do solo (DUNN; PHILLIPS, 1991).

Os menores valores de macroporosidade foram encontrados na profundidade de 0,15 – 0,30 cm e não apresentaram diferença estatística com valores de 0,18 e 0,22 m³ m⁻³ para os dois primeiros tratamentos e para os dois últimos, respectivamente (Tabela 3). O limite de macroporosidade considerado crítico é de 0,10 m³ m⁻³ ($\approx 10\%$ de porosidade de aeração), ou seja, valores inferiores podem indicar alteração estrutural, comprometendo a drenagem de água no solo, reduzindo a permeabilidade do solo, tornando-o suscetível à erosão (GRABLE; SIEMER, 1968), mas nenhum valor ficou abaixo do limite crítico indicado.

Houve diferença significativa entre as profundidades, sendo que a camada superficial apresentou maiores quantidades de macroporos (Tabela 3) por apresentar menores valores de densidade do solo, evidenciando a relação inversa entre esses dois atributos.

Apesar de haver diferença significativa com relação as medias da macroporosidade, esses valores situam-se acima do limite crítico de 10% , ideal para que ocorra a adequada difusão de oxigênio no solo, para o bom desenvolvimento das plantas (GRABLE; SIEMER, 1968), indicando que não existe alteração da qualidade estrutural que possa comprometer o desenvolvimento do sistema radicular das plantas e a função de drenagem do solo.

Houve um aumento da macroporosidade do tratamento sem mecanização para o tratamento com 4 mecanizações, isso devido ao revolvimento inicial do solo , em que o solo começa a ficar mais poroso, só que a medida que esse preparo foi intensificado houve decréscimo da macroporosidade tanto em relação aos tratamentos aplicados quanto em relação ao aumento da profundidade.

No que diz respeito à microporosidade, não houve interação significativa nem em superfície nem em profundidade, indicando homogeneidade dessa camada no que se refere aos processos de retenção de água no solo.

Os sistemas de preparo que revolveram o solo propiciaram, na camada de 0,00 - 0,15 cm, maiores valores de macroporosidade que no tratamento SPM (Tabela 3), concordando com os resultados obtidos por Vieira & Muzilli (1984), Corrêa (1985) e Urchei (1996). Nas demais camadas, o preparo com arado e a grade propiciou decréscimo nos valores de macroporosidade. A macroporosidade do solo sob plantio direto, ou seja, sem o revolvimento,

nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, tal tendência ao longo do tempo pode sinalizar um processo de compactação. Henklain et al. (1996) verificaram que estes fatores foram melhores sob plantio direto em comparação aos do preparo convencional do solo, graças à qualidade dos poros que, embora menores, apresentavam-se contínuos ao longo do perfil, aos canais e galerias formados pela atividade biológica e decomposição das raízes das culturas anteriores e às fendas provocadas pelos gradientes de umidade.

4.1.1.3 Porosidade total

A porosidade do solo é definida como o total de vazios do solo que podem ser ocupados pela água e pelo ar, dependente do seu estado físico, pois é função do arranjo ou geometria das partículas primárias e da sua composição granulométrica (KIEHL, 1979).

A porosidade do solo é importante para caracterizar o armazenamento de água no mesmo e, sobretudo, o movimento desta, além do desenvolvimento de raízes das plantas. Como as partículas variam em tamanho, forma, regularidade e tendência de expansão pela água, a geometria das partículas do solo determina a quantidade de poros existentes (FERREIRA, 2010).

Os valores médios da porosidade total situaram-se entre 0,28 e 0,43 m³ m⁻³, não havendo diferença estatística entre as profundidades, entretanto houve entre os tratamentos (Tabela 4).

Assim como a densidade do solo e a macroporosidade a porosidade total apresentou aumento dos valores do tratamento 0 para o tratamento 4 e posterior a isso redução da porosidade total com a intensificação dos preparos mecânicos.

Entre os tratamentos foi observada diferença estatística para todos, sendo que os valores mais extremos puderam ser identificados no tratamento 4, diferindo estatisticamente com valores de 0,43 e 0,28 para a profundidade de 0,00 – 0,015 e 0,15 – 0,30 respectivamente.

Tabela 4 - Comparação de médias para a porosidade total do solo nos tratamentos analisados e nas diferentes profundidades

Tratamento	Profundidade (cm)	
	0,00 – 0,15	0,00 – 0,15
0	0.32Bc	0.30Ba
4	0.43Bab	0.28Ba
8	0.39Babc	0.32Ba
12	0.36Bbc	0.33Ba

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tuket a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas coluna e letras minúsculas linha.

A redução da macroporosidade (Tabela 3) tende a se refletir na porosidade total e no aumento de densidade de solo (SPERA et al. 2006).

Moreira et al. (2005) estudando pastagens degradadas com *Braquiaria brizantha*, verificaram redução na porosidade total e macroporosidade nos primeiros 30 cm do perfil do solo, indicando que esse atributo foi sensível à ação do pisoteio na superfície, independentemente da maior quantidade de matéria orgânica produzida e da maior presença do sistema radicular da forrageira.

4.1.1.4 Umidade volumétrica em 33KPa (Uv/pt)

A umidade volumétrica em 33 KPa expressa a umidade presente no solo na capacidade de campo, condição ideal do solo para o bom desenvolvimento das culturas.

Observando a tabela 5 é possível verificar que a umidade apresentou valores médios que variaram de 0,27 a 0,49 m³. m⁻³ para a profundidade de 0,00 – 0,15 e 0,15 – 0,30 cm do tratamento com 4 preparos mecânicos, sendo esse tratamento responsável por apresentar a menor e a maior média de umidade volumétrica.

Houve diferença significativa entre os tratamentos e entre as profundidades que os valores das médias após o início dos tratamentos diminuíram ao longo da intensificação para a camada mais superficial e os valores médios para a camada mais inferior tenderam a diminuir.

Tabela 5 - Comparação de médias para a porosidade total do solo nos tratamentos analisados e nas diferentes profundidades.

Tratamento	Profundidade (cm)	
	0,00 – 0,15	0,15 – 0,30
0	0.40Bab	0.45Aab
4	0.27Bb	0.49Aab
8	0.32Bab	0.41Aab
12	0.34Aab	0.40Ab

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tuket a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas coluna e letras minúsculas linha.

4.1.2 Atributos químicos

Por meio do teste F da análise de variância foi constatada significância para fontes de variação. Os atributos abaixo variaram em resposta ao fator profundidades e ao tratamento da mecanização aplicado (Tabela 6).

Tabela 6 – Resumo da ANOVA para os atributos químicos: pH, alumínio (Al), acidez potencial (H+Al) sódio (Na), saturação por bases (V%), saturação por alumínio (m%), matéria orgânica do solo (MO) soma de bases (SB) e capacidade de troca catiônica (CTC).

Fonte de variação	pH	Al	H+Al	SB	CTC	Na	PST	V%	m%	MO
Bloco	1,13ns	1,61ns	1,41ns	0,37ns	0,43ns	1,23ns	0,24ns	0,64ns	1,36ns	3,81*
Tratamento	4,41*	0,41ns	3,05ns	4,78*	5,89*	100,52*	48,04*	4,08*	0,44ns	5,33*
Profundidade	0,08ns	0,40ns	0,66ns	3,09ns	4,43ns	68,7*	50,39*	6,05*	0,04ns	3,62ns
PROF X MEC	1,62ns	1,20ns	1,19ns	1,01ns	1,89ns	16,26*	12,98*	1,08ns	1,324ns	0,65ns
CV (%)	7,86	200,00	23,43	20,71	18,40	14,74	18,12	16,79	175,87	37,93

* e ns: Significativo a 5% de probabilidade, e não significativo, respectivamente; CV: Coeficiente de variação.

Observa-se na tabela 6 que houve diferença significativa com relação à interação entre profundidade e os diferentes sistemas de mecanização apenas para o sódio e para a saturação por sódio e que os mesmos apresentaram valores que oscilaram entre 0,00 e 0,02 cmol(c)/dm³ e 0,26 a 1,14 % (Tabela 7). Os maiores valores foram identificados nas áreas em que o processo de mecanização foi menos intensificado. Isso pode ser devido ao alto revolvimento do solo que foi realizado retirando a matéria orgânica e os cátions essenciais o que pode ter acidificado um pouco esse solo. Resultados parecidos podem ser verificados no estudo realizado por Soares, (2013) que estudando a influência dos atributos físicos e químicos do solo sob formas de cultivo (mata nativa, área de pousio e monocultivo por 3 anos) verificou que o sódio decresceu em profundidade, entre as áreas estudadas e que não houve diferença estatística entre os valores encontrados. Também foram encontrados resultados de decréscimo de sódio por Pereira e Siqueira (1979) em profundidade nas primeiras camadas até 0,60 m.

Tabela 7 - Comparação de médias para as variáveis: pH, alumínio (Al), acidez potencial (H+Al), sódio (Na), saturação por bases (V%), saturação por alumínio (m%), matéria orgânica do solo (MO) soma de bases (SB) e capacidade de troca catiônica (CTC).

