

**Rossanna Barbosa Pragana**

**CARACTERIZAÇÃO PEDOLÓGICA E DIAGNÓSTICO DA QUALIDADE DE  
SOLOS SOB PLANTIO DIRETO NA SERRA DO QUILOMBO, SUDOESTE  
PIAUIENSE**

Recife

2011

**Rossanna Barbosa Pragana**

**CARACTERIZAÇÃO PEDOLÓGICA E DIAGNÓSTICO DA QUALIDADE DE  
SOLOS SOB PLANTIO DIRETO NA SERRA DO QUILOMBO, SUDOESTE  
PIAUIENSE**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciência do Solo.

Recife

2011

Ficha catalográfica

P897r Pragana, Rossanna Barbosa  
Caracterização pedológica e diagnóstico da qualidade de  
solos sob plantio direto na Serra do Quilombo, sudoeste  
piauiense /  
Rossanna Barbosa Pragana. -- 2011.  
158 f.: il.

Orientador: Mateus Rosas Ribeiro.  
Tese (Doutorado em Ciências do Solo) – Universidade  
Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Agronomia,  
Recife, 2011.

Inclui referências e anexo.

1. Latossolos 2. Cerrado 3. Solo – Manejo 4. Solo –  
Atributos 5. Atividade biológica 6. Matéria orgânica I. Ribeiro,  
Mateus Rosas, orientador II. Título

CDD 631.4

**Rossanna Barbosa Pragana**

**CARACTERIZAÇÃO PEDOLÓGICA E DIAGNÓSTICO DA QUALIDADE DE SOLOS SOB PLANTIO DIRETO NA SERRA DO QUILOMBO, SUDOESTE PIAUIENSE**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciência do Solo.

Aprovada em: 26 de agosto de 2011

---

Izabel Cristina de Luna Galindo, D. Sc  
Examinador

---

José Coelho de Araújo Filho, D. Sc  
Examinador

---

Júlio Cesar Azevedo Nóbrega, D. Sc  
Examinador

---

Valdomiro Severino de S. Júnior, D. Sc  
Examinador

---

Mateus Rosas Ribeiro, PhD.

Orientador

Às vezes nem nos damos conta, mas palavras, olhares, gestos...  
são ferramentas imprescindíveis para o alcance de  
grandes conquistas. **DEDICO** este trabalho a Marcos, meu  
esposo, e aos meus filhos Marquinho e Stelinha, pois  
foram suas palavras, olhares e gestos ao longo dos anos  
que me ajudaram a conseguir esta conquista.

## AGRADECIMENTO

Uma tese é um trabalho de equipe, em que uma inumerável quantidade de pessoas colabora direta e indiretamente para sua conclusão. Cheguei ao ponto dos agradecimentos na tese porque recebi muito apoio ao longo dessa caminhada, e eu começo agradecendo ao meu orientador prof. Mateus Rosas Ribeiro, ao meu co-orientador prof. Mateus Filho e a José Fernando (Zeca). Eles viajaram 2.800 km para tornar essa tese possível, e estiveram comigo na hora da identificação e coleta dos solos, tarefa árdua e difícil.

Ao longo do caminho encontrei meus anjos da guarda os professores Júlio Nóbrega e Rafaela Nóbrega que estiveram ao meu lado orientando e apoiando material e emocionalmente, a eles sou eternamente grata.

Agradeço ao senhor Zaire Maggioni, proprietário da fazenda São Marcos na serra do Quilombo, onde a pesquisa foi realizada, pelo apoio logístico.

Agradeço imensamente aos meus queridos alunos Jordânia, Regiana, Carmem e Ferreirinha que estiveram ao meu lado fazendo análises até nos feriados. Assim como, Ademar, Silas e Weverton que contribuíram com as análises. Agradeço também aos amigos Larissa, Cardoso, Liliane, Nonato e Doze que me apoiaram e colaboraram com o andamento da pesquisa em Bom Jesus, e a Maria e Leila no Recife pela amizade. E não podia deixar de agradecer a Juliana, que foi meu anjo da guarda no Recife, pelo apoio e trabalho dedicado a esta pesquisa.

Recebi apoio dos professores da UFPI Francisco Filho, Francisco Neto e Milton Fernandes, que foram importantes no curso da pesquisa, além do apoio de Amanda e Helton no laboratório, de Adriana Mancin e Luciana Machado, colegas de sala, que me deram apoio emocional, e da Minha querida Grácia Pinheiro (minha eterna irmã) e sua família que estiveram ao meu lado nos momentos mais difíceis. A eles agradeço eternamente, pois sem eles eu não teria conseguido.

Também agradeço aos professores da UFRPE Brivaldo Almeida pelo seu apoio e orientação no laboratório de física, a Betânia Freire e Clístenes do Nascimento no apoio com as análises e a Valdomiro de Souza Junior por suas

sugestões enriquecedoras para a tese, pelo apoio no andamento de análises no Recife e pela amizade, e aos demais professores do PPGCS, pelas sugestões e ensinamentos.

Agradeço à Universidade Federal Rural de Pernambuco, através do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pela oportunidade de cursar e concluir o Doutorado em Ciência do Solo. À Universidade Federal do Piauí, mais precisamente, à direção do Campus Professora Cinobelina Elvas em Bom Jesus, pelo apoio.

Aos funcionários da Área de Solos da UFRPE, Maria do Socorro de Santana (Coca) e Josué, agradeço pelo apoio e tantos serviços prestados, e a Jatobá motorista da UFPI e Jamisson motorista da UFRPE, que além de dirigir ajudaram com as análises de campo e coleta de solo.

Agradeço eternamente a minha mãezinha e a minha irmã Socorro que mesmo tão longe sempre estiveram presentes com palavras de carinho, coragem e apoio. Agradeço acima de tudo ao meu esposo Marcos Barros que sempre me incentivou e me apoiou incondicionalmente e a meus filhos Marquinho e Stelinha pelo amor, paciência, apoio e compreensão, que mesmo com dificuldades tentaram entender tanta ausência.

Agradeço a todos que de alguma maneira fizeram parte desta caminhada e torceram por minha vitória.

Por fim, agradeço a DEUS que é o começo de tudo e que mesmo sem vê-lo podemos sentir.

## ÍNDICE

RESUMO .....	ix
ABSTRACT .....	xi
INTRODUÇÃO GERAL .....	13
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	16
<b>CAPÍTULO I - CARACTERIZAÇÃO E GÊNESE DE LATOSSOLOS DA SERRA DO QUILOMBO, NA REGIÃO DO CERRADO PIAUIENSE</b>	
1. INTRODUÇÃO .....	19
2. MATERIAL E MÉTODOS	
2.1 Descrição geral da área .....	25
2.2 Localização e contextualização dos perfis e coleta de amostras..	31
2.3 Métodos de análises .....	33
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	
3.1 Atributos morfológicos dos Latossolos da área pesquisada .....	35
3.2 Atributos físicos dos Latossolos .....	38
3.3 Atributos químicos e mineralógicos dos Latossolos .....	41
4. CONCLUSÕES .....	47
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	48
<b>CAPÍTULO II - EFEITOS DO PLANTIO DIRETO SOBRE ATRIBUTOS MORFOLÓGICOS E FÍSICOS DE LATOSSOLOS AMARELOS NA REGIÃO DO CERRADO PIAUIENSE</b>	
1. INTRODUÇÃO .....	55
2. MATERIAL E MÉTODOS	
2.1 Descrição da área .....	61
2.2 Procedimentos de amostragem .....	63
2.3 Métodos de análises .....	63
2.3.1 Macro e microporosidade.....	63
2.3.2 Estabilidade de agregados .....	63
2.3.3 Resistência do solo à penetração .....	66
2.4 Delineamento estatístico .....	67
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	
3.1 Efeitos do plantio direto nas propriedades morfológicas .....	68

3.2 Efeitos do plantio direto nas propriedades físicas .....	71
3.2.1 Análise estatística multivariada aplicada às propriedades físicas .....	76
3.3 Estabilidade de agregados .....	82
3.4 Resistência do solo à penetração .....	88
4. CONCLUSÕES .....	92
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	93
 <b>CAPÍTULO III - EFEITOS DO PLANTIO DIRETO SOBRE ATRIBUTOS QUÍMICOS E BIOLÓGICOS E NA DINÂMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA DE LATOSSOLOS AMARELOS NA REGIÃO DO CERRADO PIAUIENSE</b>	
<b>1. INTRODUÇÃO</b>	
1.1 Efeitos do plantio direto nas propriedades químicas .....	103
1.2 Efeitos do plantio direto nas propriedades biológicas .....	105
1.3 Efeitos do plantio direto na dinâmica da matéria orgânica .....	109
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS</b>	
2.1 Métodos de análises .....	111
2.1.1 Atividades biológicas .....	111
2.1.2 Fracionamento físico da matéria orgânica .....	113
2.1.3 Fracionamento químico da matéria orgânica .....	114
2.2 Delineamento estatístico .....	115
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	
3.1 Efeitos do PD nas propriedades químicas dos Latossolos .....	116
3.1.1 Análise estatística multivariada aplicada às propriedades químicas .....	120
3.2 Efeitos do plantio direto na atividade biológica e nitrogênio total	125
3.3 Efeitos do plantio direto na dinâmica da matéria orgânica do solo.....	129
3.3.1 Fracionamento físico da matéria orgânica .....	129
3.3.2 Fracionamento químico da matéria orgânica .....	133
4. CONCLUSÕES .....	135
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	136
CONCLUSÕES GERAIS .....	146
ANEXO .....	147

PRAGANA, ROSSANNA BARBOSA; Doutora em Ciência do Solo. Universidade Federal Rural de Pernambuco, agosto de 2011. Caracterização Pedológica e Diagnóstico da Qualidade de Solos sob Plantio Direto na Serra do Quilombo, Sudoeste Piauiense. Orientador: Mateus Rosas Ribeiro. Co-orientadores: Mateus Rosas Ribeiro Filho e Júlio Cesar Azevedo Nóbrega

## RESUMO

Esta pesquisa foi realizada no Cerrado piauiense. Esta área vem sendo alvo de exploração sem a devida preocupação com a manutenção dos recursos naturais, onde os sistemas de produção têm se caracterizado pelo uso intensivo do solo. O objetivo geral desta pesquisa foi aprofundar o conhecimento sobre os pedoambientes da Serra do Quilombo em Bom Jesus-PI e avaliar o efeito do plantio direto na alteração das características de solos cultivados com soja. A pesquisa foi desenvolvida em duas partes. A primeira parte constou do reconhecimento dos solos da serra. O exame dos solos, a identificação e a coleta de amostras foram realizados mediante abertura de trincheiras. As amostras foram submetidas às análises para caracterização morfológica, física, química e mineralógica. A análise do contexto em que a sequência dos perfis está inserida, e os atributos dos solos analisados convergem para uma única classe de solo, a dos Latossolos, entretanto, são aparentemente formados de materiais de origem com diferentes contribuições, o que pode ser comprovado pela variação textural ao longo do transecto e do comportamento dos óxidos. A segunda parte foi verificar as alterações nos atributos do solo, em decorrência dos diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto, em relação ao Cerrado nativo. Os resultados foram submetidos à análise de variância e como análise complementar, técnicas multivariadas foram utilizadas. A segunda parte da pesquisa consistiu em dois estudos. O primeiro avaliou o efeito do plantio direto sobre os atributos morfológicos dos Latossolos Amarelos, através da avaliação da cor, da estrutura e da consistência; e o efeito do plantio direto sobre os atributos físicos através da distribuição das frações granulométricas, argila dispersa em água, grau de floculação, relação silte/argila, densidade do solo e das partículas, porosidade total, macroporosidade, microporosidade, estabilidade de agregados e resistência do solo à penetração. Os resultados indicaram que o manejo imposto ao solo com cultivo convencional e posterior implantação do

sistema plantio direto contribuiu para alterar as propriedades morfológicas do solo como a estrutura e a consistência, que sofreram transformações no horizonte A. O plantio direto também afetou os atributos físicos do solo em relação ao Cerrado nativo, notadamente no horizonte superficial. O segundo estudo avaliou o efeito do plantio direto sobre atributos químicos e biológicos e na dinâmica da matéria orgânica dos mesmos Latossolos Amarelos. Foram avaliados os seguintes atributos: complexo sortivo, soma de bases, CTC, saturação por bases, pH, carbono orgânico, saturação por alumínio, nitrogênio total e fósforo disponível, como atributos químicos. Como atributos biológicos foram avaliados a respiração basal do solo, carbono da biomassa microbiana, quociente metabólico e quociente microbiano. E para avaliar a dinâmica da matéria orgânica foi feito o fracionamento físico e químico. Os resultados indicaram que o manejo imposto ao solo com cultivo convencional e posterior implantação do sistema plantio direto também contribuiu para alterar as propriedades químicas e biológicas do solo em comparação com o Cerrado nativo. Quanto ao fracionamento físico da matéria orgânica, algumas frações apresentaram efeito significativo diferindo o solo do Cerrado nativo dos solos cultivados com o sistema plantio direto; no entanto, para as frações químicas da matéria orgânica não houve efeito significativo.

PRAGANA, ROSSANNA BARBOSA; Dr. In Soil Science Universidade Federal Rural de Pernambuco, in august 2011 **Pedological Characterization and Quality Evaluation of Land under No-Tillage System in Serra do Quilombo, Southwest of Piauí State.** Advisor: Mateus Rosas Ribeiro. Co-Advisores: Mateus Rosas Ribeiro Filho and Júlio Cesar Azevedo Nóbrega

### **ABSTRACT**

This research was conducted in the Cerrado of Piauí. This area has been targeted for exploitation without due concern for the preservation of natural resources, where production systems are characterized by intensive use of land. The objective of this research was to deepen knowledge about the Serra do Quilombo pedoenvironment Bom Jesus, PI, and evaluate the effect of no-tillage on altering the characteristics of soils cultivated with soybean. The research was conducted in two parts. The first part consists of the recognition of the soils of the Sierra. The examination of soils, identification and sampling were carried out by trenching. The samples were analyzed for morphological, physical, chemical and mineralogical composition. The analysis of the context in which the sequence of profiles is inserted, and the attributes of the analyzed soils converge to a single class of soil, the Oxisols, however, are apparently formed from parent materials with different contributions, which can be confirmed by the textural variation along the transect and the behavior of oxides. The second part was to assess changes in soil properties, due to the different times of implantation of the no-tillage system, in relation to native Cerrado. The results were submitted to variance analysis and additional analysis was used as multivariate techniques. The second part of the research consisted of two studies. The first was the effect of no-tillage on morphological attributes Yellow Latosol (Oxisol), by evaluating the color, structure and consistency, and the effect on soil physical properties: particle-size-distribution, clay dispersion, degree of clay flocculation, silt / clay comparison, bulk density and particle, total porosity, macroporosity, microporosity, aggregate stability and soil resistance to penetration. The type of management imposed on the ground, conventional till and subsequent implantation of no-tillage system, contributed to alter the morphological properties of soil such as structure and consistency, applied to horizon A. No-tillage also affected soil physical properties in relation to native Cerrado, especially in the surface layer. The second study assessed the effect of no-tillage on the chemical and biological dynamics of organic

matter in the same Oxisols. We evaluated the following attributes: exchangeable cations, sum of bases, CEC, base saturation, pH, organic carbon, aluminum saturation, total nitrogen and phosphorus as chemical attributes. We also evaluated organic soil basal respiration, microbial biomass, metabolic quotient and microbial quotient, and for the dynamics of organic matter we used physical and chemical fractionation. The management of the ground solo with conventional cultivation and subsequent implantation of no-tillage system also altered the chemical and biological soil compared with native Cerrado. As for the physical fractionation of organic matter, some fractions showed significant effect, deferring the soil of the native Cerrado of cultivated soils under no-tillage system, however for the chemical fractions of organic matter there was no significant effect.