Tratamento	pH	Al ³⁺cmol(c)/dm ³	H+Al	SB	CTC	Na ⁺	PST	V%	m	MO
0	6.40a	0.03a	1.16a	1.34 ^a	1.14a	0.02 ^a	1.14a	56.04a	4.94a	1.35a
4	5.96ab	0.00a	1.13a	1.28aa	1.01a	0.01b	0.73b	54.33ab	0.00a	1.00ab
8	5.71ab	0.03a	0.88a	1.01ab	0.91ab	0.01b	0.72b	44.55bc	3.30a	1.21ab
12	5.29b	0.04a	0.81b	0.72b	0.66b	0.00c	0.26c	35.94c	6.56a	0.88b

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre pelo teste de Tuket a 5% de probabilidade.

Os valores médios de pH diferiram significativamente entre si em relação ao preparo mecânico realizado, apresentando valor pouco ácido no tratamento testemunha, sem nenhum preparo. Com a intensificação do preparo mecânico pode-se verificar que o pH tende a diminuir ficando cada vez mais próximo da acidez (Tabela 7). Entretanto, os valores identificados estão na faixa ideal para as culturas que fica entre 5,5 e 7,0, com exceção do tratamento mais mecanizado com 12 preparos, que apresentou pH abaixo do nível aceitável de 5,3.

Os teores de Al³⁺ foram iguais ou próximos nos tratamentos com 0, 4 e 8 preparos mecânicos, apresentando valores muito baixos e nulo no tratamento com 4 preparos mecânicos.

Esses valores indicam baixa participação do alumínio na acidez do solo, sendo esse resultado esperado tendo em vista que esse cátion não é expressivo em solos de clima tropical, especialmente para valores de pH acima de 5,5 (RICHARDS, 1954), conforme verificado neste estudo.

A acidez potencial identificada foi baixa, indicando que nesses solos não há tanta liberação de ions H^+ para a solução do solo, o que não causa uma acidificação no meio. A acidez potencial tem grande importância pela sua utilização na determinação da saturação por bases e auxílio na recomendação da necessidade de calagem. Conceitualmente, a quantificação da acidez potencial do solo representa a quantidade de base necessária para neutralizá-la ou, em última análise, a necessidade de calcário do solo.

A CTC apresentou valores com diferenças significativas em nos tratamentos, ela representa a soma dos teores de cátions permutáveis, exceto H^+ e Al^{3+} ($SB = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+$). Esta nos diz a capacidade efetiva de um solo em reter cátions próximos do seu pH natural. Pode-se perceber que a CTC diminuiu de acordo com o aumento do preparo mecânico, obtendo valor de $1.14 \text{ cmol(c)/dm}^3$ no tratamento sem nenhum tipo de mecanização e diminuindo para $0.66 \text{ cmol(c)/dm}^3$, dando a indicação de que quanto mais se revolve o solo, quando mais mecanizado, menor a capacidade.

O sódio é um elemento que pode comprometer a qualidade dos solos, pois pode ser adsorvido aos coloides do solo e quando está presente em elevados teores, é capaz de deslocar o Ca^{2+} e o K^+ do complexo de troca. Essa condição pode afetar a estrutura do solo (OLIVEIRA et al., 2002). Foram observados diferenças significativas entre os tratamentos avaliados, mas em nenhum deles o valor de sódio apresentou ser superior a 15%. Os teores de Na^+ foram considerados baixos, ficaram abaixo do limite de 15%, considerado indicador de sodicidade do solo (RICHARDS, 1954), não oferecendo riscos de danos estruturais ocasionados por esse cátion monovalente (Tabela 7). Verificou-se, ainda, perda nos valores médios de PST com a intensificação da mecanização, o que corresponde à tendência do Na^+ diminuir com a intensificação do preparo, a medida que o tratamento se intensificava a PST diminuía, efeito esse que pode ser explicado pela mínima acumulação de sódio nas áreas sem revolvimento algum e a homogeneização desse elemento a medida que o solo ia sendo revolvido, fazendo com que ele pudesse ser cada vez mais incorporado nas camadas mais inferiores. Portanto, as concentrações de Na^+ se mantiveram em níveis aceitáveis para que não ocorram problemas de sodificação.

Os valores de V% oscilaram de 56,04 a 35,94%, sendo o maior valor encontrado no tratamento sem nenhum preparo mecânico e o menor valor encontrado no tratamento mais

mecanizado. Havendo diferença na classificação em relação ao valor de V%, sendo os solos das duas primeiras áreas, com menos preparos mecânicos, apresentando valores de v% superior a 50% classificados como solos eutróficos e os dois últimos apresentando valores de v% superior a 50%, classificados como solos distróficos. Essa diminuição da fertilidade do solo indica que existe uma relação inversa entre preparo mecânico e fertilidade do solo, pois com o aumento do preparo mecânico houve uma diminuição do V% o que indica uma diminuição da fertilidade do solo.

A matéria orgânica apresentou diferença estatística, com o maior valor presente no tratamento testemunha e o menor valor no tratamento com maior número de preparos com 1,35% e 0,88% respectivamente. Valores esperados, pois o solo em questão é latossolo, característico por apresentar concentrações baixas de M.O, alta drenagem, baixa acidez e alto nível de lixiviação. E é sabido que à medida que o solo é revolvido a porcentagem de matéria orgânica presente é perdida, percolada ou mineralizada de forma mais acelerada, fato que pode explicar a diminuição da presença de M.O com o aumento do preparo mecânico.

Tabela 8 - Resumo da ANOVA para os atributos químicos: Magnésio (Mg), Fosforo (P), Potássio (K) e Cálcio (Ca).

Fonte de variação	Mg	P	K	Ca
Bloco (B)	0.38ns	0.12ns	0.87ns	0.79ns
Tratamento (T)	5.62*	3.95*	10.15*	2.47ns
Profundidade(P)	0.06ns	7.40*	1.88ns	4.55*
PROF X MEC	1.87ns	2.29ns	48.16*	0.39ns
CV(%)	46.26	52.98	58.37	21.08

* e ns: Significativo a 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente; CV Coeficiente de variação.

Houve diferença significativa de todos os teores de nutrientes em relação aos tratamentos realizados (Tabela 8). A intensificação do preparo mecânico promoveu decréscimo nos teores de nutrientes quando comparado os valores dos tratamentos, o que pode estar relacionado com o maior grau de revolvimento do solo favorecendo perdas de nutrientes por lixiviação, principalmente de íons monovalentes como o Potássio (K).

Para os tratamentos realizados, os teores de Ca^{2+} foram próximos e não se distinguiram estatisticamente ao longo das mecanizações de estudo (Tabela 9). Os teores do

elemento variam de 0.45 a 0.66 cmolc kg⁻¹ que, considerados baixos. Nessa região a disponibilidade de água é alta e com isso os compostos orgânicos são solubilizados e podem ser lixiviados, desta forma os ligantes orgânicos complexam o Ca²⁺ do solo formando complexos CaL⁰ ou CaL^e a alteração da carga Ca²⁺ facilita sua mobilidade no solo (CAIRES, 2010), e a movimentação do solo pode explicar o comportamento descendente de cálcio e magnésio para supostas camadas mais profundas de solo. Diferente tendência estatística foi observada para os teores de Mg²⁺ ao longo dos tratamentos, não diferindo entre os tratamentos (Tabela 9). Diminuindo o teor de Mg²⁺ à medida que se intensificava os tratamentos de mecanização. A ausência de revolvimento do solo no tratamento sem revolvimento proporcionou as condições mais favoráveis para os organismos responsáveis pela fragmentação do material vegetal e ciclagem dos nutrientes em relação aos posteriores. (CUNHA *et al.*, 2012).

O teor de Mg²⁺, foi menor estatisticamente (0,17 cmolc kg⁻¹) na área mais mecanizada. O teor de Mg²⁺ no solo entre 0,17 e 0,42 cmolc kg⁻¹, como encontrado neste estudo, é considerado baixo. A inter-relação entre os nutrientes Ca²⁺ e Mg²⁺ na nutrição vegetal está conexas às suas propriedades químicas semelhantes, fazendo com que ocorra competição pelos sítios de adsorção no solo e na absorção pelas raízes. Dessa forma, a presença de um pode prejudicar os processos de adsorção e absorção do outro (ORLANDO FILHO *et al.*, 1996). Contudo, foram observados teores consideráveis e na proporção adequada para os dois cátions.

Tabela 9 - Comparação de médias para as variáveis: Magnésio (Mg), Fósforo (P), Potássio (K) e Cálcio (Ca).

Fonte de variação	Mg	P	K	Ca
0	0.42a	0.01a	0.03a	0.66a
4	0.29ab	0.01ab	0.03a	0.69a
8	0.28ab	0.00ab	0.01b	0.59a
12	0.17b	0.00b	0.00b	0.45a

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os teores de K^+ diferiram entre os tratamentos estudados (Tabela 9), o que é atribuído à elevada mobilidade do K^+ no solo. Apesar de terem sido observadas diferenças estatísticas nos teores de K^+ , todos os teores enquadram-se como baixo.