## INTRODUÇÃO GERAL

A indicação do uso mais racional de terras, conciliando a viabilidade econômica da exploração agrícola e a necessidade de preservação ambiental, exige conhecimento das características do ambiente, do qual o solo é um dos principais componentes. Alguns estados da federação desconhecem o real potencial de alguns de seus principais recursos naturais, como é o caso dos solos. Vastas e importantes regiões são ainda hoje totalmente desconhecidas com relação a este recurso ou são conhecidas em intensidade e nível de informações muito aquém da real necessidade.

Aliado ao desconhecimento do solo ocorre o avanço indiscriminado de explorações em áreas nativas, sem a devida preocupação com a manutenção dos recursos naturais, como é o caso da exploração agropecuária no Cerrado piauiense. De acordo com Luchiezi Junior et al. (2008), essa ocupação não poupou as matas ciliares, nem as encostas e as margens de rodovias. Grandes voçorocas se formaram e terras arenosas, pouco adequadas à agricultura, foram abertas e abandonadas. O relevo plano, em quase toda a sua extensão, facilita o avanço das máquinas agrícolas que rapidamente desmatam grandes áreas verdes. Os efeitos diretos do desmatamento, do uso intenso de agrotóxicos e dos constantes revolvimentos de terra são significativos. Apesar do uso cada vez mais frequente do plantio direto, observa-se perda de solo por erosão.

O Cerrado é uma região muito peculiar, além de abrigar grande diversidade de espécies, é o berço de importantes bacias hidrográficas, motivo pelo qual a sua rápida devastação se torna preocupante e com impactos potenciais irreversíveis (Luchiezi Junior et al., 2008).

Estima-se que 55% da área do Cerrado já foram desmatadas ou transformados pela ação humana (Machado et al., 2004), o que equivale a uma área de 880.000 km<sup>2</sup>, ou seja, quase três vezes a área desmatada na Amazônia brasileira. As pastagens cobrem uma área aproximada de 500.000 km<sup>2</sup>. Monoculturas, como a soja, são cultivadas em outros 100.000 km<sup>2</sup>, e a área total para conservação é de cerca de 33.000 km<sup>2</sup>, claramente insuficiente quando comparada com os principais usos da terra no Cerrado.

Os Cerrados do Piauí possuem uma área de 8,5 milhões de hectares de terras, representando cerca de 30% da área total do Cerrado setentrional brasileiro. Estima-se que, só no Piauí, cerca de cinco milhões de hectares de Cerrados poderão ser explorados com agricultura intensiva, especialmente soja, arroz e milho (Fazendas Piauí, 2009). Segundo Aguiar e Monteiro (2005) apenas 10 % da área com potencial agrícola do Cerrado piauiense estão em processo de exploração. Considerando que o Estado do Piauí apresenta-se como uma das últimas fronteiras agrícolas do Brasil, sistemas de manejo conservacionistas devem ser adotados nessa área para evitar perdas de solo, água e nutrientes. A Serra do Quilombo é uma das serras inseridas no Cerrado piauiense, que compõe um conjunto de serras do sudoeste do Piauí, e está localizada entre os municípios de Bom Jesus e Uruçuí.

Nas áreas do Cerrado piauiense sob cultivo de culturas com bastante expressão econômica, a exemplo da soja e do milho, os sistemas de produção têm se caracterizado pelo uso intensivo do solo com aplicação constante de corretivos, fertilizantes, pesticidas e revolvimento frequente, por meio de práticas de aração e gradagem. Com isso, as perdas de solo e água por erosão e a degradação da qualidade do solo são motivo de preocupação, porque colocam em risco a sustentabilidade da exploração agrícola na região. De acordo com Brasil (2005), municípios no sudoeste piauiense, como Gilbués e Monte Alegre do Piauí, apresentam áreas em processo de desertificação devido à degradação dos solos.

Segundo Doran e Parkin (1994) a qualidade do solo é definida como “a capacidade de determinada classe de solo funcionar, dentro dos limites do ecossistema manejado ou natural, como sustento para a produtividade de plantas e animais, de manter ou aumentar a qualidade da água e do ar e, de promover a saúde e habitação humanas”. Este conceito vem sendo utilizado para avaliar a degradação e o potencial de sustentabilidade dos solos agrícolas, sob diferentes sistemas de manejo e uso do solo. O melhor manejo do solo para manter sua capacidade produtiva no presente e no futuro pode ser compreendido a partir do conhecimento da qualidade do solo.

Até a década de 80 predominou no Brasil o sistema de preparo convencional, o qual degradou o solo, reduziu a estabilidade dos agregados,

compactou a camada subsuperficial e acelerou a erosão hídrica (Albuquerque et al., 2005). Os sistemas de preparo interferem na compactação do solo. O rendimento das culturas agrícolas é dependente dos sistemas de manejo adotados, em especial dos sistemas de preparo do solo.

A avaliação da qualidade dos solos tem sido feita por meio do estudo de seus indicadores físicos, químicos e biológicos, variáveis no tempo e no espaço, devido à ação antrópica e a outros fenômenos naturais (Doran; Parkin, 1994). Estes indicadores variam com o manejo a que o solo está sendo submetido.

Trabalhos que envolvam a quantificação de tais indicadores fornecem subsídios importantes na escolha de sistemas de manejo agrícola que tornem o solo menos predisposto à perda da capacidade produtiva e/ou à degradação ambiental (D'Andrea et al., 2002). Uma contínua avaliação de atributos físicos do solo permite monitorar a eficiência ou não do sistema de manejo adotado (Secco et al., 2005). No geral, estudos têm demonstrado que sistemas de manejo mais intensivos contribuem para a redução da qualidade dos solos (Albuquerque et al., 2005), conseqüentemente, para o aumento do risco de erosão e degradação.

De acordo com Rescoe e Machado (2002), a matéria orgânica do solo, apesar de contribuir somente com uma pequena parcela da massa total dos solos minerais, é componente essencial nos diversos processos químicos, físicos e biológicos de ecossistemas terrestres, devido suas funções na manutenção da qualidade do solo e na sustentabilidade dos sistemas naturais e agrícolas.

Estudos no Cerrado vêm sendo conduzidos, com o objetivo de desenvolver estratégias para uma utilização sustentável dos solos, no sentido de reduzir o impacto das atividades agrícolas sobre esse ambiente, onde as altas temperaturas e o manejo de solo mais adotado (plantio convencional e uso em monocultivo) podem levar a um declínio acelerado da qualidade do solo (Rosa et al., 2003; Ferreira et al., 2007). Os sistemas plantio direto e cultivo mínimo, quando associados à rotação de culturas anuais, alteram as propriedades químicas do solo, com aumento dos teores de matéria orgânica, e conseqüente da melhoria da qualidade do solo (Torres et al., 2005).

Na região do Cerrado brasileiro o sistema plantio direto vem sendo adotado gradativamente, com o objetivo de conservar o solo. De acordo com Zambolim (2001) o plantio direto é um sistema que envolve a combinação de práticas culturais e mecânicas no manejo de culturas destinadas a adubação verde, para formação de cobertura do solo; manutenção dos resíduos de plantas na superfície do solo; adoção de métodos integrados de controle de plantas daninhas, por meio da cobertura do solo e herbicidas; o não revolvimento do solo, exceto nos sulcos de semeadura, e a prática da rotação de cultura.

Neste contexto, pesquisas com o objetivo de avaliar o efeito de sistemas de manejo de solo no Cerrado piauiense são de grande importância. A obtenção de informações a respeito de resultados dos diversos manejos adotados nessa área, sobre os atributos de solos cultivados com culturas com grande expressão econômica para a região, a exemplo da soja, permite a identificação do sistema mais conservacionista, ou seja, que proporcione maior preservação dos atributos do solo e, conseqüentemente, da sua capacidade produtiva, além de subsidiar o avanço da tecnologia de produção nessas áreas.

Diante do exposto, o presente estudo tem por objetivo geral aprofundar o conhecimento sobre os pedoambientes da Serra do Quilombo, em Bom Jesus-PI, e avaliar o efeito do plantio direto nas alterações das características de solos cultivados com soja em uma área localizada na Serra do Quilombo.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

AGUIAR, T.J.A.; MONTEIRO, M.S.L. Modelo Agrícola e Desenvolvimento Sustentável: A Ocupação do Cerrado Piauiense. **Ambiente & Sociedade**, 2005. v.8, n.2.

ALBUQUERQUE, J.A.; MAFRA, A.L.; FONTOURA, S.M.V.; BAYER, C.; PASSOS, J.F.M. dos. Avaliação de sistemas de preparo e calagem em um Latossolo Bruno alumínico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 963-975, 2005.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. Relatório completo do zoneamento ecológico-econômico do Baixo Rio Parnaíba. Brasília, 2005.

D'ANDRÉA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M. Atributos de agregação indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região dos Cerrados no sul do Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.1047-1054, 2002

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

FAZENDAS PIAUI. Disponível em: < <http://www.fazendaspiaui.com.br/piaiui.html>>. Acesso em 15 out. 2009.

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

LUCHIEZI JUNIOR, A.; PUFAL, D. V. de L.; GONÇALVES, G. T. 2003 (Online) Repercussões Ambientais da Expansão da Soja no Cerrado e seus Vínculos com a Liberalização do Comércio e a Política Macroeconômica Brasileira. Disponível em: <<http://www.race.nuca.ie.ufrj.br/eco/trabalhos/mesa2/4.doc>>. Acesso em 05 set. 2008.

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

ROSCOE, R.; MACHADO, L. O. A. Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. 86p.

SECCO, D.; DA ROS, C.O.; SECCO, J.K.; FIORIN, J.E. Atributos físicos e produtividade de culturas em um Latossolo Vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 407-414, 2005.

TORRES, J.L.R.; PEREIRA, M.G.; ANDRIOLI, A.; POLIDORO, J.C.; FABIAN, A.J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.609-618, 2005.

ZAMBOLIM, L. Manejo integrado de fitossanidade: Cultivo protegido, pivô central e plantio direto. Zambolim (Ed). Viçosa, 2001. 722p.

# CAPÍTULO I

## CARACTERIZAÇÃO E GÊNESE DE LATOSSOLOS DA SERRA DO QUILOMBO, NA REGIÃO DO CERRADO PIAUIENSE

### 1. INTRODUÇÃO

O aproveitamento agrícola racional, de qualquer área, requer a avaliação dos recursos edáficos, em conjunção com os recursos hídricos, os fatores climáticos e o potencial de utilização das terras em diferentes sistemas de manejo. A carência de informações básicas sobre o comportamento dos solos no seu ambiente de ocorrência pode resultar na utilização de um manejo inadequado dos mesmos, com grandes prejuízos ao agricultor e à sociedade em geral (Santos et al., 2004).

O principal objetivo e utilização dos levantamentos de solos tem sido a sua interpretação para uso agrícola, que fornece importantes subsídios que permitem a melhor decisão sobre a utilização do solo de maneira racional e eficiente. Mediante os dados constantes dos levantamentos, podem-se fazer recomendações sobre o comportamento dos solos, permitindo, por exemplo, previsões sobre o melhor manejo, quais culturas serão mais bem adaptadas e qual a produtividade esperada para cada classe de solo sob determinadas condições climáticas (Coelho et al., 2005).

As diferentes feições da superfície terrestre expressas pelo relevo provocam variações nos atributos do solo em magnitudes diferenciadas, dependentes, principalmente, de um local específico da paisagem. Além disso, a hidrologia, litologia e as condições climáticas também são responsáveis por essa variabilidade, principalmente quando associadas aos acontecimentos geológicos e geomorfológicos históricos, que influenciam a dinâmica de ocorrência e o grau de evolução dos solos nas paisagens (Stolt et al., 1993; Schoorl et al., 2000; Campos et al., 2007).

Os fenômenos físicos e químicos diferenciados atuam no material de origem, motivando progressivas transformações e determinando as características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas dos solos formados (Ghidin et al., 2006). Park e Burt (2002) destacam os aspectos

topográficos do terreno como os mais importantes indicadores da variação das propriedades do solo. Vários trabalhos têm investigado a influência do relevo, do tempo e do material de origem na variação espacial dos atributos do solo (Marques Júnior e Lepsch, 2000; Cunha et al., 2005; Campos et al., 2007).

Os estudos geomorfológicos associados com o conhecimento da área desempenham importante papel no entendimento da formação do solo, e conseqüentemente da paisagem atual. O modelo proposto para evolução geomorfológica da Bacia do Parnaíba, onde se localiza a área da pesquisa, consta na figura 1.

A constituição geológica da área de estudo é a Formação Piauí, que é uma unidade litoestratigráfica do Pensilvaniano, onde ocorreu a fase de continentalização e desertificação, importante evento de natureza geológica na Bacia do Parnaíba, considerada uma das características deposicionais do final do Paleozóico. Mesner e Wooldridge (1964) registraram uma discordância de cunho regional entre as unidades Poti e Piauí, a qual correspondeu um soerguimento da região sul da bacia. Este evento geológico corresponde em termos regionais ao arqueamento do Alto do Parnaíba (Castelo Branco e Coimbra, 1984) no Permiano/Triássico, e representa ainda o início do processo de encerramento da Bacia do Parnaíba (Góes, 1995).

A gênese da Bacia Sedimentar do Parnaíba, vinculada ao Domínio das Bacias Sedimentares Paleo-mesozóicas e Meso-cenozóicas, encontra-se associada a processos de subsidência e soerguimento registrados a partir do Paleozóico, que promoveram acumulações e deformações. A partir do Mesozóico os fenômenos de arqueamento e subsidência continuaram a afetar a bacia, favorecendo processo de denudação das áreas soerguidas. Depois do Cretáceo, sobretudo após o Mioceno, a reativação epirogênica facultou o maior desenvolvimento dos processos denudacionais a partir de extensas superfícies resultantes da pediplanação (Cassetti et al., 2004)

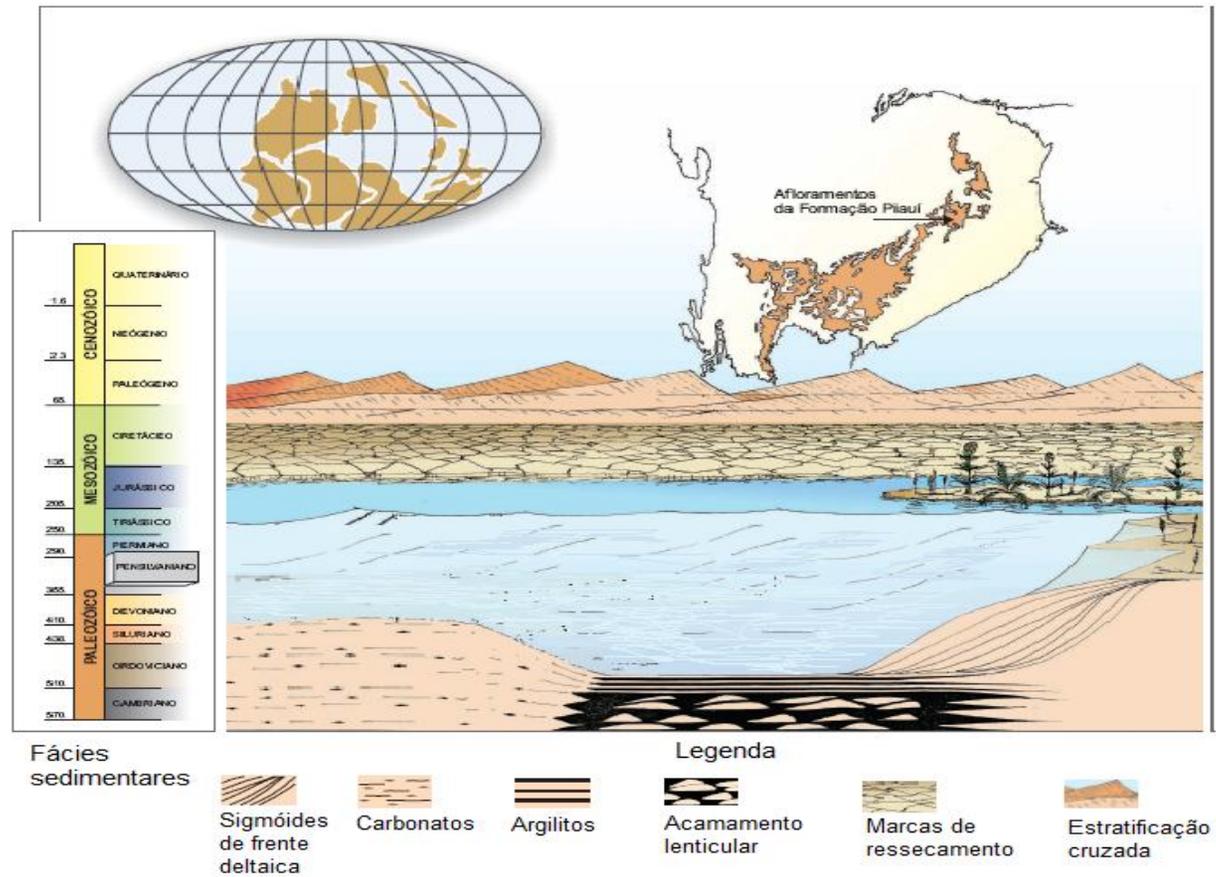


Figura 1. Constituição paleogeológica do Pensilvaniano da Bacia do Paraíba (adaptado de Santos e Carvalho, 2004).

Os solos que predominam nas superfícies de pediplanação são os Latossolos. Esta classe de solo representa bem a influência do ambiente geomorfoclimático nos seus atributos. Segundo Espig et al. (2005) os Latossolos ocupam uma superfície de cerca de 331.637.200 ha, correspondendo a aproximadamente 39% do território brasileiro. Estes solos são predominantes nas paisagens de chapadas com relevo plano a suave ondulado na região dos Cerrados.

Os solos do domínio do Cerrado são, geralmente, profundos, bem drenados, ácidos e de baixa fertilidade, cuja mineralogia compreende uma elevada proporção de óxidos de ferro e alumínio, com uma virtual ausência de minerais primários facilmente intemperizáveis (Pereira et al., 2010). Os Latossolos ocorrem preferencialmente nas partes mais estáveis da paisagem, o que é coerente com o seu grau de desenvolvimento e com o entendimento geral de que, na relação entre solos e superfícies geomórficas, a tendência é de que quanto mais antiga e estável for à superfície, mais homogênea ela será em relação aos solos que nela ocorrem. A presença extensiva dos Latossolos denota o longo período de intemperismo e pedogênese a que estas áreas foram expostas. As variações texturais e mineralógicas nestes solos parecem ocorrer basicamente em função da topografia e da variação no regime hídrico, devido ao efeito homogeneizador que o intemperismo acentuado exerce sobre os solos (Lynch, 2009).

As principais características morfológicas dos Latossolos são distinguidas como pouca diferenciação de sub-horizonte, com sequência de horizontes A, B, C e transições usualmente difusas ou graduais. As cores variam desde amarelas ou mesmo bruno - acinzentadas até vermelho-escuro-acinzentadas, nos matizes 2,5YR a 10YR. Variam de fortemente a bem drenados. Um dos aspectos morfológicos importantes na distinção de Latossolos é a estrutura granular composta por microagregados. Quimicamente são, em geral, fortemente ácidos, com baixa saturação por bases, distróficos, álicos ou alumínicos (Embrapa, 2006). A fração argila dos Latossolos, por apresentar avançado grau de intemperização, é dominada por argilominerais do tipo 1:1, predominantemente caulinita (Weber et al., 2005). Este é o principal mineral em teor expressivo. Goethita e hematita são os principais óxidos de Fe e a gibbsita é praticamente o único óxido de Al presente nesses solos, enquanto quartzo e outros minerais apresentam-se em menor proporção (Kämpf; Curi, 2003).

De acordo com Inda Junior e Kämpf (2003) os óxidos de Fe representam um dos melhores indicadores ambientais no perfil de solo, sendo as características destes minerais no perfil fundamentais na reconstrução da gênese do solo. Os óxidos de Fe têm sido avaliados basicamente sob três formas: (a) Fe total; (b) Fe constituinte dos óxidos de Fe pedogênicos; e (c) Fe constituinte dos óxidos de Fe pedogênicos de baixa cristalinidade. Neste sentido, busca-se o conhecimento da distribuição relativa das diferentes formas de Fe para aplicá-lo na interpretação da pedogênese, na avaliação das condições e da intensidade do intemperismo, no entendimento do comportamento físico e químico do solo e na classificação de solos.

Durante o processo de formação dos Latossolos verifica-se a liberação de ferro, alumínio, sílica e íons diversos como  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ , etc, devido ao intemperismo de minerais primários e mesmo silicatos secundários. Os últimos, devido à maior solubilidade, tendem a ser lixiviados do sistema. A sílica, menos solúvel que eles, porém mais que o ferro e alumínio, também tende a sair a depender da drenagem do meio (Ker, 1998). Os hidróxidos são oxidados e desidratados na estação seca, transformando-se em compostos estáveis que facilitam a precipitação do ferro. Na estação chuvosa o escoamento superficial favorece o transporte do material desagregado ou resultante da decomposição química. O fluxo de subsuperfície facilita a lixiviação, o transporte e a concentração de materiais solúveis, conforme descrito por Casseti et al. (2004) para formação dos Latossolos da região central do Brasil.

Segundo Jacomine et al. (1986), os solos que predominam nas áreas planas, entre as quais se encontram as Superfícies Tabulares Cimeiras (chapadas altas) são os Latossolos Amarelos distróficos, cujo horizonte Bw apresenta atividade da argila menor que  $13 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  de argila, relação molecular  $K_i$  geralmente mais elevada em relação à grande parte de outros Latossolos tropicais (normalmente 1,8 e 2,2), relação molecular  $K_r$  maior ou igual a 1,40; percentagem de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  do ataque sulfúrico menor que 10%; relação entre a percentagem de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e a soma dos óxidos do ataque sulfúrico menor que 0,20, e apresenta predominância de minerais 1:1 (grupo da caulinita) na fração argila.

Os Latossolos Amarelos do Piauí não apresentam coesão, pois segundo Ribeiro (2001) o caráter coeso é uma característica pedogenética típica de horizontes subsuperficiais (AB, BA e, ou, parte do Bw), encontrada normalmente entre 30 e 70 cm da superfície do solo, que são muito duros a extremamente duros, quando seco, passando a friável ou firme, quando úmidos. O caráter coeso é uma característica muito comum em solos dos sedimentos Terciários da Formação Barreiras, unidade geomorfológica dos Tabuleiros Costeiros. Segundo Correia et al. (2008) a gênese dos horizontes coesos deve-se ao maior conteúdo de argilas muito finas, menores que 0,2  $\mu\text{m}$ , translocadas entre horizontes ou dentro do mesmo horizonte na forma de argila dispersa. O horizonte coeso, quando existe, se caracteriza pelo aumento da densidade do solo e redução da porosidade total em relação aos horizontes adjacentes (Jacomine, 2001; Ribeiro, 1996).

Os Latossolos do Piauí também não apresentam caráter ácido. De acordo com Carvalho (2011), os Latossolos ácidos apresentam baixa retenção de cátions, com quantidades reduzidas especialmente de cálcio, removido na intensa intemperização e a CTC da argila é muito baixa no horizonte B (baixa atividade da argila). Mineralogicamente os Latossolos ácidos são basicamente oxídicos porque já ultrapassaram a fase caulinítica. Estes solos ocupam expressiva área no Brasil. Os Latossolos ácidos possuem baixos valores de soma de bases abaixo da camada arável. Possuem também capacidade de troca catiônica (CTC), soma de bases e retenção de cálcio muito dependentes da quantidade de matéria orgânica (Prado et al., 2011).

O objetivo deste trabalho foi contextualizar a Serra do Quilombo a partir de informações da literatura e da caracterização morfológica, física, química e mineralógica dos solos desta área, apresentando as inferências iniciais sobre a gênese e o efeito do relevo e do clima nas características destes solos. Desse modo, são apresentadas, em primeiro lugar, as características fisiográficas gerais da região - clima, relevo, geologia e vegetação, seguida da descrição do transecto, com discussão sobre os aspectos da área e as relações entre os solos encontrados.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Descrição geral da área

O município de Bom Jesus localiza-se na mesorregião Alto Parnaíba no Sudoeste Piauiense, microrregião do Alto Médio Gurguéia, compreendendo uma área de 5.685,57 km<sup>2</sup>. A sede municipal tem as coordenadas geográficas de 09°04'26" de latitude sul e 44°21'32" de longitude oeste de Greenwich e dista cerca de 632 km de Teresina (Aguiar; Gomes, 2004). A área de estudo encontra-se na região sudoeste do Piauí, entre os municípios de Uruçuí e Bom Jesus, na Serra do Quilombo, inserida no Cerrado piauiense (Figura 2).

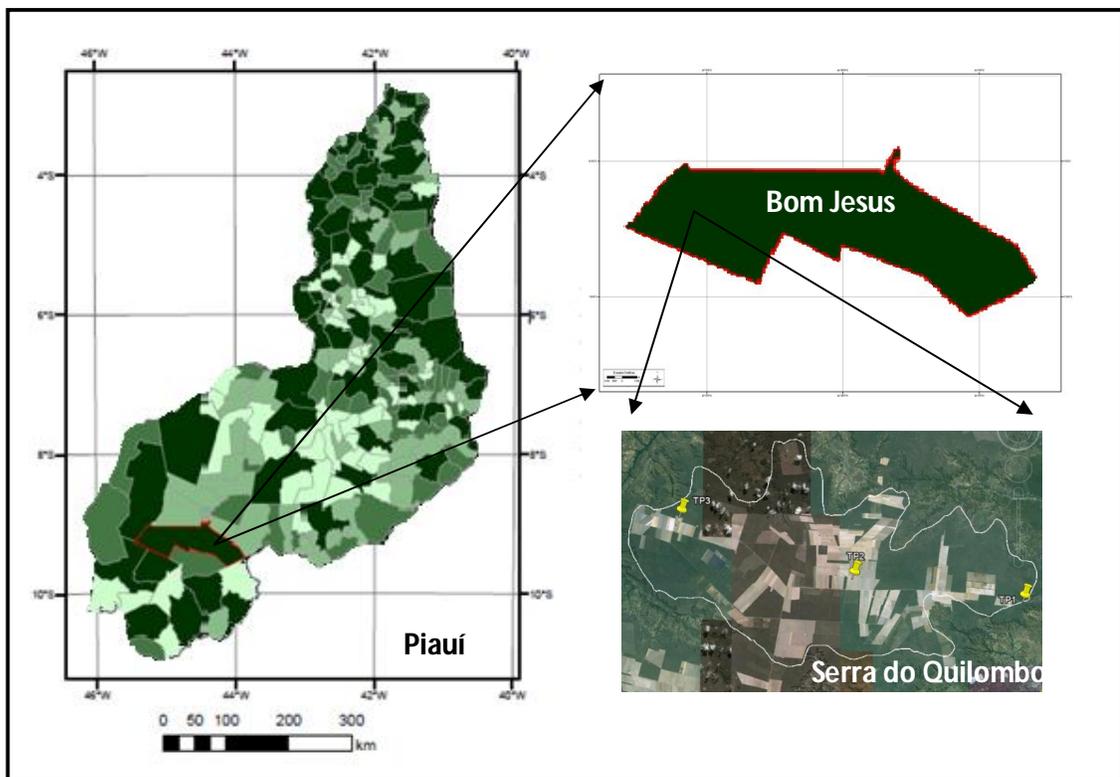


Figura 2. Localização da Serra do Quilombo em Bom Jesus – PI (Fonte: CPRM e Google Earth, 2010)

### Clima

O clima da área pesquisada é tropical quente e úmido, com estação seca bem definida (Aw segundo a classificação de Köppen), com incêndios espontâneos esporádicos, no período da seca. São registradas temperatura e precipitação média anual de 26°C e 1000 mm, respectivamente. A figura 3 apresenta o diagrama da temperatura, da precipitação e da disponibilidade atual de água no solo (DAAS) do período de janeiro a dezembro de 2009 do

município de Bom Jesus, de acordo com Embrapa (2010), o qual ilustra as condições hídricas dos solos para esta condição climática. Verifica-se uma concentração de chuvas nos meses de janeiro a maio e outubro a dezembro. Quanto à disponibilidade atual de água no solo (DAAS), observa-se disponibilidade centrada nos meses de janeiro a julho, déficit nos meses de agosto e setembro e reposição hídrica nos meses de outubro a dezembro.