Os maiores teores estatisticamente iguais de K^+ foram encontrados no tratamento sem mecanização e no tratamento com 4 mecanizações ($0,03 \text{ cmolc kg}^{-1}$). Os menores teores de K^+ foram encontrados nos dois últimos tratamentos e mais mecanizados, com $0,01$ e $0,00 \text{ cmolc kg}^{-1}$, respectivamente. Há uma possível exportação desse nutriente por sucessivos preparos realizados, o que pode proporcionar redução dos teores de K^+ ao longo dos tratamentos aplicados. SANTOS e TOMM (2003), estudando o comportamento de atributos químicos do solo sob diferentes tipos de preparo do solo em um Latossolo Vermelho distrófico, também observaram maiores teores de potássio para o preparo com escarificador para a camada superficial do solo até $0,15 \text{ m}$ de profundidade. Assim, pode-se dizer que o acúmulo de potássio em solos de baixa CTC é muito dependente do regime de chuvas e drenagem do solo, podendo ser facilmente levado pela água de drenagem se as condições forem favoráveis para isto.

Semelhante ao que aconteceu com o K^+ os valores de P diferiu estatisticamente, mas continuaram muito próximos numericamente. Também apresentaram diminuição com o aumento da mecanização sendo o maior valor encontrado na área sem mecanização e no tratamento com 4 mecanizações ($0,01 \text{ cmolc kg}^{-1}$) e os menores valores encontrados nos dois últimos tratamentos e mais mecanizados ($0,00 \text{ cmolc kg}^{-1}$). Os valores encontrados são considerados baixo, uma das explicações pode ser a baixa mobilidade desse nutriente e o alto intemperismo do solo em questão associado com isso o preparo intensificado aplicado. O conteúdo de P no solo é afetado principalmente por fatores como material de origem, clima, organismos e processos biogeoquímicos no solo, e a sua distribuição tem grande heterogeneidade espacial (LANE *et al.*, 2011).

4.1.3 Atributos Biológicos

Os resultados da análise de variância apresentaram efeito significativo isolado à (1%) apenas para a interação presente na respiração basal (RBS), no carbono orgânico total (COT) e no quociente microbiano (qMIC).

Tabela 10 - Comparação de médias para: Respiração basal do solo (RBS), Carbono da biomassa microbiana (CBM), Carbono orgânico total (COT), quociente metabólico (qCO₂) e quociente microbiano (qMIC) em diferentes áreas de preparos de manejo.

Tratamento	RBS	CBM	COT	QCO ₂	QMIC
Tratamento	48.45*	0.71ns	0.50ns	0.52ns	2.04ns
Profundidade	3.57ns	2.85ns	79.91*	3.39ns	4.60ns
P x T	0.51ns	1.79ns	49.59*	1.96ns	9.01*
CV	2.51	18.37	7.82	18.57	25.03

*e ns: Significativo a 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente; CV:

Coefficiente de variação.

A respiração microbiana indica a atividade e decomposição biológica de resíduos orgânicos do solo (LOPES *et al.*, 2010). A velocidade de decomposição do resíduo orgânico no solo é determinada principalmente pelas características intrínsecas desse material, tais como: relação C/N, teor de carboidratos e lignina, grau de agregação, características do solo (pH, teor de nutriente e umidade) e do ambiente (temperatura e precipitação) ambos diretamente proporcionais à atividade microbiana no solo (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006). A maior atividade respiratória foi encontrada na área em que não houve nenhum preparo mecânico (Figura 1). Com o aumento do preparo mecânico a respiração foi diminuindo gradativamente.

Existe uma certa ambiguidade em relação a respiração microbiana, onde a interpretação dos resultados da atividade respiratória exige precaução, uma vez que, elevados valores de respiração tanto pode ser resultantes do acúmulo de matéria orgânica rica em frações lábeis (carboidratos, compostos nitrogenados e a própria biomassa microbiana e seus metabólicos) à superfície do solo, suscetível à decomposição com consequente liberação de nutrientes para as plantas, como pode ser reflexo de um consumo intenso de carbono oxidável pela população microbiana para a sua manutenção, em circunstâncias em que a biomassa microbiana encontra-se sob algum fator de estresse (NUNES *et al.*, 2009).

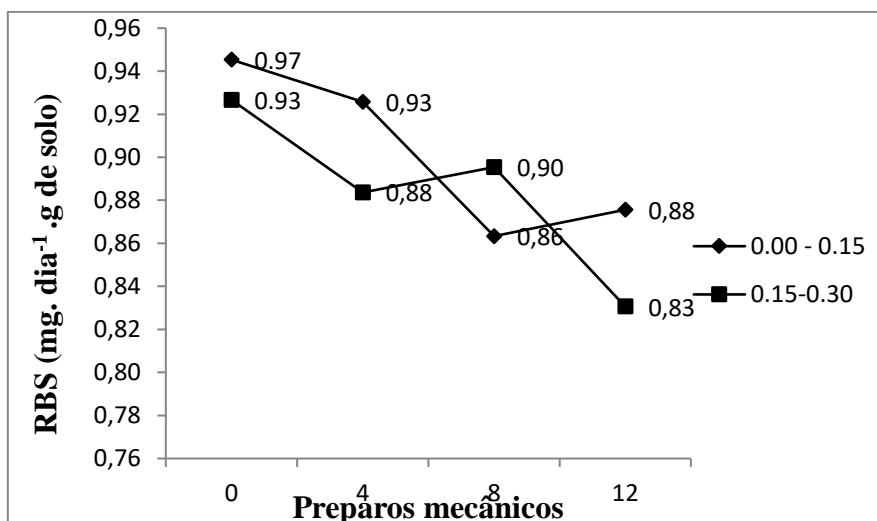


Figura 1- Respiração basal do solo em função da profundidade e do preparo mecânico.

A maior liberação de CO₂ expressa pela RBS foi encontrado na área sem preparo e isso pode ser em função da constante incorporação de resíduos, promovendo aumento da biomassa microbiana e da atividade biológica sobre esse material, resultando na liberação de CO₂ (KUZUYAKOV, 2010). A atividade microbiana do solo na área sem preparo também pode ser explicada, pela maior quantidade de biomassa microbiana nesses sistemas (Figura 2).

A maior atividade microbiana foi verificada nos primeiros tratamentos e nas camadas mais superficiais (0,00 - 0,15cm), porém, sem apresentar diferença estatística entre si. Resultados semelhantes foram encontrados nos trabalhos de Mendonza *et al.* (2000) e Pezarico *et al.* (2013) os maiores valores de atividade biológica também foram nas camadas superficiais. A maior atividade microbiana na camada superficial pode ser consequente da maior quantidade de resíduos orgânicos na camada superficial. Em todos os tratamentos avaliados os maiores valores foram encontrados nas camadas mais superficiais, sendo esses, decrescidos com a medida da profundidade e com o aumento da mecanização.

Pode-se perceber que a profundidade exerceu efeito em relação às médias dos tratamentos, pois, as maiores médias foram encontradas mais na superfície e que com o aumento do preparo mecânico as médias se igualaram.

Com relação aos tratamentos os resultados são parecidos, as médias foram superiores nos primeiros níveis de preparo e logo após houve um decréscimo das médias. Ou seja, os maiores valores de RBM foram encontrados na superfície do solo e nos dois primeiros tratamentos avaliados, indicando que tanto a profundidade quanto o manejo do solo influenciam na quantidade de CO₂ que será liberado.

Houve um aumento da RBM e um novo decrescimento do tratamento 8 para o 12 na camada mais superficial e do tratamento 04 para o oito na camada mais profunda, tal aumento dos valores de respiração basal após o preparo do solo está relacionado às perturbações que o solo e as populações microbianas sofrem (NASCIMENTO et al., 2009). Porém, segundo ISLAM & WEIL (2000), altas taxas de respiração podem indicar ou não algum tipo de distúrbio no solo; por esse motivo, a análise da respiração basal não deve ser feita isoladamente e, sim, em conjunto, por meio do quociente metabólico.

A biomassa microbiana do solo é influenciada pelo clima, pela aeração, pela disponibilidade de nutrientes minerais e pelo carbono orgânico do solo (SOUZA *et al.*, 2010). Nesse estudo a biomassa microbiana apresentou efeito praticamente contínuo e decrescente em relação as profundidades do solo avaliada (Figura 2), não havendo diferença estatística entre os tratamentos, apresentando comportamento praticamente linear e decrescente em relação as médias tanto dos tratamentos quanto das profundidades.

Os maiores valores de carbono da biomassa microbiana podem ser encontrados na superfície e em áreas pouco manejadas, com pouco revolvimento ou nenhum revolvimento e que essas características beneficia a manutenção desse carbono no solo.