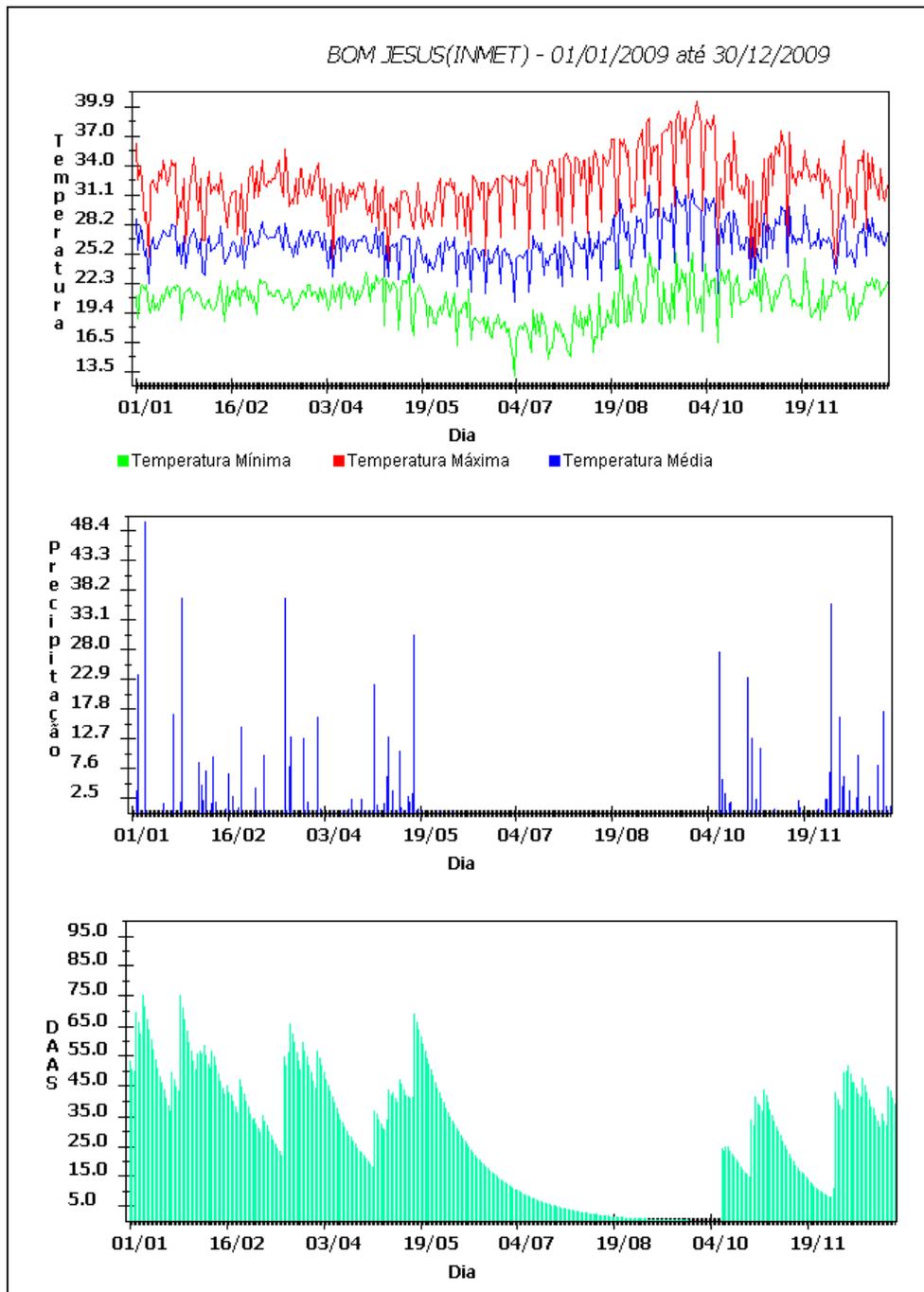


Figura 3. Temperatura, precipitação e disponibilidade atual de água no solo em 2009 (Embrapa (2010))

## Relevo

O acidente morfológico predominante na Serra do Quilombo se enquadra nas Superfícies Tabulares Cimeiras (chapadas altas), que constituem típicas superfícies tabulares (Figura 4), formando verdadeiras grandes mesas recortadas, com relevo plano, cujas declividades não ultrapassam 3%. Encontra-se em altitudes da ordem dos 400-500 metros (Jacomine et al., 1986). Nesta área, devido à natureza muito porosa dos solos e à ausência de declive, as taxas de infiltração são elevadas e a drenagem interna do solo é acentuada, observando-se, no entanto, sinais de erosão nas áreas cultivadas durante a entressafra, nos solos sem vegetação e borda das chapadas.



Figura 4. Relevo da Serra do Quilombo – Bom Jesus- PI.

## Geologia

Predominam na Serra do Quilombo as rochas do Grupo Piauí e do Grupo Pedra de Fogo. A litologia característica desta área se constitui predominantemente numa associação de arenitos e folhelhos. O material originário dos solos é constituído essencialmente de produtos da decomposição das rochas supracitadas.

De acordo com Jacomine et al. (1986), o município de Bom Jesus é composto por formações de diversos períodos (Figura 5). A Formação Piauí, do período Carbonífero, é composta de arenitos cinza-claro e amarelos, finos, podendo apresentar em algumas regiões arenitos médios a grosseiros com estratificações cruzadas. Intercalados com os arenitos, ocorrem siltitos, folhelhos e argilitos de cores cinza-escuras e verdes. Já na Formação Pedra de

Fogo, do período Permiano, os arenitos são de coloração cinza-clara, finos, enquanto que os siltitos e folhelhos são vermelho-púrpura e esverdeados, pouco micáceos. Ocorre a presença de nódulos e leitos de sílex em diversos níveis desta formação, bem como calcários brancos e leitos de gipsita.

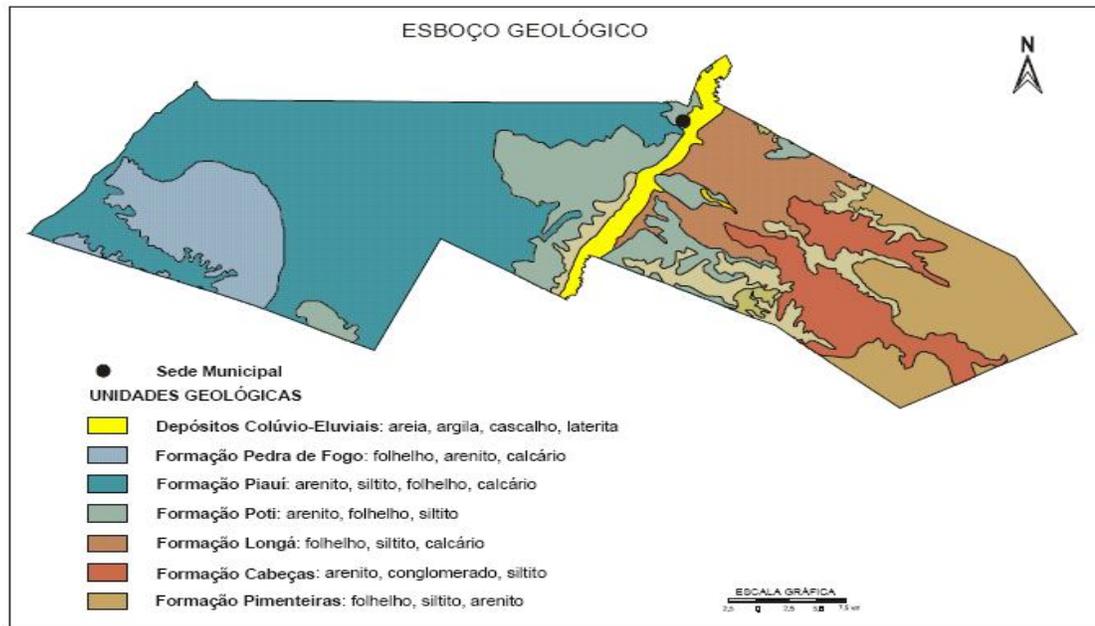


Figura 5. Esboço geológico do Município de Bom Jesus (Aguiar & Gomes, 2004).

As camadas da Formação Piauí foram divididas por Lima Filho (1992) em duas partes: a inferior, constituída de arenitos róseos médios, com intercalações de siltitos vermelhos e verdes; e a superior, composta por arenitos avermelhados com intercalações de leitos e lâminas de siltitos vermelhos, finos leitos de calcários e evaporitos.

A sedimentação química de carbonatos e evaporitos, que pela primeira vez se implantou na bacia, apontam para clima quente, em latitudes tropicais durante o Pensilvaniano. Este seria árido, no intervalo de tempo de deposição dos arenitos eólicos da parte basal, em um sistema desértico, assim como durante a deposição de evaporitos na parte superior (Cunha, 1986; Lima Filho, 1992).

Lima Filho (1992) atribuiu à Formação Piauí um ambiente deposicional lacustre, deltaico, fluvial, evaporítico e marinho raso (plataforma carbonática), com aridez de clima em condições severas e com a sedimentação sob influência das variações da linha de costa. Uma notável mudança do regime sedimentar ocorreu no Pensilvaniano (Carbonífero), com episódios conspícuos

de exposição subaérea e formação de dunas eólicas, que têm expressão regional. O controle é evidenciado com o soerguimento de blocos na borda sul da Bacia do Parnaíba, conforme o mapa de contorno estrutural da base da Formação Piauí e os conglomerados e arenitos conglomeráticos da base da formação, que são derivados de um tectonismo sinsedimentar (Góes; Feijó, 1994).

## Vegetação

A vegetação típica na chapada da Serra do Quilombo é o Cerrado subcaducifólio remanescente (Figura 6), com suas diversas fisionomias variando na paisagem, principalmente, em função da profundidade dos solos, característica que vai definir a maior ou menor participação do estrato lenhoso na composição da vegetação. Nas encostas encontram-se áreas de transição entre caatinga/cerrado. A vegetação natural primitiva foi praticamente substituída por culturas cíclicas. A substituição do Cerrado natural imprimiu à paisagem um aspecto antrópico (Figura 7), onde se sobressai principalmente a cultura da soja.



Figura 6. Vegetação de Cerrado na Serra Quilombo-PI



Figura 7. Aspecto de uso antrópico da Serra do Quilombo-PI

A vegetação nativa predominante nos Cerrados é formada por: palmeiras, bacuri (*Platonia insignis*), brejaúba (*Toxophoenix aculeatissima*), guariroba (*Syagrus oleracea*), jussara (*Euterpe edulis*) e macaúba (*Acrocomia aculeata*), até plantas frutíferas como araticum-do-cerrado (*Annona crassiflora*), bacuri (*Scheelea phalerata*), baru (*Dipteryx alata*), café-de-bugre (*Cordia ecalyculata*), pequi (*Caryocar brasiliense*), goiaba (*Psidium guajava*), mamacadela (*Brosimum gaudichaudii*), cajuzinho-do-campo (*Anacardium humile*),

pitanga-do-cerrado (*Eugenia calycina*); além de plantas como aroeira-pimenteira (*Schinus terebinthifolius*), cachamorra (*Sclerolobium paniculatum*), sucupira (*Swartzia sp.*), mulungu (*Erythrina verna vel*), sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*), paineira (*Ceiba speciosa*), algodão-do-cerrado (*Cocholespermum regium*), pau-terra (*Qualea grandiflora*), sem falar em uma grande variedade de gramíneas, bromeliáceas, orquídeas e outras plantas de menor porte (Ratter et al., 1997).

### **Evolução geomorfopedológica**

As chapadas do Sudoeste do Piauí, que agrupam um conjunto de serras, ocupam uma área de aproximadamente oito milhões de hectares. Vertentes ravinadas formam áreas dissecadas que separam as serras. O aumento da declividade marca o contato das chapadas com as vertentes ravinadas (Figura 8). A ruptura de relevo define claramente a área escavada pela rede de drenagem, na borda das chapadas. De maneira geral predominam formas dissecadas nas áreas mais próximas às bordas das chapadas, denotando maior vulnerabilidade à erosão.



Figura 8. Vertentes ravinadas da Serra do Quilombo em Bom Jesus – PI (Fonte: Google Earth, 2011)

Cassetti et al. (1994), analisaram as características geomorfológicas, evolução do relevo e formação dos solos de uma área da região central do Brasil, culminando na formação dos Latossolos, que se assemelham à evolução geomorfológica e dos solos do Cerrado piauiense. Segundo os

referidos autores as extensas superfícies horizontalizadas ou aplainadas, encontram-se associadas a processos de pediplanação vinculados à morfogênese mecânica por ocasião dos climas secos. As suas formações superficiais, caracterizadas por sequências concrecionais, denominada de bancadas ferruginosas ou detríticas, encontram-se vinculadas a efeitos paleoclimáticos. Tanto a fisionomia do relevo quanto os depósitos correlatos são justificados por processos morfoclimáticos pretéritos, cujo material desagregado que capeia tais aplainamentos resultou de um clima agressivo, ou, mais especificamente, um clima seco, árido ou semi-árido. De acordo com Ker (1998) os Latossolos são considerados poligenéticos. Experimentaram diferentes situações climáticas ao longo de sua formação.

Segundo Casseti et al. (1994), os efeitos do clima quente do Pensilvaniano podem ser observados pela horizontalidade das extensas superfícies. Este clima favoreceu a desagregação mecânica das rochas, cujos detritos, em épocas de chuvas torrenciais, características de climas semi-áridos, preencheram as depressões do terreno, elaborando-se as grandes superfícies de aplanamento. O clima atual, considerado subúmido, com precipitação média anual de 1000 mm (Embrapa, 2010), que provoca escoamento fluvial devido à concentração das águas, é responsável pelo entalhamento do talvegue e conseqüente dissecação das superfícies aplainadas. Ao se estabelecer uma relação entre morfogênese-pedogênese, admite-se que, no topo das chapadas, está predominando o processo de infiltração, responsável pelo aumento progressivo de material intemperizado, favorecendo o domínio dos Latossolos.

Os solos que se desenvolvem sobre as Chapadas do Piauí parecem se vincular estreitamente às litologias subjacentes e as condições morfoclimáticas. Praticamente todos os estudos desenvolvidos objetivando estabelecer correlações entre a ocorrência dos Latossolos com superfícies geomórficas, destacam que esta classe de solos, ocupa preferencialmente as partes mais estáveis da paisagem, ou seja, superfícies de aplanamento (Ker, 1998).

## **2.2 Localização, contextualização e amostragem de perfis do solo**

O método de prospecção adotado para identificação dos solos e estudo das relações solo-paisagem consistiu na sua caracterização ao longo de um

transecto que cortou transversalmente os diversos aspectos da paisagem, com a observação e coleta de solos em três pontos estratégicos da Serra do Quilombo, com distâncias aproximadas de 30 km entre os perfis (Figura 9). Os pontos de amostragem foram escolhidos em áreas de vegetação nativa nas extremidades e no centro da referida Serra, com o objetivo de atingir toda sua extensão.

O transecto compreendeu o trecho de paisagem no topo de uma chapada, com extensão aproximada de 70 km, apresentando uma distância de 12,6 km da BR 135 até o início da chapada. Os três perfis estudados ao longo do transecto de 59 km localizam-se entre 517 a 652 m de altitude, e latitude 9° 18' 00" S e longitude 44° 37' 33" W, Perfil P1; latitude 9° 16' 0,24" S e longitude 44° 52' 40,6" W, Perfil P2 e latitude 9° 10' 40,85" S e longitude 45° 07' 07" W, Perfil P3.