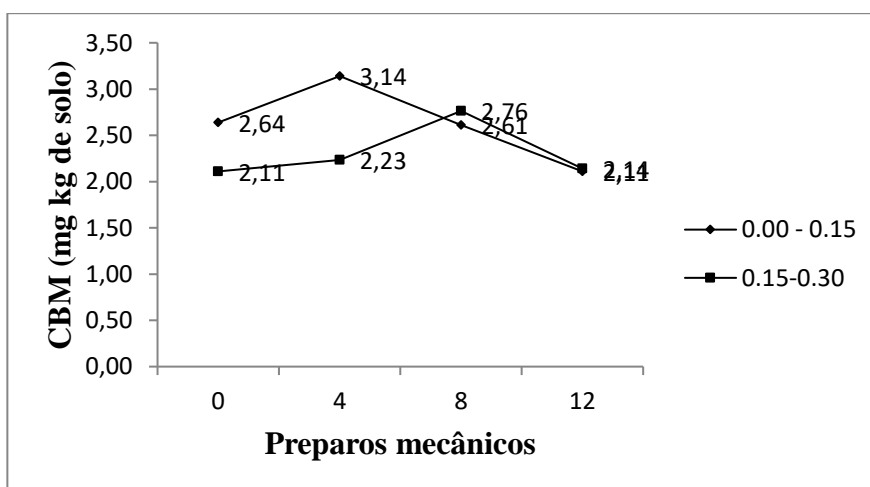


Figura 2- Carbono da Biomassa microbiana em função da profundidade e do preparo mecânico.

Esse resultado pode ser explicado pela quantidade de substrato que possivelmente estava presente nas camadas mais superiores e que sem o revolvimento do solo ficou preservada refletindo os maiores valores encontrados que foram de 2.64 e 3,14 mg kg de solo, para o tratamento sem nenhuma mecanização e 4 mecanizações respectivamente. Ao estudarem o efeito do tipo de manejo nos atributos do solo, LOURENTE et al. (2011) não encontraram diferença estatística nos valores de carbono da biomassa microbiana entre o sistema de preparo convencional e o plantio direto. Fato esse associado à coleta de amostras ser realizada no

primeiro ano do preparo convencional. Ao avaliar os atributos biológicos como indicadores das alterações sofridas no solo, NEVES et al. (2009) encontraram valores de CBM para o cerrado nativo da ordem de 1.49 mg kg, nas camadas superficiais. Embora o efeito da profundidade não tenha significância estatisticamente, há uma tendência de o valor do carbono da biomassa microbiana diminuir com o aumento da profundidade.

Kaschuk, Albenton e Hungria (2010) observaram que o teor de CBM varia de acordo com o ambiente e geralmente solos cultivados apresentam menores de que áreas com vegetação nativa.

Evangelista et al. (2013) justificaram maior CBM na área da mata nativa, devido ao não revolvimento do solo, no qual preserva a estrutura formada pelos agregados protegendo internamente os microrganismos do solo.

O carbono orgânico total (COT) é a principal fonte de N e serve para determinar a qualidade do solo. As propriedades físicas, químicas e biológicas do solo são estimadas pela fração orgânica, determinada pelo carbono orgânico total (COT). Em geral, a matéria orgânica do solo contém 58% de carbono (C). A degradação do solo influi diretamente no teor de N, pois o COT é a principal fonte deste nutriente. A adoção de práticas conservacionistas, rotação de culturas favorecem o aumento e a recuperação da matéria orgânica do solo, pois a diminuição do revolvimento do solo e os resíduos que cobrem a superfície do solo contribuem para isto.

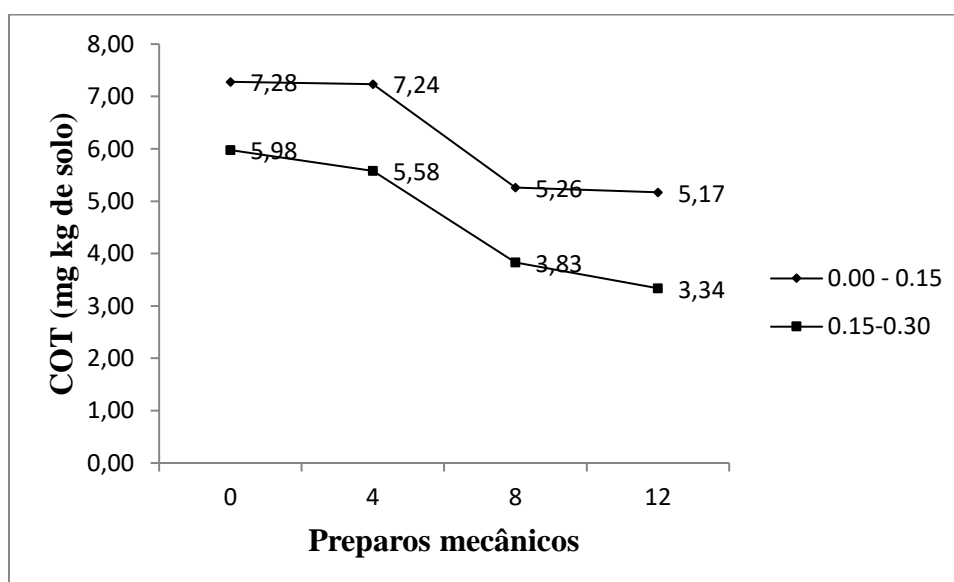


Figura 3- Carbono da Biomassa microbiana em função das profundidade e do preparo mecânico.

Nas áreas estudadas os maiores valores médios foram encontrados nos dois primeiros tratamentos, menos revolvidos ou sem nenhum revolvimento o que confirma o estudo

realizado por Lemainski et al que estudaram o estoque de COT e nitrogênio total sob diferentes sistemas de cultivo, em Maximiliano de Almeida/RS: plantio direto, plantio convencional, cultivo mínimo, pastagem nativa e mata nativa.

O revolvimento do solo acarretou em diminuição dos valores de COT no solo, quanto mais se intensificava o preparo menores eram os valores de COT presentes no solo.

Pode-se observar assim que o manejo do solo é muito importante para aumentar o diminuir o COT do solo e que o revolvimento constante do solo é um fator negativo. A matéria orgânica do solo é um grande reservatório de nitrogênio, o constante revolvimento e o mau manejo ocasionam uma queda deste depósito e aumentam as emissões de CO₂, causando impacto no meio ambiente pela liberação de gases de efeito estufa.

Em relação a profundidade, as maiores médias foram encontradas nas camadas mais superficiais de 0,00 – 0,15 cm, porem não apresentou diferença significativo, sendo o maior valor encontrado no tratamento sem mecanização com 7,28 mg kg de solo e o menor valor no tratamento em que o preparo foi mais intensificado, com 12 preparos, com valor de 5,17 mg kg de solo, na profundidade de 0,15 – 0,30 o maior valor observado foi de 5,98 mg kg de solo encontrado também no tratamento sem mecanização e 3,34 mg kg de solo no tratamento em que o preparo foi mais intensificado, com 12 preparos. Constatando assim, que o revolvimento do solo diminui a concentração de COT do solo (Figura 3). Dalto et al (2015), estudando o efeito de diferentes sistemas de manejo nos atributos biológicos do solo identificou que as maiores médias de COT foram encontradas no sistema de plantio direto seguido do preparo convencional e, finalmente, o cultivo mínimo

O quociente metabólico representa a quantidade de CO₂ liberado por unidade da biomassa microbiana e pode indicar comunidades microbianas em estágio inicial de desenvolvimento, alta atividade microbiana, ou ainda, populações microbianas sob algum tipo de estresse (ANDERSON e DOMSCH,1990).

As áreas estudadas apresentaram valores médios de qCO₂ bem próximos estatisticamente, não apresentando diferença significativa entre si. O qCO₂ não conseguiu expressar o efeito dos diferentes tipos de manejo no solo, mas demonstrou que os maiores valores foram encontrados nos tratamentos em que o revolvimento foi nulo ou realizado o mínimo possível, e mostrou também uma grande alteração, com um aumento subto do valor para o último tratamento e mais mecanizado, indicando assim uma perturbação ou estresse na comunidade microbiana presente ali, mostrando assim que normalmente, o revolvimento do

solo pode realmente causar perturbação na comunidade microbiana do solo e conseqüentemente no valor da quantidade de CO₂ liberado por unidade da biomassa microbiana (Figura 4)

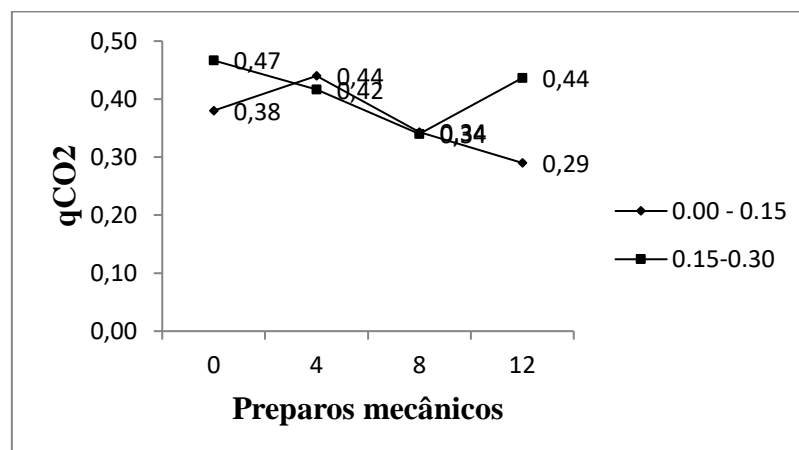


Figura 4 – Quociente metabólico em função das profundidade e do preparo mecânico.