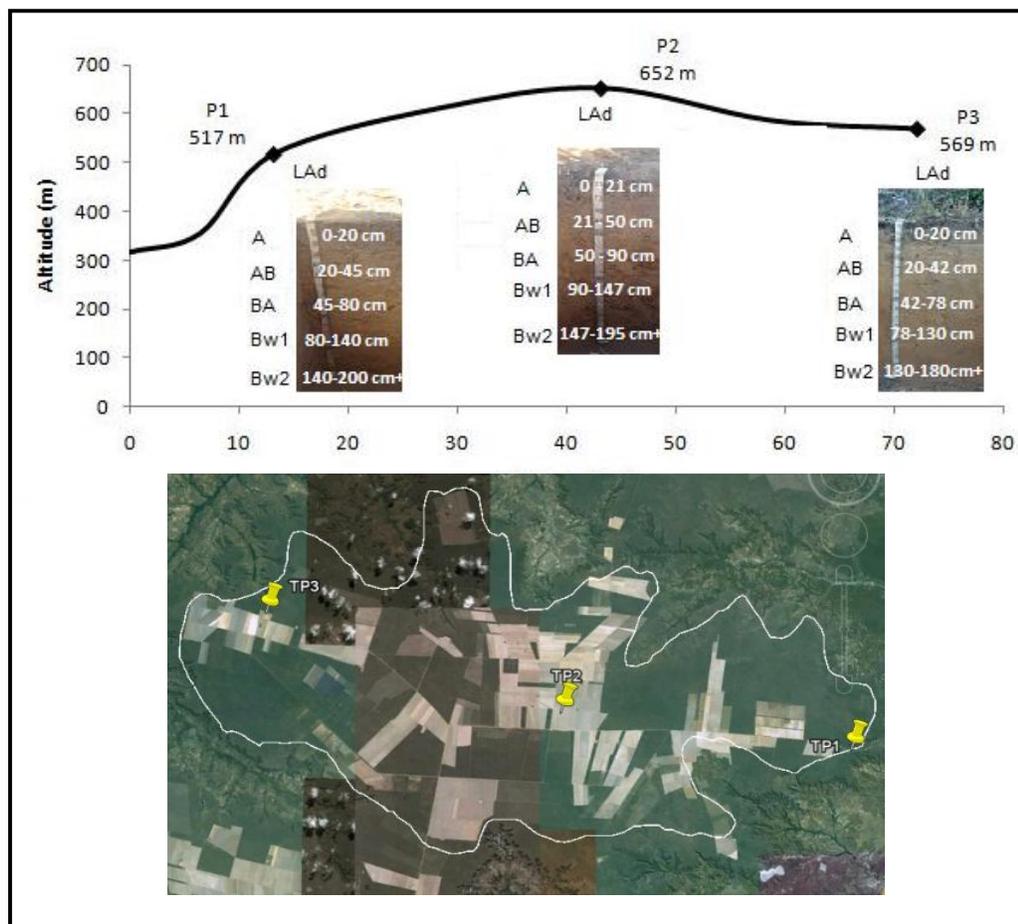


Figura 09. Esquema do transecto (P1 a P3) em perfil longitudinal da vertente e em imagem de satélite (Google Earth 2010).

O exame dos solos, a identificação e a coleta de amostras foram realizadas mediante abertura de trincheiras. Todos os pontos foram georreferenciados com a utilização de GPS. A abertura das trincheiras para descrição completa de perfis de solos seguiu as recomendações de Santos et al. (2005). Foram coletadas amostras deformadas e indeformadas de cada horizonte dos três perfis para caracterização física, química e mineralógica do solo. Para identificação e classificação dos solos no campo foram utilizados os critérios estabelecidos pela Embrapa (2006).

### 2.3 Métodos de análises

Após o preparo das amostras (TFSA) foi realizada a determinação da análise granulométrica pelo método da pipeta, utilizando-se uma solução dispersante de NaOH 1 molL<sup>-1</sup> e agitação mecânica em aparato de alta rotação, por 15 minutos, seguindo-se metodologia proposta pela Embrapa (1997). A fração argila foi separada por sedimentação; areia grossa e fina por tamisação e o silte calculado por diferença. O teor de argila dispersa em água foi determinado também pelo método da pipeta, sem a utilização de dispersante químico e o grau de floculação da argila calculado conforme definição da Embrapa (1997). A relação Silte/Argila foi calculada a partir da divisão dos valores de silte pelos de argila total, obtidos na análise granulométrica.

A densidade de partículas foi determinada pelo método do balão volumétrico e a da densidade do solo pelo método do anel volumétrico, com volume total de 250 cm<sup>3</sup>.

A porosidade total foi calculada a partir dos valores de densidade do solo e das partículas, através da expressão:

$$Eq. 1: PT = \left(1 - \frac{Ds}{Dp}\right) \quad (Eq. 1)$$

Onde: PT: porosidade total, Ds: densidade do solo e Dp: densidade das partículas.

As análises químicas foram feitas seguindo as recomendações da Embrapa (1997), determinando-se pH em H<sub>2</sub>O e KCl 1mol L<sup>-1</sup>, utilizando a suspensão solo:líquido na proporção 1:2,5. Sódio e potássio foram extraídos pela solução extratora Mehlich-1 (HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup>) na

proporção 1:10 (solo:solução) e determinado em fotômetro de chama. Cálcio, magnésio e alumínio trocáveis foram extraídos com solução extratora de KCl 1 mol L<sup>-1</sup>, na proporção 1:10, solo:solução, sendo a determinação volumétrica do Al<sup>3+</sup> feita com solução de NaOH 0,025 mol L<sup>-1</sup> na presença do indicador azul de bromotimol e do Ca+Mg por complexometria, utilizando-se o EDTA (ácido etilenodiaminotetracético) 0,0125 mol L<sup>-1</sup>, como solução titulante. A acidez potencial (H + Al) foi determinada por extração com acetato de cálcio tamponado a pH 7,0 e determinado volumetricamente com solução de NaOH 0,0606 mol L<sup>-1</sup>, na presença de fenolftaleína como indicador. O hidrogênio trocável foi calculado pela diferença entre os valores obtidos da acidez trocável e o alumínio trocável. Para determinação do carbono orgânico (CO) utilizou-se como agente oxidante o dicromato de potássio em meio sulfúrico, sendo a reação acelerada por aquecimento. Como titulante foi utilizado o sulfato ferroso amoniacal. A partir dos resultados obtidos pela análise do complexo sortivo, foram calculados a soma de bases – Valor S (Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup> + Na<sup>+</sup> + K<sup>+</sup>), a CTC - T [S + (H<sup>+</sup> + Al<sup>3+</sup>)], a saturação por alumínio – m [Al<sup>3+</sup> \* 100/ (S+Al<sup>3+</sup>)], a saturação por bases – V (S \* 100/T) e o ΔpH (pH KCl – pH H<sub>2</sub>O).

As extrações de sílica, alumínio, ferro, titânio e manganês foram feitas pelo ataque sulfúrico, conforme Embrapa (1997), em amostras de solo dos horizontes A e Bw2 dos três perfis. Após a determinação, os teores dos elementos foram convertidos para a forma de óxidos (SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> e MnO). As relações moleculares Ki e Kr foram então calculadas pelas fórmulas Ki [(% SiO<sub>2</sub> x 1,697)/% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>] e Kr [(% SiO<sub>2</sub> x 1,697)/% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + (% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> x 0,64)]

As análises mineralógicas da fração argila foram realizadas por difratometria de raios X (DRX) nas amostras do horizonte Bw de três perfis de Latossolos estudados, conforme metodologia proposta por Jackson (1979).

Os difratogramas foram obtidos empregando-se Difratômetro de Raio X Shimadzu, operando a uma tensão de 40 kv, com corrente de 20 mA, radiação de Cu Kα, com monocromador de grafite. As amostras foram preparadas e analisadas na forma de pó (não orientadas), empregando um intervalo de varredura de 5 a 70° 2θ e velocidade de 1,5 °2θ min<sup>-1</sup>.

As amostras de argila após os pré-tratamentos de eliminação de carbonatos, óxidos de ferro e matéria orgânica (Jackson, 1979) foram saturadas com KCl a temperatura ambiente e aquecidas a 550°C (amostras K25 e K550) e saturadas por MgCl<sub>2</sub> (amostra Mg). As argilas foram analisadas na forma de esfregaço sobre lâminas de vidro (amostras orientadas), com uma amplitude de varredura entre 3 e 35° 2θ e velocidade de registro de 1,5° 2θ min<sup>-1</sup>.

Os critérios empregados para interpretação dos difratogramas e na identificação dos minerais constituintes da fração argila foram baseados no espaçamento interplanar (d) e no comportamento dos picos de difração conforme apresentado por Jackson (1979), Brown e Brindley (1980) e Moore e Reynolds (1989).

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1. Atributos morfológicos dos Latossolos da área pesquisada**

Os principais atributos morfológicos dos solos estudados estão apresentados na tabela 1. Estes solos compreendem perfis com feições características da classe dos Latossolos. O perfil P1 foi classificado como LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico, A moderado, textura média, fase Cerrado, relevo plano. Os perfis P2 e P3 apresentaram classificação semelhante, com exceção da textura que foi considerada argilosa. Estes Latossolos diferem daqueles encontrados nos sedimentos Terciários da Formação Barreiras, unidade geomorfológica dos Tabuleiros Costeiros, devido ao caráter coeso destes últimos (Ribeiro, 2001). Também diferem dos Latossolos Ácricos que têm grande expressão territorial principalmente nos Estados de Goiás, Minas Gerais (Triângulo Mineiro), no Distrito Federal, e na região nordeste do Estado de São Paulo (Carvalho, 2011).

**Tabela 1.** Caracterização morfológica dos perfis de Latossolos Amarelos.

Horizonte	Profundidade (cm)	Cor amostra úmida (Munsell)	Estrutura <sup>1</sup>	Consistência <sup>2</sup>			Transição <sup>3</sup>	Presença de raízes
				Seco	Úmido	Molhado		
<b>Perfil P1 - LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico</b>								
A	0-20	bruno-escuro 7,5YR 4/2	fr. pq. bsub. md. pq. gr	lg. du.	mu.fr	lg. pl. lg. pg	grd. e pl	muitas
AB	20-45	Bruno 7,5YR 5/4	fr. mu pq.e pq. bsub	lg. du.	mu. fr	lg. pl. lg. pg	grd. e pl	muitas
BA	45-80	bruno-forte 7,5YR 5/6	fr. mu. pq. e pq. bsub	du.	mu. fr.	lg. pl. lg. pg	dif. e pl	comuns
Bw1	80-140	bruno-forte 7,5YR 5/6	fr. mu.pq.e pq. bsub. asp.mc.po	lg. du e du.	mu.fr.	lg. pl. lg. pg	dif. e pl	comuns
Bw2	140-200+	bruno-forte 7,5YR 5/8	fr. mu. pq. e pq. bsub	lg. du e du	mu.fr.	lg. pl. lg. pg		poucas
<b>Perfil P2 - LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico</b>								
A	0-21	bruno-escuro 7,5YR 4/2	fr. pq. bsub. md. pq. gr	du.	mu. fr	lg. pl. lg. pg	grd. e pl	muitas
AB	21-50	bruno 7,5YR 5/4	fr. mu pq.e pq. bsub.	du.	mu. fr	lg. pl. lg. pg	grd. e pl	muitas
BA	50-90	bruno-forte 7,5YR 5/6	fr. mu.pq. e pq. bsub. asp.mc.po	du.	mu.fr.	lg. pl. lg. pg	dif. e pl	comuns
Bw1	90-147	bruno-forte 7,5YR 5/6	fr. mu pq. e pq. bsub. asp.mc.po	du	mu.fr.	lg. pl. lg. pg	dif. e pl	poucas
Bw2	147-195+	bruno-forte 7,5YR 5/8	fr. mu pq. e pq. bsub. asp.mc.po	lg. du	mu.fr.	lg. pl. lg. pg		poucas
<b>Perfil P3 - LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico</b>								
A	0-20	bruno-acinzentado- escuro 10YR 5/2	fr.pq. e m bsub. md. pq. e m gr.	lg.du.	mu. fr	lg. pl. lg.pg	grd. e pl	muitas
AB	20-42	bruno-escuro 7,5YR 4/4	fr. e md mu pq.e pq. blag.	du.	fr	lg. pl. lg. pg	grd. e pl	muitas
BA	42-78	bruno-forte 7,5YR 4/6	fr. mu.pq. e pq. blag.	du.	fr.	pl. pg	dif. e pl	muitas
Bw1	78-130	bruno-forte 7,5YR 5/6	fr. mu pq. e pq. blag.	du	mu.fr.	pl. pg	dif. e pl	comuns
Bw2	130-180+	bruno-forte 7,5YR 5/8	fr. mu pq. e pq. blag. asp. mc po	lg. du	mu.fr.	pl. pg		poucas

(1)fr: fraca; md: moderada; mu: muito; pq: pequena; gr: granular; bsub: blocos subangulares; blag: blocos angulares; asp: aspecto; mc: maciço; po: poroso (2) du: dura; lg: ligeiramente; fr: friável; pl: plástico; pg: pegajoso. (3)pl: plana; dif: difusa; grd: gradual.

Apesar da distância de aproximadamente 60 km entre o primeiro perfil do transecto e o último, e uma variação de 135 m de altitude, os desníveis são muito pequenos e os solos apresentam grande similaridade em suas características. Demattê et al. (1996), estudando a gênese de uma sequência Latossolo Amarelo concluiu que um dos principais fatores de formação dos solos é o relevo. Os solos do transecto estudado são muito profundos, apresentando o horizonte Bw2 com profundidade superior a 200 cm, com textura variando de média a argilosa, o que é compatível com a natureza dos materiais de origem (sedimentos derivados de arenito e folhelho). A pequena variação do relevo ao longo do transecto não tem influência na variação dos teores de argila.

De maneira geral, todos os perfis apresentaram pouca variação de cor, com coloração predominantemente brunada, com pouca diferenciação entre os horizontes. Apresentam sequência de horizontes A-AB-BA-Bw1-Bw2. Na figura 10 podem ser observados os três perfis.

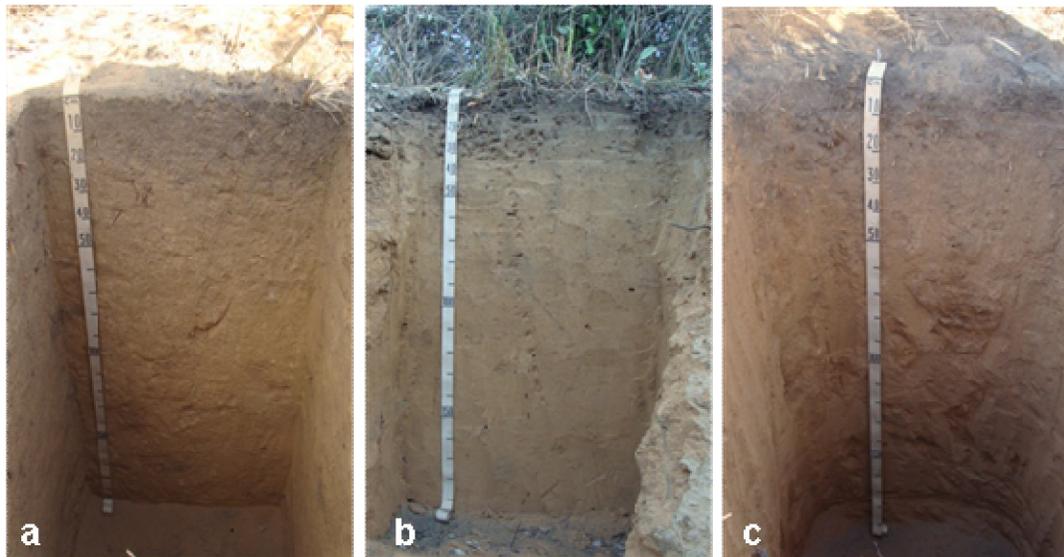


Figura 10. a) P1- LATOSSOLO AMARELO textura média; b) P2 - LATOSSOLO AMARELO textura argilosa e c) P3 - LATOSSOLO AMARELO textura argilosa.

O horizonte A dos perfis foi identificado como moderado devido a sua espessura, teor de CO, saturação por bases, cor e estrutura, não se enquadrando no conjunto de definições dos demais horizontes superficiais. Estes horizontes são fracamente desenvolvidos, com espessura aproximada de 20 cm. Apresentam coloração bruno-escuro e bruno-acinzentado-escuro,

textura franco-arenosa e franco-argila-arenosa, estrutura em blocos subangulares e granular, com transições graduais e planas para os horizontes subjacentes. Gomes et al. (2004) encontraram estrutura granular no horizonte A de 18 Latossolos do Cerrado da região central do Brasil. Segundo Resende et al. (2002), ciclos de umedecimento e secagem sobre esse horizonte favorece a formação desta estrutura.

A cor úmida (Munsell) do horizonte Bw, que representa um dos principais atributos morfológicos na distinção de subclasses de solos (Embrapa, 2006), verificou-se no matiz 7,5YR com valor 5 e croma 6 a 8 (bruno-forte) nos três perfis. Todos os horizontes dos três perfis apresentaram matiz com maior participação de amarelo, indicando a presença de goethita.

Gomes et al. (2004) encontraram estrutura granular no Bw de 18 Latossolos do Cerrado de Goiás e Minas Gerais. Diferentemente dos resultados obtidos pelos referidos autores, a estrutura do horizonte Bw dos três perfis é predominantemente em blocos subangulares, apresentando aspecto maciço poroso pouco coeso. Segundo Ker (1998) a ausência virtual de gibbsita parece ser a causa principal da estrutura em blocos subangulares fracamente desenvolvida e de pouca estabilidade em água, característica de Latossolos Amarelos. A consistência é dura e ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa em todos os perfis. Apresentam muitos poros ao longo de todos os perfis e a transição entre horizontes Bw1 e Bw2 é difusa e plana.

Os Latossolos Amarelos analisados não apresentam coesão, pois, segundo Ribeiro (2001) o caráter coeso é uma característica pedogenética típica de horizontes subsuperficiais (AB, BA e, ou, parte do Bw), encontrada normalmente entre 30 e 70 cm da superfície do solo, que são muito duros a extremamente duros, quando secos, passando a friável ou firme, quando úmidos.

### **3.2 Atributos físicos dos Latossolos**

Os atributos físicos dos solos analisados são mostrados na tabela 2. A análise das frações granulométricas dos solos revelou dominância da fração areia, que oscilou entre 766 a 578 g kg<sup>-1</sup> no P1; 723 a 552 g kg<sup>-1</sup> no P2 e 675 a

501 g kg<sup>-1</sup> no P3. O teor de argila aumentou com a profundidade nos três perfis, propiciando uma predominância de horizontes que se enquadram nas classes texturais franco-argilo-arenosa e argilo-arenosa (Embrapa, 2006). Observa-se também uma variação da granulometria dos solos ao longo do transecto, com valores de argila inferiores no perfil P1, aumentando até o perfil P3. Esta variação demonstra a influência do material de origem na textura do solo. A contribuição do arenito é mais intensa no início da Serra (Perfil P1), diminuindo ao longo do transecto, quando aumenta a contribuição do folhelho propiciando uma textura mais argilosa (perfis P2 e P3).

**Tabela 2.** Caracterização física dos perfis de Latossolos Amarelos.

Horizonte	Areia		Silte	Argila	Classe textural <sup>(1)</sup>	ADA <sup>(2)</sup>	GF <sup>(3)</sup>	Silte/argila	Ds <sup>(4)</sup>	Dp <sup>(5)</sup>	PT <sup>(6)</sup>
	Fina	Grossa									
-----g kg <sup>-1</sup> -----											
						g kg <sup>-1</sup>	%	-----Mg m <sup>-3</sup> ----			%
<b>Perfil P1</b>											
A	442	324	66	168	fr.-are.	83	51	0,39	1,23	2,63	53
AB	481	245	59	214	fr.-arg.-are.	123	42	0,28	1,31	2,53	48
BA	444	222	63	271	fr.-arg.-are.	178	34	0,23	1,28	2,56	50
Bw1	403	184	78	335	fr.-arg.-are.	0	100	0,23	1,24	2,70	54
Bw2	396	182	94	329	fr.-arg.-are.	0	100	0,29	1,26	2,60	51
<b>Perfil P2</b>											
A	429	294	56	221	fr.-arg.-are.	110	50	0,25	0,96	2,56	62
AB	464	232	47	256	fr.-arg.-are.	156	39	0,18	1,22	2,63	54
BA	359	193	52	395	arg.-are.	219	45	0,13	1,31	2,51	48
Bw1	360	197	48	395	arg.-are.	2	100	0,12	1,23	2,70	55
Bw2	377	189	63	370	arg.-are	2	99	0,17	1,12	2,70	58
<b>Perfil P3/CN</b>											
A	371	304	63	262	fr.-arg.-are.	117	56	0,24	0,84	2,60	68
AB	389	237	55	319	fr.-arg.-are.	177	44	0,17	1,27	2,64	52
BA	331	219	44	406	arg.-are	221	46	0,11	1,17	2,63	56
Bw1	337	205	40	417	arg.-are	1	100	0,10	1,18	2,53	53
Bw2	342	159	87	413	arg.-are	0	100	0,21	1,13	2,70	58

(1) fr. – franco; arg. – argilo; are. – arenosa; (2) ADA – argila dispersa em água; (3) GF – grau de floculação; (4) Ds – densidade do solo; (5) Dp – densidade das partículas e (6) Pt – porosidade total.

A baixa variação textural em profundidade, associada aos baixos valores de silte (40 a 94 g kg<sup>-1</sup>) e da relação silte/argila (0,10 a 0,39), considerando todos os horizontes, revelam o avançado grau de intemperismo dos solos dos três perfis, permitindo correspondência com a classe dos Latossolos (Embrapa,

2006). Estes resultados são semelhantes aos encontrados por Demattê et al. (1996) e Pereira et al. (2010).

Observa-se na tabela 2 que os teores de argila dispersa em água (ADA), considerando os três perfis, diminuíram de 83 a 117 vezes em profundidade, tendo atingido 0 a 2% nos horizontes Bw. Segundo Alleoni e Camargo (1994), um dos fatores que pode concorrer para um valor mais elevado de ADA na camada superficial é o seu maior teor de CO, porque a matéria orgânica constitui uma das principais fontes de carga negativa dos solos (Raij e Peech, 1972). Há relatos de dispersão de caulinita devido à ação de ânions orgânicos produzidos pela decomposição da matéria orgânica e por exsudados de raízes (Oades, 1984). A presença de uma carga líquida variável produz forças repulsivas que são suficientemente grandes, particularmente em baixas concentrações de eletrólito, para sobrepujarem as forças eletrostáticas de atração. Neste caso, então, grande parte da argila permanece dispersa (Alleoni; Camargo, 1994).

Entretanto, quando comparado o grau de floculação (GF) da argila do horizonte A com dos horizontes transicionais nos três perfis (Tabela 2), observa-se um decréscimo neste parâmetro. Segundo Albuquerque et al. (2005), a ação conjunta da matéria orgânica, atividade microbiana, sistema radicular e concentração de cátions trocáveis, bem como a ação dos ciclos de umedecimento e secagem são responsáveis pelo aumento do GF na camada superficial.

Nos perfis estudados a densidade do solo ( $D_s$ ) variou de 0,84 a 1,31  $Mg\ m^{-3}$ . De acordo com Ferreira et al. (2010), a  $D_s$  dos horizontes superficiais de Latossolos sob vegetação nativa é baixa, geralmente menor que 1,0  $Mg\ m^{-3}$ . Dos três perfis analisados apenas o horizonte A dos perfis P2 e P3 apresentaram valores inferiores a 1,0  $Mg\ m^{-3}$ . O perfil P1 sofre pisoteio de animais, o que pode ter elevado a  $D_s$  do horizonte A deste solo, além disto, este perfil apresenta menor teor de CO e maior de areia. Nos três perfis a  $D_s$  do horizonte A foi inferior aos demais horizontes, devido ao maior teor de CO encontrado neste horizonte (Tabela 3).

A densidade das partículas ( $D_p$ ) dos perfis analisados variou de 2,70 a 2,51  $Mg\ m^{-3}$ , com média de 2,61  $Mg\ m^{-3}$  (Tabela 2). Ghidin et al. (2006),

encontraram uma Dp média de  $2,82 \text{ Mg m}^{-3}$  em Latossolos originados de rocha básica e Cunha et al. (2005) de  $2,45 \text{ Mg m}^{-3}$  em Latossolos originados de rochas ácidas. As rochas ácidas apresentam maiores teores de quartzo e, conseqüentemente, menores Dp quando comparadas com rochas básicas, que apresentam teores mais elevados de compostos de ferro que elevam a Dp (Ferreira et al., 2010). Os Latossolos analisados são provenientes de rochas sedimentares com predominância de sílica e caulinita, por isto apresentam Dp intermediárias. Observa-se também um aumento da Dp ao longo dos perfis, o que é justificado pela presença de matéria orgânica nos horizontes superficiais, resultado também encontrado por Rosa et al. (2003).

A porosidade total (Pt) dos solos estudados ficou abaixo de 60% em todos os horizontes, com exceção dos horizontes A do perfil P2 e P3, devido a sua menor Ds (Tabela 2), associada ao maior teor de CO (Tabela 3). A média da Pt foi de 55%. Este valor, aliado a textura média confere aos solos condições de drenagem acentuada.

Os Latossolos Amarelos analisados não apresentam coesão, pois, o horizonte coeso, quando existe, se caracteriza pelo aumento da densidade do solo e redução da porosidade total em relação aos horizontes adjacentes (Ribeiro, 1996; Jacomine, 2001). A densidade dos solos da Serra do Quilombo não ultrapassou  $1,31 \text{ kg dm}^{-3}$ , e a porosidade total variou de 48 a 56% (Tabela 2). Lima Neto et al. (2009), encontraram densidades dos horizontes coesos em Latossolos Amarelos dos Tabuleiros Costeiros do Estado de Alagoas na faixa de  $1,45$  a  $1,54 \text{ kg dm}^{-3}$  e valores inferiores de porosidade em relação aos demais horizontes, variando entre 41 e 44%. Souza et al. (2004) também estudando Latossolos Amarelos dos Tabuleiros Costeiros, em Cruz das Almas – BA, encontraram densidade do solo de  $1,70 \text{ kg dm}^{-3}$  e porosidade de 31,5%. Estes valores discrepantes em relação aos solos das chapadas altas do Piauí confirmam a ausência de coesão nestes solos.

### **3.3 Atributos químicos e mineralógicos dos Latossolos**

Os valores de pH dos perfis da topossequência foram relativamente baixos (Tabela 3), enquadrando-se na classe de reação como solo fortemente ácido (Embrapa, 2006), com pH nos horizontes A dos três perfis chegando a 4,5 e 3,5, em água e KCl, respectivamente. O pH aumentou com a

profundidade, chegando a 5,6 em água e 4,3 em KCl nos horizontes Bw2. Este parâmetro reflete as condições climáticas da região, pois a precipitação média anual de 1000 mm favorece a lixiviação das bases promovendo a acidificação do solo. O  $\Delta\text{pH}$  foi mantido negativo ao longo dos três perfis, indicando carga líquida negativa, refletindo a natureza caulínica e a pobreza química destes solos (Melo et al., 2006).

**Tabela 3.** Caracterização química dos perfis de Latossolos Amarelos.

Horizonte	pH (1:2,5)			Complexo sortivo ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )									
	Água	KCl	$\Delta\text{pH}$	$\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$	$\text{K}^+$	$\text{Na}^+$	Valor S	$\text{H}^+$	$\text{Al}^{3+}$	Valor T	Valor V (%)	m (%)	CO $\text{dag kg}^{-1}$
<b>Perfil P1</b>													
A	4,5	3,5	-1,0	0,4	0,02	0,01	0,4	3,9	1,4	5,6	7	78	1,14
AB	5,0	3,9	-1,1	0,5	0,00	0,01	0,5	1,3	0,7	2,5	21	58	0,56
BA	5,3	4,0	-1,3	0,4	0,00	0,01	0,4	0,8	0,7	1,9	21	64	0,42
Bw1	5,5	4,2	-1,3	0,6	0,00	0,01	0,6	0,9	0,4	1,8	31	42	0,38
Bw2	5,6	4,3	-1,3	0,7	0,00	0,01	0,7	0,6	0,5	1,7	40	40	0,36
<b>Perfil P2</b>													
A	4,5	3,5	-1,0	0,9	0,04	0,02	0,9	6,4	1,4	8,8	11	60	1,45
AB	4,7	3,9	-0,8	0,6	0,01	0,01	0,6	2,6	0,9	4,2	15	59	0,70
BA	5,0	4,0	-1,0	0,6	0,00	0,00	0,6	2,1	0,7	3,4	17	55	0,57
Bw1	5,0	4,1	-0,9	0,5	0,00	0,00	0,5	1,5	0,6	2,5	18	56	0,40
Bw2	4,9	4,2	-0,6	0,7	0,00	0,00	0,7	1,4	0,5	2,6	26	44	0,46
<b>Perfil P3/CN</b>													
A	4,8	3,5	-1,3	0,7	0,03	0,03	0,8	8,4	1,8	10,9	7	70	1,72
AB	5,2	4,0	-1,2	0,6	0,01	0,01	0,6	4,3	1,1	6,0	10	64	0,80
BA	5,4	4,1	-1,3	0,7	0,00	0,01	0,7	2,0	0,8	3,5	20	53	0,64
Bw1	5,5	4,2	-1,4	0,7	0,00	0,00	0,7	1,5	0,6	2,9	25	45	0,53
Bw2	5,4	4,3	-1,1	0,6	0,00	0,00	0,6	1,8	0,7	3,0	21	51	0,56

O valor S (soma de bases) variou de 0,4 a 0,9  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  no horizonte A dos solos analisados, sendo maior nos perfis P2 e P3. Estes dois perfis apresentaram um teor de argila maior que o P1, aumentando a capacidade de adsorção de cátions. O P2 apresentou um teor maior de  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  no horizonte A que decresceu com a profundidade, reação diferente dos perfis P1 e P3. Os teores de  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  se aproximaram de zero, concordando com os valores encontrados por Matias et al. (2009) para o  $\text{K}^+$ , no Cerrado nativo do Piauí. Conforme Mielniczuk (1977), em ambientes com elevadas temperaturas, precipitações e boa drenagem, o feldspato se transforma diretamente em

caulinita e o  $K^+$  é facilmente lixiviado. Além disto, o arenito, material de origem destes solos, é uma rocha pobre em elementos básicos. Os teores de  $Al^{3+}$  e  $H^+$  decresceram com a profundidade. De acordo com Menezes et al. (2005), teores de  $Al^+$  superiores a  $0,8 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  são considerados altos. Os horizontes A dos perfis apresentaram valores superiores ao preconizado por Menezes et al. (2005). Segundo Inda Junior et al. (2007), a formação de complexos organometálicos com o  $Al^+$  eleva a resistência da matéria orgânica e minimiza as perdas de  $Al^+$ .

O valor T (CTC) diminuiu com a profundidade, acompanhando a diminuição do  $H^+$  e  $Al^+$ , característica marcante dos Latossolos. O CO contribuiu para a CTC mais elevada no horizonte A, pois as cargas dependentes de pH nestes solos são originadas predominantemente pela matéria orgânica (Fontes et al., 2001). Dessa forma, a dinâmica da CTC é muito influenciada pelos teores de matéria orgânica no solo. Nos horizontes Bw, a caulinita, predominante nestes solos, é o mineral que contribui com a CTC. Os Latossolos Amarelos analisados apresentaram valores de pH,  $Ca^{2+}+Mg^{2+}$ ,  $H^+$ ,  $Al^+$ , valor S e CTC próximos aos reportados por Jacomine et al. (1986) para os Latossolos do Sudoeste do Piauí. O perfil P1 apresentou a menor CTC, o que pode ser atribuído ao menor teor de argila deste perfil.