Normalmente, o aumento do quociente metabólico pode indicar uma situação de estresse aos microrganismos do solo, onde há uma redução da biomassa em detrimento da atividade (ANDERSON; DOMSCH, 2010), o que foi verificado nesse caso na área mais revolvida para a profundidade de 0,15-0,30. Apesar de não ter apresentado maior valor de CBM a grande atividade respiratória, pode explicar esse aumento do qCO₂. Partelli *et al.* (2012) valores maiores de quociente metabólico indicam que os microrganismos do solo em condições de estresse consomem mais carbono oxidável para a sua manutenção

Quando a biomassa microbiana se torna mais eficiente na utilização de recursos do ecossistema, menos CO₂ é perdido pela respiração e maior proporção de C é incorporada aos tecidos microbianos, o que resulta em diminuição de qCO₂ (SILVA *et al.*, 2007). Outra explicação para qCO₂ alto é dado por Chaer e Totóla (2007), onde segundo eles solos com alto qCO₂ são dominados por organismos colonizadores de rápido crescimento.

Segundo esses autores, uma área com menor COT e maior qCO₂ mostra que apesar da limitação de alimentos, os microrganismos consomem mais energia para a sua manutenção.

A realização de manejos que envolvem frequentes movimentações do solo acelera os processos que levam ao empobrecimento da matéria orgânica, principalmente devido a uma maior exposição de resíduos ao ataque de decompositores, intensificando a mineralização, o que pode acarretar em consideráveis perda de nutrientes (TOYOTA *et al.*, 2013).

O carbono microbiano (qMIC) representa o quanto de carbono orgânico do solo está imobilizado na biomassa microbiana.

Mudanças no qMIC refletem o padrão de entrada da matéria orgânica no solo e indicam se o carbono está em equilíbrio, ou se está sendo acumulado ou reduzido (ANDERSON e DOMSCH, 1990). A capacidade de utilização é menor, o que diminui o qMIC, principalmente em situações em que a biomassa microbiana encontra-se sob algum fator de estresse como deficiência de nutrientes, acidez, deficiência hídrica (WARDLE, 1994).

O maior valor do quociente microbiano foi encontrado para a área sem mecanização (Figura 5) o que pode estar relacionado com a quantidade e qualidade da matéria orgânica da área, pois por ser uma área sem intervenção antrópica, pode ocorrer estoque de matéria orgânica, visto que a adição supera a retirada e com o aumento da biomassa microbiana nessa área, o qMIC tende a aumentar.

O menor valor qMIC ou menor quantidade de carbono incorporado na biomassa na área da queima, pode ser explicado pela alta atividade microbiana (Figura 1). A quantidade do CO₂ emitido está relacionada à capacidade de degradação da matéria orgânica pela microbiota heterotrófica (EPRON *et al.*, 2006), assim pouco carbono está sendo incorporado na biomassa.

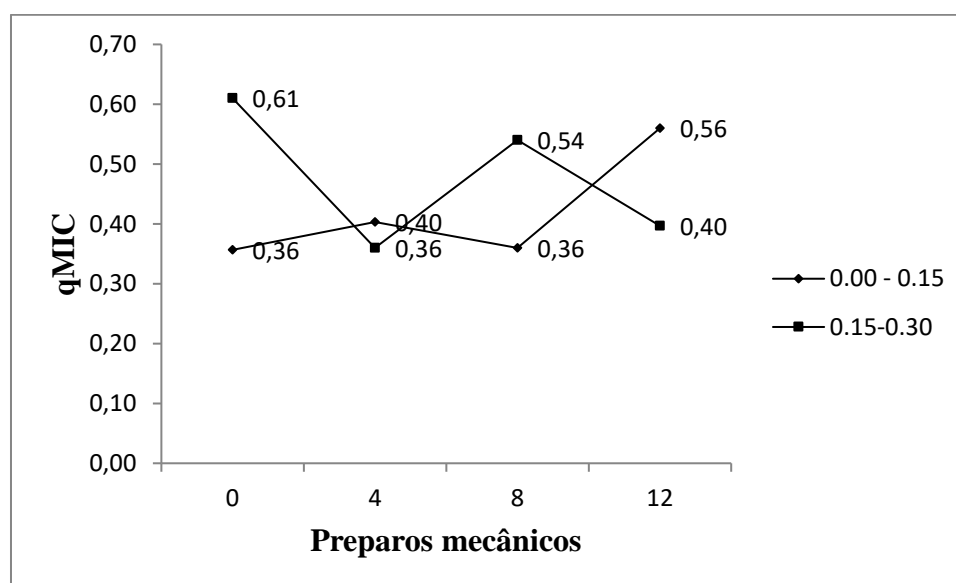


Figura 5- Quociente microbiano em função das profundidade e do preparo mecânico.

Em locais sob condições favoráveis, há tendência de aumento da biomassa microbiana, e em consequência o qMIC tende a aumentar.

Os valores de qMIC encontrados são inferiores a 1% em todos os sistemas estudados. De acordo com Jeckinson e Ladd (1981), em condições naturais, os valores de qMIC variam de 1 a 4 %. As profundidades apresentaram diferença significativa quanto ao qMIC (Figura 5), com valores oscilando na superfície e profundidade, conforme encontrado no trabalho de Silva *et al.* (2010). Neary *et al.* (1999) enfatizaram que os efeitos sobre os microrganismos

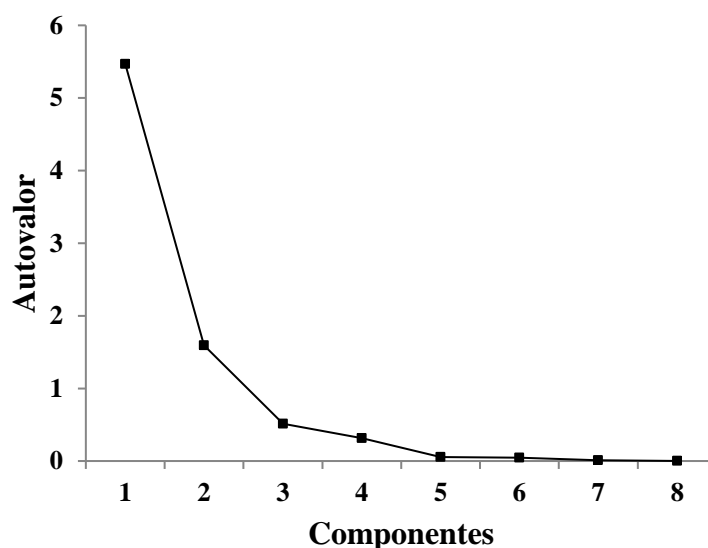
são maiores em horizontes orgânicos e camadas superficiais do solo, em virtude das populações de microrganismos serem mais abundantes nessas camadas.

4.2 Análise multivariada

A Análise fatorial completa dos valores extraídos pelo gráfico *scree plot*, considerando como significantes apenas os autovalores maiores que 1, permitiu identificar dois componentes, tanto para a profundidade de 0,0 – 0,15 m quanto para a profundidade de 0,15 – 0,30.

Observa-se pelo método *scree plot* para a profundidade de 0,00 - 0,15 m que os dois primeiros fatores apresentaram os maiores autovalores, sendo o primeiro componente principal (CP1) responsável por 5,333 e o segundo componente principal (CP2) responsável por 2,922 da variância explicada entre as amostras dos tratamentos de preparo mecânico. Portanto as duas primeiras componentes foram as que apresentaram valores próprios superiores a 1, por conseguinte também, responsáveis por uma maior variância explicada (Figura 6)

Figura 6: Resultado da análise dos atributos físico e químicos do solo para a profundidade de 0,00-0,15 m pelo método *scree plot*



A análise preliminar dos componentes principais foi realizada com todos os atributos físicos e químicos do solo. As ponderações de cada atributo do solo que constitui a combinação linear foi melhor visualizada e confirmada quando se utilizou a rotação Varimax com Normalização de Kaiser e rotação convergida em três interações. No entanto, dentre os

atributos do solo analisados na profundidade de 0,00 - 0,15 m, apenas os atributos físicos PT (0,981) Ma (0,987) e UVPAPT (-0,975) e químicos V (0,912), HAL (-0,935), SCa (0,960), Ca (0,944), pH (0,798) e SB (0,912) atenderam ao pressuposto de ortogonalidade entre os componentes de modo que a CP1 explicou 59,26% dos dados e compõe os atributos químicos do solo e a CP2, composta pelos atributos físicos, explicou 32,46% dos dados com um total de 91,72% para as duas CPs (Tabela 11).

Tabela 11: Matriz de correlação dos componentes principais rotacionados dos atributos físicos e químicos do solo solo, autovalor e percentagem de variação nas CPs dos tratamentos de preparo mecânico na profundidade de 0,00-0,15 m.