Inversamente à CTC, a saturação por bases (V) aumentou com a profundidade devido ao decréscimo de hidrogênio ao longo do perfil, caracterizando estes solos como distróficos. Os valores de V variaram de 7 a 40%. Observa-se na tabela 3 um aumento do valor S e CTC ao longo do transecto. O perfil P1 apresenta menores valores de S e CTC, aumentando do P2 para o P3. Este aumento, provavelmente, está relacionado com o crescente teor de argila ao longo do transecto (Tabela 2).

A saturação por alumínio (m) foi mais alta nos horizontes superficiais, concordando com os resultados obtidos por Ferreira et al. (2010). A m teve valores expressivos nos horizontes superficiais, 78, 60 e 70% para P1, P2 e P3, respectivamente, e apenas três, entre todos os horizontes, apresentaram valores menores que 50%.

O teor de CO nos três perfis é bem mais expressivo no horizonte A, que está relacionado ao aporte de matéria orgânica proporcionada pela vegetação nativa. Este teor decresceu gradualmente com a profundidade nos três perfis.

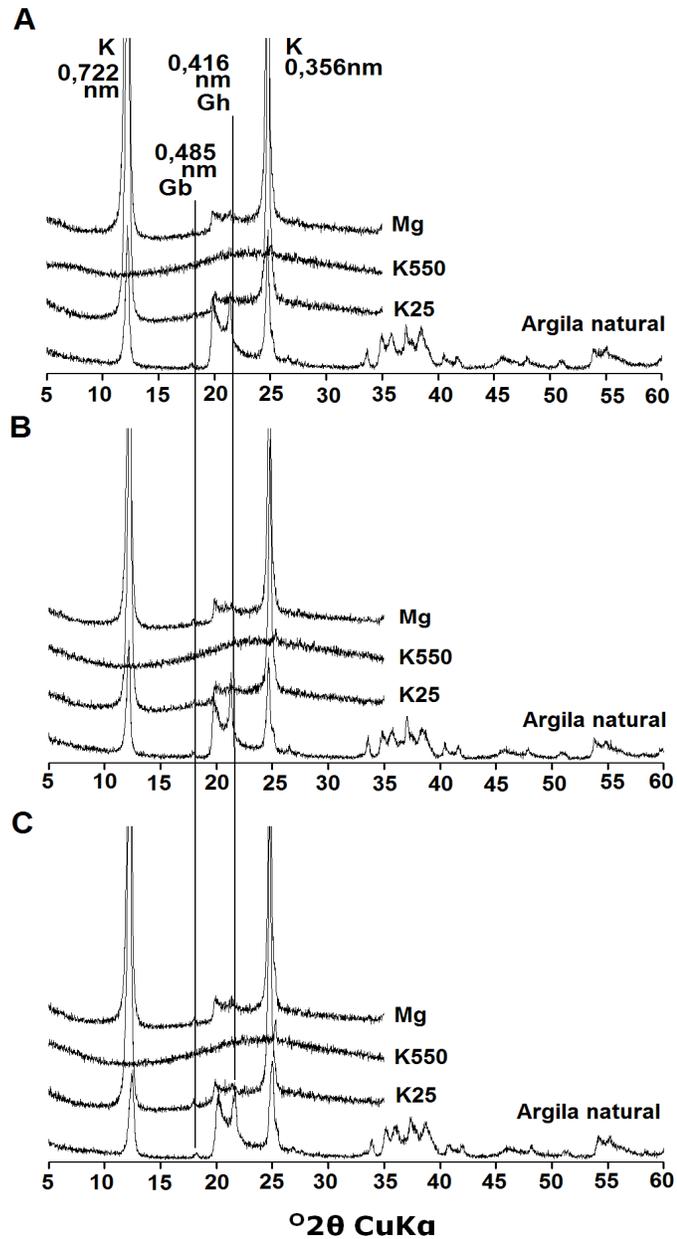
Pelos resultados da caracterização química, os Latossolos Amarelos analisados não apresentam caráter ácido, pois os Latossolos ácidos são caracterizados pela baixa capacidade de troca catiônica, igual ou inferior a  $1,5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  de argila, principalmente em subsuperfície, onde o pH em KCl é igual ou superior a 5,0 ou o pH em  $\text{H}_2\text{O}$  é frequentemente menor ou igual ao pH em KCl, resultando em delta pH positivo ou nulo (Embrapa, 2006).

Os resultados das análises mineralógicas por DRX são apresentados na figura 11. A constituição mineralógica das amostras estudadas é essencialmente caulinítica, com presença de gibbsita e goethita, ou seja, minerais típicos de solos altamente intemperizados e comumente identificados em Latossolos (Ker, 1998). Segundo Demattê et al. (1996) solos com boa drenagem e condições climáticas adequadas, a dessilicatização é intensa e a tendência é a formação de minerais menos ativos, como a caulinita, que domina, com pouca contribuição de gibbsita e goethita. A presença deste último é condizente com a cor amarela dos Latossolos analisados (Ker, 1998).

A caulinita foi identificada pelos picos em 0,724 e 0,356 nm que colapsaram com tratamento térmico a  $550^\circ\text{C}$ . A gibbsita foi identificada pelos picos de difração em 0,485 e 0,437 nm, e a goethita foi identificada através do pico de difração relativo ao espaçamento basal em 0,416 nm, este último mineral foi identificado na amostras de argila natural.

Os teores de óxidos totais provenientes do ataque sulfúrico, índices Ki e Kr e relação  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$  dos solos do transecto podem ser observados na tabela 4. Os dados do ataque sulfúrico demonstram que os teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  são baixos e variaram em uma faixa muito larga, ficando entre 22,9 a  $41,3 \text{ g kg}^{-1}$  no horizonte A e 48,0 a  $60,0 \text{ g kg}^{-1}$  no horizonte Bw2, para as amostras de solos, entretanto se enquadram dentro da faixa preconizada por Jacomine et al. (1986) e Ker (1998) para Latossolos Amarelos. Os três perfis apresentaram teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  mais altos nos horizontes subsuperficiais, assim como, menores valores Ki e Kr nestes horizontes, com exceção do P1 que apresentou Ki ligeiramente mais alto que no horizonte A. Os teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  encontrados

nos perfis analisados permitem classificá-los como hipoférricos, considerado baixo de acordo com os critérios do SBCS (Embrapa, 2006).



**Figura 11.** Difratoformas de raios X da fração argila de horizontes Bw de Latossolos Amarelo da Serra do Quilombo. (A - Perfil P1; B - Perfil P2; C - Perfil P3/CN; K – caulinita; Gb – gibbsita; Gh - goethita).

Os valores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  variaram em uma faixa maior do que os valores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , ficando entre 59,2 a 132,6  $\text{g kg}^{-1}$  no horizonte A e 99,9 a 145,3  $\text{g kg}^{-1}$  no horizonte Bw2, nos três perfis. Os teores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{SiO}_2$  aumentaram em profundidade, com exceção do P2, tendo como consequência o aumento expressivo dos valores Ki e Kr no horizonte A em relação aos demais, porque o valor de sílica aumentou em proporção semelhante ao  $\text{Al}_2\text{O}_3$  neste perfil. Os teores  $\text{Al}_2\text{O}_3$  apresentaram valores diferentes dentro e entre os perfis, indicando que ocorre uma variação na contribuição do material de origem ao longo do transecto, o que pode ser comprovado também com a variação textural ao longo desta sequência de perfis (Tabela 2). Andrade et al. (1997) observaram que o material de origem dos solos por eles estudados em uma topossequência era heterogêneo, pois a distribuição em profundidade de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  era irregular ao longo da sequência.

**Tabela 4.** Teores de óxidos extraídos na TFSA pelo ataque sulfúrico e índice Ki e Kr de Latossolos Amarelos.

Horiz	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{TiO}_2$	MnO	Ki	Kr	$\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$
	g $\text{kg}^{-1}$ solo							
<b>Perfil P1</b>								
A	88,0	59,2	22,9	30,6	0,1	2,53	2,03	0,75
Bw2	218,0	145,3	60,0	90,7	0,1	2,55	2,02	0,66
<b>Perfil P2</b>								
A	212,0	132,6	41,3	71,1	0,1	2,72	2,27	0,58
Bw2	141,0	99,9	48,0	48,3	0,1	2,40	1,84	0,99
<b>Perfil P3/CN</b>								
A	11,3	81,1	35,8	35,6	0,1	2,37	1,85	1,00
Bw2	177,0	139,2	52,5	66,6	0,1	2,16	1,74	0,79

Comportamento similar aos  $\text{Al}_2\text{O}_3$  foi observado com os teores de  $\text{TiO}_2$ , que decresceu do horizonte A para o Bw2 no P2 e cresceu nos outros perfis. Os teores de  $\text{TiO}_2$  variaram entre e dentro dos perfis, apesar de serem bem mais resistentes aos processos de redução e consequente remoção que os óxidos de Fe (Oliveira et al., 1991). Segundo Pereira et al. (2010) as variações nos teores de  $\text{TiO}_2$  em maiores profundidades sugerem a ocorrência

de descontinuidade litológica. Os teores de MnO foram muito baixos e não variaram nos três perfis. Este resultado foi semelhante ao encontrado por Ferreira et al (2010).

Os índices Ki dos perfis estudados foram altos, acima dos valores esperados para o horizonte Bw dos Latossolos Amarelos do Piauí. Segundo Jacomine et al. (1986), a relação molecular Ki destes solos encontra-se normalmente na faixa de 1,8 e 2,2, considerada mais elevada do que a de grande parte dos Latossolos tropicais. A relação molecular Kr dos perfis ficou muito acima do valor esperado para estes solos, que é de 1,40 (Jacomine et al., 1986).

A relação  $Fe_2O_3/TiO_2$  tem sido usada para evidenciar os efeitos da drenagem na coloração de Latossolos, onde os baixos valores representam condições de drenagem deficiente (Alleoni; Camargo, 1994). Desta forma, presume-se que em algum momento da evolução dos solos estudados a drenagem foi deficiente, com base nos baixos teores da relação  $Fe_2O_3/TiO_2$ .

#### **4. CONCLUSÕES**

A relação solo-paisagem na Serra do Quilombo está intimamente relacionada com a geologia e a geomorfologia. As características dos solos indicam a contribuição do material proveniente da decomposição das rochas e sedimentos subjacentes, pois apresentam características influenciadas pelo substrato geológico.

Os atributos dos solos do transecto convergem para uma única classe de solo, a dos Latossolos. Entretanto, os resultados indicam que estes solos são formados de materiais de origem da mesma formação geológica, no entanto, com diferentes contribuições das diversas rochas, envolvendo arenitos, folhelhos e materiais transportados, o que pode ser comprovado pela variação textural e dos teores de óxidos.

As características dos solos verificadas na Serra do Quilombo não diferem do padrão comumente observado nas chapadas do Brasil, entretanto, estes Latossolos diferem dos Latossolos coesos da Formação Barreiras e dos Latossolos ácricos

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, R. B DE; GOMES, J. R. DE C. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea, estado do Piauí: diagnóstico do município de Bom Jesus. Fortaleza: CPRM - Serviço Geológico do Brasil. 2004.

ALBUQUERQUE, J. A.; ARGENTON, J.; BAYER, C.; WILDNER, L. DO P.; KUNTZE, M. A. G. Relação de atributos do solo com a agregação de um Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de verão para cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 415-424, 2005.

ALLEONI, L.R.F.; CAMARGO, O.A. de. Atributos físicos de Latossolos Ácricos do norte paulista. **Scientia agrícola**, Piracicaba, v. 51, n. 2, p. 321-326, 1994.

ANDRADE, H.; SCHAEFER, C. E.; DEMATTÊ, J. L. I.; ANDRADE, F.V. Pedogeomorfologia e micropedologia de uma sequência latossolo – areia quartzosa hidromórfica sobre rochas cristalinas do Estado do Amazonas. **Geonomos**, Ouro Preto, v. 5, n. 1, p: 55-66, 1997.

BROWN, G.; BRINDLEY, G.W. X-ray Diffraction Procedures for clay mineral Identification. In: BRINDLEY, G.W; BROWN, G. London: Mineralogical Society, 1980 chapter 5, p. 305-360.

CAMPOS, M. C. C; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; CAMARGO, R. M.; ARANTES, L. Relações solo-paisagem em uma litossequência arenito-basalto na região de Pereira Barreto, SP. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 519-529, 2007

CASSETI, V.; DIAS, R. R.; BORGES, R. S. T. Projeto de Gestão Ambiental Integrada da Região do Bico do Papagaio. Zoneamento Ecológico-Econômico. Secretaria do Planejamento e Meio Ambiente (Seplan). Imperatriz. Geomorfologia da Folha SB.23-V-C. Estado do Tocantins. 2.ed. Palmas, Seplan/DZE, 2004.

CASSETI, V. Elementos de Geomorfologia. Goiânia, Editora da UFG, 1994. 137p.

CARVALHO, J. P. de. Enquete # 35 - Vertissolos x Latossolos ácidos. Disponível em: < <http://www.pedologiafacil.com.br/enquetes/enq35.php>>. Acesso em 3 fev. 2011

CASTELO BRANCO, R. M. G.; COIMBRA, A. M. 1984. Contribuição ao conhecimento tecto-magmático da borda sul da bacia do Parnaíba. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 33, Rio de Janeiro. Boletim... Rio de Janeiro, SBG. V.2. p. 84

COELHO, M. R.; FIDALGO, E. C. C.; ARAÚJO, F. DE O.; SANTOS, H. G. DOS; SANTOS, M. DE L. M. V.; PÉREZ, D. V.; MOREIRA, F. M. DE S. Levantamento pedológico de uma área-piloto relacionada ao projeto BiosBrasil (Conservation and Sustainable Management of Below-Ground Biodiversity: Phase I), Município de Benjamin Constant (AM): Janela 6. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2005. 95 p. – (Boletim de pesquisa e desenvolvimento; n. 68).

CORREA, M. M. et al. Caracterização física, química, mineralógica e micromorfológica de horizontes coesos e fragipãs de solos vermelhos e amarelos do ambiente Tabuleiros Costeiros. Revista Brasileira de Ciência Solo. 2008, vol.32, n.1, pp. 297-313.

CUNHA, F. M. B. da. Evolução da Bacia do Parnaíba e seu arcabouço tectônico. Dissertação (Mestrado em Geociência). Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1986. 107 p

DEMATTÊ, J.L.I.; MAZZA, J.A.; DEMATTÊ, J.A.M. Caracterização e gênese de uma topossequência Latossolo Amarelo-podzol originado de material da Formação Barreiras - Estado de Alagoas. **Scientia agrícola**, Piracicaba, v. 53, n. 1. 1996.

EMBRAPA Informática Agropecuária - Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura ([www.agritempo.gov.br/agroclima/plotpesq](http://www.agritempo.gov.br/agroclima/plotpesq)). Acesso em: 10 mar 2010.

EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.

EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006. 306 p 2 ed.

ESPIG, S. A.; REIS, I. A.; ARAÚJO, E. P.; FORMAGGIO, A. R. Relação entre o fator de reflectância e o teor de Óxido de Ferro em Latossolos Brasileiros. In: Anais... XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril, INPE, p. 371-379, 2005.

FERREIRA, C. A.; SILVA, A. C.; TORRADO, P. V.; ROCHA, W. W. Genesis and classification of Oxisols in a highland toposequence of the Upper Jequitinhonha Valley (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 195-209, 2010.