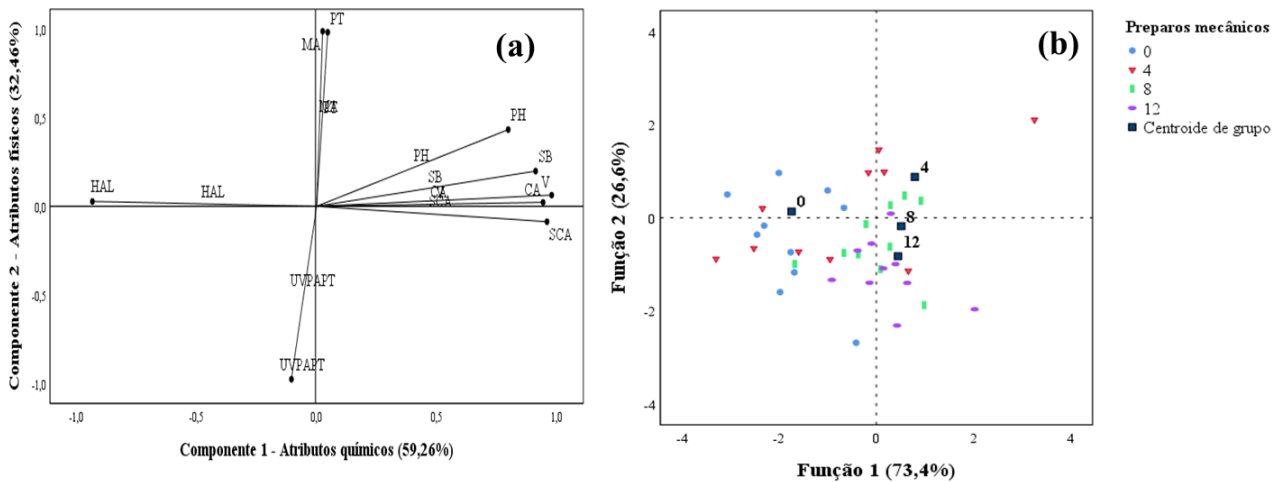
Variáveis	Componentes	
	CP1	CP2
Saturação por bases (V)	0,979	0,063
Acidez potencial (HAL)	-0,935	0,028
Saturação por Cálcio (SCA)	0,960	-0,087
Cálcio (CA)	0,944	0,022
pH	0,798	0,433
Soma de Bases (SB)	0,912	0,199
*Umidade na capacidade de campo (UVPAPT)	-0,105	-0,975
Macroporosidade (MA)	0,025	0,987
Porosidade total (PT)	0,046	0,981
Autovalor	5,333	2,922
Variância explicada (%)	59,26	32,46
Varição Total (%)	91,72	

*Umidade na tensão de 0,33 MPa

Na CP1 os atributos químicos V, SCA, CA, pH e SB são inversamente proporcionais a HAL, evidenciando dessa forma como a acidez do solo pode influenciar de forma negativa a disponibilidade de nutrientes do mesmo (citação ou retirar depois q Albany olhar). Na CP2 verifica-se que Ma e PT são inversamente proporcionais a UVPAPT, indicando que quanto maior é a macroporosidade do solo, menor a umidade do mesmo, ou seja, sua capacidade de reter a água (figura 7)

Figura 7: Autovalores e autovetores da configuração (a) e diagrama de ordenação de

distribuição (b) dos atributos do solo avaliados na profundidade de 0,00-0,15 m em quatro tratamentos de preparo mecânico

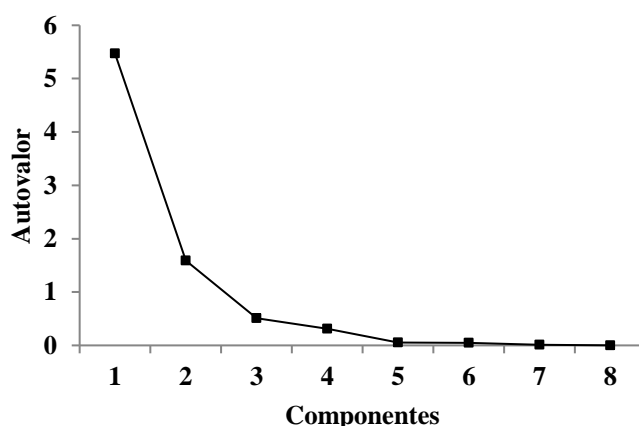


A sobreposição da Figura 2a na Figura 2b, observa-se que no tratamento sem preparo registrou posição singular dado a distância e ocupação em um quadrante oposto aos outros tratamentos. Em sua localização registra-se os menores teores de Ma e PT e maior de UVPAPT, considerando sua formação de ângulos distantes ou próximos no seu eixo, respectivamente.

Foram observados também, os maiores índices de V, SCA, CA e UVPAPT neste tratamento. Enquanto que as amostras de solo nos demais tratamentos, 4 8 e 12 preparos mecânicos, observaram-se que o pH e os teores de V, SCA, CA, SB, PT e Ma reduziram, enquanto que HAL elevou progressivamente com de 4 para 12 preparos mecânicos (Figura 2). Tais interpretações refletem o posicionamento desses tratamentos, conforme as diferenças de posicionamento e magnitude dos scores nos centróides.

O método *scree plot* para a profundidade de 0,15 - 0,30 m revelam que os dois primeiros fatores apresentaram os maiores autovalores, sendo o primeiro componente principal (CP1) responsável por 5,468 e o segundo componente principal (CP2) responsável por 1,592 da variância explicada entre as amostras dos tratamentos de preparo mecânico (Figura 8).

Figura 8: Resultado da análise dos atributos físico e químicos do solo para a profundidade de 0,15-0,30 m pelo método *scree plot*



De acordo com a análise de componentes principais, dentre os atributos do solo analisados na profundidade de 0,15 - 0,30m os atributos físicos PT (-0,962) e UVPAPT (0,971), sendo estes inversamente proporcionais, e químicos V (0,912), pH (0,890), SCa (0,902), Ca (0,937) e HAL (-0,935), sendo os quatro primeiros inversamente proporcional a este último, atenderam ao pressuposto de ortogonalidade entre os componentes de modo que a CP1 explicou 68,35% dos dados e compõe os atributos químicos do solo e a CP2, composta pelos atributos físicos, explicou 19,90% dos dados com um total de 88,25% para as duas CPs (Tabela 12).

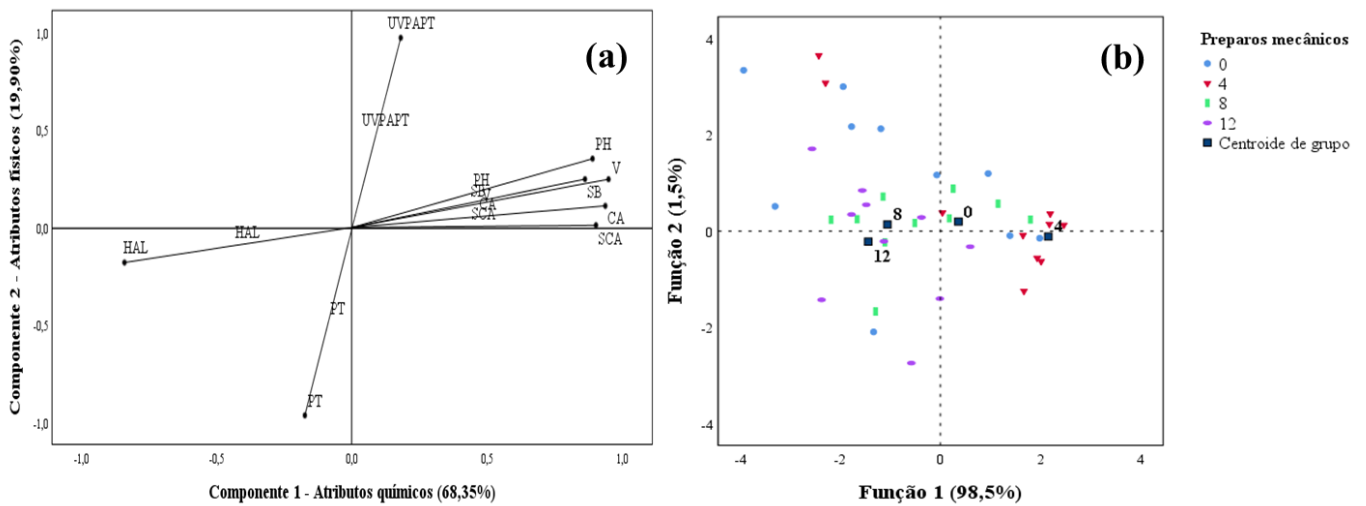
Tabela 12: Matriz de correlação dos componentes principais rotacionados dos atributos físicos e químicos do solo solo, autovalor e percentagem de variação nas CPs dos tratamentos de preparo mecânico na profundidade de 0,15-0,30 m.

Variáveis	Componentes	
	CP1	CP2
Saturação por bases (V)	0,946	0,247
pH	0,890	0,352
Cálcio (CA)	0,937	0,111
Saturação por Cálcio (SCA)	0,902	0,011
Acidez potencial (HAL)	-0,843	-0,179
Soma de Bases (SB)	0,862	0,247
*Umidade na capacidade de campo (UVPAPT)	0,180	0,971
Porosidade Total (PT)	-0,175	-0,962
Autovalor	5,468	1,592
Variância explicada (%)	68,35	19,90
Variância Total (%)	88,25	

*Umidade na tensão de 0,33 MPa

De acordo com a Figura 4 observou-se que os teores de V, pH, Ca, SCA, SB e UVPAPT seus menores valores e HAL seu maiores valores quando não foi aplicado o preparo mecânico. Tais atributos tiveram comportamento inverso com 4 preparos mecânicos e a partir deste assumiu o comportamento anterior (sem preparo). De modo geral nos tratamentos de 0 e 4 os preparos mecânicos o efeito dos componentes químicos V, Ca V, pH Ca, SCA, SB foi maior, enquanto que em 8 e 12 o efeito de HAL foi mais acentuado.

Figura 9: Autovalores e autovetores da configuração (a) e diagrama de ordenação de distribuição (b) dos atributos do solo avaliados na profundidade de 0,15-0,30 m em quatro tratamentos de preparo mecânico



Em relação a profundidade, interpreta-se pelos resultados que a UVAPT apresentou seus menores valores na profundidade de 0,0 – 0,15 m e os atributos PT e Ma foram maiores de 0,15 m – 0,30 m.

5 CONCLUSÕES

Conclui-se que o manejo intensivo do solo com a aração e gradagem modificou tanto os atributos físicos, químicos e biológicos do solo.

As medias dos atributos mais sensíveis aos efeitos do manejo intensivo foram os atributos químico, biológicos e físicos respectivamente.

De acordo com a análise multivariada foi possível identificar as variáveis mais representativas, sendo elas saturação por base (V%), pH, calcio (Ca), saturação por cálcio (SCa), soma de bases (SB), acidez potencial (H + Al), porosidade total (PT) e umidade volumétrica na capacidade de campo (UVPAPT).

Que o processo de revolvimento do solo diminuiu a qualidade física, química e biológica do solo.

6 REFERÊNCIAS

- Araújo, F.S; Salviano, A.A.C; Leite, L.F.C; Souza, Z.M; Sousa, A.C.M. Physical quality of a yellow Latossol under integrated crop-livestock system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2010; 34:717-723.
- Giarola, N.F.B; Tormena, C.A; Dutra, A.C. Degradação física de um Latossolo Vermelho utilizado para produção intensiva de forragem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2007; 31:863-873.
- Mota, J.C.A; Freire, A.G; Assis Júnior, R.N. Qualidade física de um Cambissolo sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2013; 37:1196-1206.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2 ed. Campinas: Instituto Agrônômico, 1997. 285 p. (Boletim técnico, 100).
- SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Efeito de pastagens de inverno e de verão em características físicas de solo sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 4, p. 1193-1200, 2006.
- RICHARDS, L.A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: United States Department of Agriculture, 1954. 160p. (Agriculture Handbook, 60).
- OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E.; MARCIANO, C. R.; ROSSETTO, R. Efeitos de aplicações sucessivas de lodo de esgoto em um Latossolo Amarelo distrófico cultivado com cana-de-açúcar: carbono orgânico, condutividade elétrica, pH e CTC. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, 26(2), 2002.
- CUNHA, E. D. Q.; STONE, L. F.; FERREIRA, E. P. D. B.; DIDONET, A. D.; MOREIRA, J. A. A. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo sob produção orgânica impactados por sistema de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.56-63, 2012.
- ORLANDO FILHO, J.; BITTENCOURT, V. C.; CARMELLO, Q. A. C.; BEAUCLAIR, E. G. F. Relações K, Ca e Mg de solo areia quartzosa e produtividade da cana-de-açúcar. **STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v. 14, n. 5, p. 13-17, 1996.
- LANE, P.N.J.; NOSKE, P.J.; SHERIDAN, G.J. Phosphorus enrichment from point to catchment scale following fire in eucalypt forests. **Catena**, v. 87, p. 157–162, 2011.

LOPES, M.M.; SALVIANO, A.A.C.; ARAÚJO, A.S.F.; NUNES, L.A.P.L.; OLIVEIRA, M.E. Changes in soil microbial biomass and activity in different Brazilian pastures. **Spanish Journal of Agricultural Research**, 8:1253-9, 2010.

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

NUNES, L.A.P.L.; ARAÚJO FILHO, J.A.; JÚNIOR, E.V.H; MENEZES, R.Y.Q. Impacto da queimada e de enleiramento de resíduos orgânicos em atributos microbiológicos de solo sob caatinga no semiárido nordestino. **Revista Caatinga**, v.22, n.1, jan/mar, 2009.

KUZYAKOV, Y. Priming effects: Interactions between living and dead organic matter. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 42, n. 9, p. 1363-1371, 2010.

MENDONZA, H. N. S.; LIMA, E.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, L. A.; CEDDIA, M. B.; ANTUNES, M. V. M. Propriedades químicas e biológicas de solo de tabuleiro cultivado com cana-de-açúcar com e sem queima da palhada. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 201-207, Mar. 2000.

PEZARICO, C.R.; VITORINO, A.C.T.; MERCANTE, F.B.; DANIEL, O. Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. **Revista ciências agrárias**, v.56, n.1, p.40-47, jan/mar, 2013.

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

KASCHUK, G.; ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: Lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 20, p. 1-13, 2010.

EVANGELISTA, C. R.; PARTELLI, F. L.; FERREIRA, E. P. B.; PIRES, F. R. Atributos microbiológicos do solo na cultura de cana-de-açúcar sob manejo orgânico e convencional. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 4, p. 1549-1562, 2013.

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

ANDERSON, Traute-Heidi; DOMSCH, Klaus H. Soil microbial biomass: The eco-

physiological approach. **Soil biology and biochemistry**, 42(2010), 2039-2043.

PARTELLI, F. L.; VIEIRA, H. D.; FERREIRA, E. P. B.; VIANA, A. P.; MARTINS, M. A.; URQUIAGA, S. Chemical and microbiological soil characteristics under conventional and organic coffee production systems. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 43, n. 2, p. 847-864, 2012.

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.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, p. 275-357.

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, p. 1381-1396, 2007.

TOYOTA, A. HYNST, J.; CAJTHAML, T.; FROUZ, J. Soil fauna increase nitrogen loss in tilled soil with legume but reduce nitrogen loss in non-tilled soil without legume. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 60, p. 105- 112, 2013.

ANDERSON, T. H., DOMSCH, K. H. Application of eco-physiological quotients (q_{CO_2} and q_D) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 22, p. 251-255, 1990.

WARDLE, D.A. Metodologia para quantificação de biomassa microbiana do solo. In: HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R.S. (Eds.). **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Brasília, EMBRAPA, 1994, P. 419-436.

SILVA, R. R.; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; MOREIRA, F. M. 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**, v. 34, p. 1585-1592, 2010.

NEARY, G.D.; KLOPATEK, C.C.; DEBANO, L.F. & FFOLLIOTT, P.F. Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis. **For. Ecol. Manag.**, 122:51-71, 1999.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p.857-867, 2002.

WARRICK, A.W; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). **Applications of soil physics**. New York: Academic Press,1980. p.319-344.

FERREIRA, M. M. Caracterização física do solo. *In: LIER, Q. J. Física do Solo*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. 298 p.

BRAIDA, J. A. et al. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio de proctor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 4, p. 605-614, 2006.

MESQUITA, M.G.B.F.; MORAES, S.O. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. **Ciência Rural**, v.34, p.963-969, 2004.

ROMANECKAS, K. et al. The effect of conservation primary and zero tillage on soil bulk density, water content, sugar beet growth and weed infestation. **Agronomy Research**, v.7 , p. 73–86, 2009.

SZOTT, L. T.; FERNANDES, E. C. M.; SANCHEZ, P. A. Soil-plant interactions in agroforestry systems. **Forest, Ecology and Management**, v. 45, n. 1-4, p. 127-152, 1991.

PEI, S.; FU, H.; WAN, C. Changes in soil properties and vegetation following exclosure and grazing in degraded Alxa desert steppe of Inner Mongolia, China. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 124, p.33-39, 2008.

HORN, R.; DOMZAL, H.; OUWERKERK, C.V. Soil compaction processes and their effects on the structure of arable soil and the environment. **Soil and Tillage Research**, v.35, p.23-36, 1995.

REINERT, D. J., REICHERT, J. M.; SILVA, V. R. **Propriedades** físicas de solos em sistema de plantio direto irrigado. *In: CARLESSO, R. et al. (Eds). Irrigação por aspersão no Rio Grande do Sul*. Santa Maria, RS: Palloti, 2001. p.114-133.

BRADY, N.C.; WEIL, R.R. **The nature and properties of Soils**. 14th ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson-Prentice Hall, 2008.

GRABLE, A.R.; SIEMER, E.G. Effects of bulk density, aggregate size, and soil water suction on oxygen diffusion, redox potentials and elongation of corn roots. **Soil Science Society of America Journal**, v.32, p.180-186, 1968.

COOPER, M.; VIDAL-TORRADO, P. Caracterização morfológica, micromorfológica e físico-hídrica de solos com horizonte B nítico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.581-595, 2005.

DUNN, G.H.; PHILLIPS, R.E. Macroporosity of a well-drained soil under no-till and

conventional tillage. **Soil Science Society of American Journal**, v. 55, p. 817-823, 1991.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: relação solo-planta**. Piracicaba:Ceres, 1979. 262p.

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Efeito de pastagens de inverno e de verão em características físicas de solo sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 4, p. 1193-1200, 2006.

MOREIRA, J. A. A.; OLIVEIRA, I. P.; GUIMARÃES, C. B.; STONE, L. F. Atributos químicos e físicos de um latossolo vermelho distrófico sob pastagens recuperada e degradada. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 35, n. 3, p. 155-161. 2005.

SOARES, S. R. F. **Atributos físicos e químicos do solo sob formas de cultivo no assentamento milagre**, APODI/RN. 2013.

PEREIRA, J. R. e SIQUEIRA, F. B. Alterações nas características químicas de um oxissolo sob irrigação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 14, nº 2, p. 189-195, 1979.

CAIRES, E. F. Manejo da acidez do solo. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**. Piracicaba-SP: IPNI, 2010, p. 276- 347

MELO DE CASTRO, Orlando et al. Atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho eutroférico sob diferentes sistemas de preparo. **Bragantia**, v. 68, n. 4, 2009.

SANTOS, H.P.; TOMM; G.O. Disponibilidade de nutrientes e teor de matéria orgânica em função de sistemas de cultivo e de manejo de solo. **Ciência Rural**, v.33, p.477-486, 2003.

PINHEIRO, L. E. R.; MARTINS, F.; TOKURA, A. M.,; FERREIRA, G. C.; SOARES G, A.; MIRANDA, N. C. Atributos Microbiológicos, Químicos E Físicos De Solo Sob Diferentes Sistemas De Manejo E Condições De Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 20 – 28, 2011.

NEVES, C. M. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; MACEDO, R. L. G.; MOREIRA, F. M. D. S.; D'ANDRÉA, A. F. Indicadores biológicos da qualidade do solo em sistema agrossilvopastoril no nordeste do estado de minas gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 1, p. 105-112, 2009.

DADALTO, JULIANA P. et al. Sistema de preparo do solo e sua influência na atividade microbiana. **Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering**, v. 35, n. 3, p. 506-513, 2015.

ARATANI, R. G; FREDDI, O.S; CENTURION, J. F; ANDRIOLI, I. Qualidade física de um

Latossolo Vermelho Acriférrico sob diferentes sistemas de uso e manejo. R. Bras. Ci. Solo, 2009; 33:677-687.

ARAÚJO, F. S; SALVIANO, A. A. C; LEITE, L. F. C; SOUZA, Z.M; SOUSA, A. C. M. Physical quality of a yellow latossol under integrated crop-livestock system. R. Bras. Ci. Solo, 2010; 34:717-723.

BERTOL, I; BEUTLER, J.F; LEITE, D; BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. Sci. Agric., 2001; 58:555-560.

BERTOL, I; COGO, N. P; LEVIEN, R. Erosão hídrica em diferentes preparos do solo logo após a colheita de milho e trigo, na presença e ausência de resíduos culturais. R. Bras. Ci. Solo, 1997; 21:409-418.

BERTOL, I; SCHICK, J; MASSARIOL, J. M; REIS, E. F; DILLY, L. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico álico afetadas pelo manejo do solo. Ci. Rural, 2000; 30:91-95.

BRAUNACK, M. V; DEXTER, A. R. Soil aggregation in the seedbed: a review. I - Properties of aggregates and beds of aggregates. Soil Tillage Res., 1989; 14:259-279.

CARVALHO, E; GURGEL, G. A sustentabilidade da cultura do inhame no Recôncavo da Bahia: realidade e perspectivas. Bahia Agrícola, 2014;9:42-47.

CUNHA, E. Q; STONE, L. F; FERREIRA, E. P. B; DIDONET, A. D; MOREIRA, J. A. A; LEANDRO, W. M. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. II – Atributos biológicos do solo. R. Bras. Ci. Solo, 2011;35:603-611.

DAILY, G. C. Restoring value to the world's degraded lands. Science. 1995; 269:350-354.

DIAMINI, P; CHIVENGE, P; MANSON, A; CHAPLOT, V. Land degradation impact on soil organic and nitrogen stocks of sub-tropical humid grasslands in South Africa. Geoderma, 2014; 235–236:372–381.

DONG, S. K; WEN, L. Soil-quality effects of land degradation and restoration on the Qinghai–Tibetan plateau. Soil Sci. Soc. Am. J., 2012; 76:2256–2264.

FERREIRA, R. M; TAVARES FILHO, J; FERREIRA, V. M. Efeitos de sistemas de manejo de pastagens nas propriedades físicas do solo. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, 2010; 31:913-932.

GIAROLA, N. F. B; TORMENA, C. A; DUTRA, A. C. Degradação física de um Latossolo Vermelho utilizado para produção intensiva de forragem. R. Bras. Ci. Solo, 2007; 31:863-873.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Produção Agrícola Municipal. 2012.

LAL, R. Restoring soil quality to mitigate soil degradation. *Sustainability*, 2015; 7:5875-5895.

LAL, R. Soil degradation as a reason for inadequate human nutrition. *Food Sec.* 2009; 1:45–57.

LISBOA, B. B; VARGAS, L. K; SILVEIRA, A. O; MARTINS, A. F; SELBACH, P. A. Indicadores microbianos de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 2012; 36:45-55.

LLANILLO, R. F; RICHART, A; TAVARES FILHO, J; GUIMARÃES, M. F; FERREIRA, R. R. M. Evolução de propriedades físicas do solo em função dos sistemas de manejo em culturas anuais. *Semina: Ciências Agrárias*, 2006; 27:205-220.

MOTA, J. C. A; FREIRE, A. G; ASSIS JÚNIOR, R. N. Qualidade física de um Cambissolo sob sistemas de manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 2013; 37:1196-1206.

PORTELLA, C. M. R; GUIMARÃES, M. F; FELLER, C; FONSECA, I. C. B; TAVARES FILHO, J. Agregação de solo com diferentes manejos. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, 2012; 36:1868-1877.

REICHERT, J. M; SUZUKI, L. E. A. S; REINERT, D. J; HORN, R; HÄKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. *Soil & Tillage Res.*, 2009; 102:242-254.

TAVARES FILHO, J; TESSIER, D. Effects of different management systems on porosity of oxisols in Paraná, Brazil. *R. Bras. Ci. Solo*, 2010; 34:889-906.

TRAORÉ, S; OUATTARA, K; ILSTEDT, U; SCHMIDT, M; THIOMBIANO, A; MALMER, A; NYBERG, G. Effect of land degradation on carbon and nitrogen pools in two soil types of a semi-arid landscape in West Africa. *Geoderma*, 2015; 241-242:330-338.

BLANCO H E LAL R. Soil resilience and conservation. In: Blanco H e Lal R., (eds.) *Principles of soil conservation and management*. Columbus, Springer Science Business Media B.V., 2010. p.15-33.

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

DORAN, J.W. & PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W. & COEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F & STEWART, B.A., eds. Defining soil quality for sustainable environment. **Madison, Soil Science Society of America**, 1994. p.3-21.

KARLEN, D.L.; MAUSBACH, M.J.; DORAN, J.W.; CLINE, R.G.; HARRIS, R.F.; SCHUMAN, G.E. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.61, n.1, p.4-10, 1997.

GREGORICH, E.G.; CARTER, M.R.; ANGERS, D.A.; MONREAL, C.M. & ELLERT, B.H. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. **Can. J. Soil Sci.**, 74:367-385, 1994.

NORFLEET, M.L.; DITZLER, C.A.; PUCKETT, W.E.; GROSSMAN, R.B.; SHAW, J.N. Soil quality and its relationship to pedology. **Soil Science**, v.168, n. 3, p. 149-155, 2003.

DORAN, J.W. Soil quality and sustainability. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26, 1997, Rio de Janeiro. **Palestras...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. 1 CD-ROM.

ISLAM, K. R.; WEIL, R.R. Soil Quality indicators proprieties in Mid-Atlantic soils as influenced by conservation management. **Journal of Soil and Water Conservation**. V55, p 79-78, jan/mar. 2002.

VIEIRA, M.J. & MUZILLI, O. Características físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira.**, 19:873-882, 1984

CORRÊA, J.C. Efeito de métodos de cultivo em algumas propriedades físicas de um Latossolo Amarelo muito argiloso do estado do Amazonas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 20:1317-1322, 1985.

URCHEI, M.A. **Efeitos do plantio direto e do preparo convencional sobre alguns atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Escuro argiloso e no crescimento e produtividade do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) sob irrigação.** Botucatu, Universidade Estadual de São Paulo, 1996. 150p. (Tese de Doutorado).

SMITTLE, D.A. & THREADGILL, E.D. **Response of southernpea (*Vigna unguiculata* L.) to tillage methods.** Hortscience, 12:556-558, 1977.

HENKLAIN, J.C.; GUIMARÃES, M.F.; VIEIRA, M.J. & MEDINA, C.C. **Efeito do preparo do solo no desenvolvimento radicular.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTIO DIRETO PARA UMA AGRICULTURA SUSTENTÁVEL, 1., Ponta Grossa, 1996. Resumos

expandidos. Ponta Grossa, Instituto Agronômico do Paraná, 1996. p.103-105

MUZILLI. Manejo da matéria orgânica no sistema plantio direto: a experiência no Estado do Paraná. Piracicaba: Potafos, 2002. (informações agronômicas).

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

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