FONTES, M. P. F., CAMARGO, O. A. de, SPOSITO, G. Eletroquímica das partículas coloidais e sua relação com a mineralogia de solos altamente intemperizados. **Scientia agricola**, v. 58, p. 627-646, 2001.

GÓES, A. M. O. A Formação Poti (Carbonífero Inferior) da bacia do Parnaíba. Tese (Doutorado em Geociências), São Paulo: Universidade de São Paulo, 1995. 171 p.

GÓES, A. M. O.; FEIJÓ, J. F. Bacia do Parnaíba. Boletim de Geociências da PETROBRAS, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 57-67, 1994.

GOMES, J.B.V., CURI, N., SCHULZE, D.G., MARQUES, J.J.G.S.M., KER, J.C.; MOTTA, P.E.F. Mineralogia, morfologia e análise microscópica de solos do bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 679-694, 2004.

GUIDIN, A. A.; MELO, V. de F.; LIMA, V.C.; LIMA, J.M.J.C. Topossequências de Latossolos originados de rochas basálticas no Paraná: II- relação entre mineralogia da fração argila e propriedades físicas dos solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 307-309, 2006.

INDA JUNIOR, A. V.; BAYER, C.; CONCEIÇÃO, P. C.; BOEN, M.; SALTON, J. C.; TONIN, A. T. Variáveis relacionadas à estabilidade de complexos organo-minerais em solos tropicais e subtropicais brasileiros. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, p. 1301-1307, 2007.

INDA JUNIOR, A. V.; KÄMPF, N. Avaliação de procedimentos de extração dos óxidos de ferro pedogênicos com ditionito-citrato -bicarbonato de sódio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 1139-1147, 2003.

JACKSON, M.L. **Soil chemical analysis** – Advanced course. Madison: Department of Soil Science, University of Wisconsin. 1979. 895p.

JACOMINE, P.K.T. et al. Levantamento exploratório. Reconhecimento de solos do Estado do Piauí. Rio de Janeiro. EMBRAPA-SNLCS/SUDENE-DRN. 1986. 782 p ilustr.

JACOMINE, P.K.T. Evolução do conhecimento sobre solos coesos no Brasil. In: Workshop coesão em solos dos Tabuleiros Costeiros, 2001, Aracajú. Anais. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001. p.19-46

KER, J. C. Latossolos do Brasil: uma revisão. Geonomos, v5, p. 17-40, 1998.

KÄMPF, N. e CURI, N. Argilominerais em solos brasileiros. In: CURI, N.; MARQUES, J.G.S.M.; GUILERME, L.R.G.; LIMA, J.M.; LOPES, A.S.; ALVARES, V.H.V. eds. Tópicos em ciência do solo, Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 3, p. 1-54, 2003.

LIMA FILHO, F. P. 1992. Fácies e ambientes deposicionais da Formação Piauí (Pensilvaniano) da bacia do Parnaíba. **Geodiversitas** – USP, Série Científica, n 23, p.27

LIMA NETO, J. de A. et al. Caracterização e gênese do caráter coeso em Latossolos Amarelos e Argissolos dos tabuleiros costeiros do estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência Solo**. 2009, vol.33, n.4, pp. 1001-1011.

LYNCH, L. S. Gênese e geoquímica de solos em ambiente cárstico no Cerrado da região de Planaltina de Goiás. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2009. 156 p.

MARQUES JÚNIOR, J.; LEPSCH, I.F. Depósitos superficiais neocenozóicos, superfícies geomórficas e solos em Monte Alto, SP. *Geociências*, v. 19, p. 90-106, 2000.

MATIAS, M. da C. B.; SALVIANO, A. A. C.; LEITE, L. F. C.; GALVÃO, S. R. da S. Propriedades químicas em Latossolo Amarelo de Cerrado do Piauí sob diferentes sistemas de manejo. **Revista de Ciências Agrônômicas**. v. 40, p. 356-362, 2009.

MELO, V. F.; SCHAEFER, C. R. G. R.; FONTES, L. E. F.; CHAGAS, A. C.; LEMOS JÚNIOR, J. B.; ANDRADE, R. P. Caracterização física, química e mineralógica de solos da colônia agrícola do Apiaú (Roraima, Amazônia), sob diferentes usos e após queima. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 1039-1050, 2006

MENEZES, R. S. C., M. S. GARRIDO, A. M. PEREZ M. Fertilidade dos Solos no Semi-Árido. Anais do XXX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Recife, 17-22 de julho de 2005. CD-ROM.

MESNER, J.C.; WOOLDRIDGE, L. C. Maranhão Paleozoic Basin and Cretaceous Coastal Basins, Northern Brasil. **Bulletin of the American Association Petroleum Geologists**, Tulsa, v. 48, n 9, p. 1475–1512, 1964

MIELNICZUK, J. Formas de potássio em solos do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.1, p. 55-61, 1977.

MOORE, D. M.; REYNOLDS, R.C. **X-ray diffraction and identification and analysis of clay minerals**. Oxford: Oxford University Press, 1989. 332 p.

OADES, J.M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. *Plant and Soil*, The Hague, v.76, p.319-337, 1984.

OLIVEIRA, J.B.; RESENDE, M.; CURI, N. Caracterização e classificação de Latossolos Variação Una e de solos afins da região de Guaíra, SP. *R. Bras. Ci. Solo*, 15:207-218, 1991.

PARK, S.J.; BURT, T.P. Identification and characterization of pedogeomorphological processes on a hillslope. **Soil Science Society of America Journal**, v. 66, p. 1897-1910, 2002.

PRADO, H., VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. Relação entre balanço de cargas elétricas, matéria orgânica e soma de bases em perfis de Latossolos ácidos do Brasil. Disponível em: <[http://www.pedologiafacil.com.br/artig\\_8.php](http://www.pedologiafacil.com.br/artig_8.php)>. Acesso em 3 fev. 2011

RAIJ, B. VAN; PEECH, M. Electrochemical properties of some Oxisols and Alfisols of the tropics. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.36, p.587-593, 1972.

RATTER, J.A.; RIBEIRO, J.F.; BRIDGEWATER, S. The Brazilian Cerrado vegetation and Threats to its Biodiversity. *Annals of Botany*, 80: p. 223–230, 1997.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B.; CORRÊA, G.F. *Pedologia: base para distinção de ambientes*. Viçosa, NEPUT, 2002. 338p.

RIBEIRO, L.P. Gênese, evolução e degradação dos solos amarelos coesos dos Tabuleiros Costeiros. In: Reunião técnica sobre solos coesos dos Tabuleiros Costeiros, Cruz das Almas. *Anais*. Aracaju: Embrapa-CPATC, 1996. p.27-35.

RIBEIRO, L.P. Evolução da cobertura pedológica dos tabuleiros costeiros e a gênese dos horizontes coesos. In *Workshop coesão em solos dos Tabuleiros Costeiros*, Aracaju. *Anais*. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, p.93-121, 2001.

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

SANTOS, H. G. dos et al. Levantamento semidetalhado dos solos da microbacia do Ribeirão São Domingos, Estado de Minas Gerais. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2004, 81 p. - (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento; n. 45)

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. *Manual de descrição e coleta de solo no campo*. 5.ed. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 100p.

SCHOORL, J.M.; SONNEVELD, M.P.W.; VELDKAMP, A. Three dimensional landscape process modeling: The effect of DEM resolution. *Earth Surface Proc Landforms*, 25:1025-1034. 2000.

SOUZA, L. D.; CUNHA SOBRINHO, A. P. da; RIBEIRO, L. Da S.; SOUZA, L. da S.; LEDO, C. A. Da S. 2 Avaliação de plantas cítricas, em diferentes profundidades de plantio, em Latossolo Amarelo dos Tabuleiros Costeiros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 26, n. 2, 2004, p. 241-244.

STOLT, M.H.; BAKER, J.C.; SIMPSON, T.W. Soil-landscape relationships in Virginia: I. Soil variability and parent material uniformity. **Soil Science Society of America Journal**, 57:414-421, 1993.

WEBER, O.L.S.; CHITOLINA, J.C.; CAMARGO, O.T. de; ALLEONI, L.R.F. Cargas elétricas estruturais e variáveis de solos tropicais altamente intemperizados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 867-873, 2005

## **CAPÍTULO II**

### **EFEITOS DO PLANTIO DIRETO SOBRE ATRIBUTOS MORFOLÓGICOS E FÍSICOS DE LATOSSOLOS AMARELOS NA REGIÃO DO CERRADO PIAUIENSE**

#### **1. INTRODUÇÃO**

A história do plantio direto (PD) no Brasil data do início da década de 70, quando o Instituto de Pesquisa e Experimentação Agropecuária do Ministério da Agricultura realizou pesquisas pioneiras em Londrina (Norte do Paraná) e Ponta Grossa (Centro-Sul do Paraná). Embora de curta duração, esta iniciativa representou o marco inicial do sistema PD. Paralelamente, alguns agricultores pioneiros dos Campos Gerais, em Ponta Grossa e no Norte do Paraná (Rolândia) continuaram com observações de campo e a difusão do sistema para as grandes propriedades (Embrapa, 1993).

Segundo Inoue (2003), o PD se desenvolveu de forma muito rápida, devido às suas vantagens, que incluem a diminuição dos custos de produção, a conservação do solo e a diminuição do tempo entre a colheita da safra anterior e a semeadura da safra seguinte. No Brasil, a área cultivada sob PD avançou de 180 ha (safra 1972/1973) para cerca de 25 milhões de hectares (safra 2005/2006) (Febrapdp, 2010).

Segundo Zambolim et al. (2001) o conceito de PD assume a visão integrada de um sistema envolvendo a combinação de práticas culturais ou biológicas, como por exemplo, o uso de produtos químicos (herbicidas); práticas mecânicas no manejo de culturas destinadas a adubação verde, para formação de cobertura do solo; manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo; adoção de métodos integrados de controle de plantas daninhas, por meio de cobertura do solo e herbicidas; e o não revolvimento do solo, exceto nos sulcos de semeadura.

Este sistema elimina as operações de aração, gradagem, escarificação e outros métodos convencionais de preparo do solo, e a semeadura deve ser realizada em solo coberto por uma camada residual da cultura anterior e/ou resíduos de plantas dessecadas por herbicida. A rotação de culturas também é

uma prática indispensável para viabilizar o sistema PD porque auxilia na diminuição da incidência de doenças.

As principais alterações edáficas normalmente decorrentes da introdução do PD estão associadas à baixa mobilização do solo, adição de adubos e corretivos na camada superficial e à manutenção dos resíduos culturais na superfície, que promovem o acúmulo de CO e nutrientes na camada superficial, redução das perdas de solo e de água por escoamento superficial, maior atividade biológica, estabilidade de agregados e infiltração da água no solo, além da menor perda de água por evaporação, os quais, somados à menor temperatura e amplitude térmica, aumentam a umidade na camada superficial (Carpenedo; Mielniczuc, 1990; Campos et al., 1994; Campos et al., 1995; Debarba; Amado, 1997 e Franchini et al., 2000).

Ao contrário do sistema PD, o plantio convencional (PC) não é um sistema sustentável. O uso intensivo da terra tem causado uma acelerada degradação dos recursos naturais, facilitando o processo erosivo e causando uma grande contaminação ambiental, colaborando com uma perturbação do equilíbrio ecológico. A consequência deste processo, ligado a fatores naturais, termina na queda da produtividade, menor disponibilidade de água, menor capacidade de suportar períodos de seca, maior susceptibilidade a enchentes e a queda da fertilidade natural do solo (Darolt, 1998).

Estudos demonstraram que até a década de 80, predominou no Brasil o sistema de preparo convencional, o qual degradou o solo, reduziu a estabilidade de agregados, compactou a camada subsuperficial e acelerou a erosão hídrica (Albuquerque et al., 2005a). O rendimento das culturas agrícolas é dependente dos sistemas de manejo adotados, em especial dos sistemas de preparo do solo.

### **Efeitos do plantio direto nas propriedades físicas do solo**

Alguns atributos físicos do solo como densidade, espaço poroso, resistência à penetração, estabilidade de agregados, umidade volumétrica, água disponível e condutividade hidráulica podem ser utilizados como indicadores da qualidade do solo, por variarem de acordo com o manejo a que o solo está sendo submetido. Nesse sentido, uma contínua avaliação dos

atributos físicos do solo permite monitorar a eficiência ou não do sistema de manejo adotado (Rosa et al., 2003, Secco et al., 2005; Albuquerque et al., 2005a e Vieira; Klein, 2007).

Dos componentes do manejo, o preparo do solo é a atividade que mais influi no seu comportamento físico, pois atua diretamente na sua estrutura. Além das modificações na porosidade e densidade, o manejo provoca alterações na retenção de água e a resistência mecânica, entre outros efeitos (Vieira; Klein, 2007).

Albuquerque et al. (2005a) concluíram que os sistemas PD e PC não apresentaram restrições físico-estruturais no solo, no entanto, na camada superficial, o PD apresentou maior estabilidade de agregados do que o preparo convencional. Carpenedo e Mielniczuk (1990) também concluíram que o PD proporcionou maior estabilidade de agregados no solo. A formação de agregados estáveis de maior tamanho é favorecida por sistemas de manejo do solo em rotação com lavouras em PD (Salton et al. 2008).

É reconhecido que a atividade microbiana sobre a palhada e, ou, raízes resulta num contínuo fornecimento de materiais orgânicos ao solo, os quais atuam como agentes de formação e estabilização dos agregados (Campos et al., 1995). Além disso, com a redução do revolvimento do solo em PD, os ciclos de secagem e umedecimento do solo assumem importância decisiva em processos ligados à sua resiliência estrutural (Tormena et al., 2008).

Apesar de estudos evidenciarem que o sistema PD tende a melhorar as propriedades físicas do solo à medida que os cultivos forem se sucedendo (Zambolim et al., 2001). Rosa et al. (2003), avaliando aspectos físicos de um Latossolo Vermelho Eutroférico sob as condições de PD e floresta nativa, observaram que a porosidade e a densidade do solo indicaram um aumento da compactação do solo no sistema PD, quando comparado ao solo sob floresta nativa.

Stone e Silveira (2001) também concluíram que o sistema PD proporcionou maiores valores de densidade e microporosidade, e, em consequência, menor porosidade total e macroporosidade, quando comparado com solo de área nativa. Segundo Vieira e Klein (2007) a utilização continuada

do PD pode resultar em aumento da densidade, tendo como consequência a compactação do solo.

No sistema PD, o solo é submetido à menor tráfego, porém, não é revolvido, tendendo à compactação superficial, que tem sido constatada pelo aumento da densidade do solo e da microporosidade, pela diminuição da porosidade total e, principalmente, da macroporosidade (Sidiras et al., 1984). Segundo Machado et al. (1981), de maneira geral, observa-se camada compactada em subsuperfície no preparo convencional e na superfície de solo sob PD.

A compactação do solo é considerada por Freitas (1994) a maior limitação à alta produtividade das culturas em todo o mundo, pois afeta diretamente o crescimento das raízes, diminui a capacidade de infiltração da água no solo e reduz a translocação de nutrientes, resultando em uma pequena camada para ser explorada pelas raízes.

De acordo com Tormena et al. (2004), nos solos de textura argilosa e muito argilosa, a compactação das camadas superficiais constitui uma das limitações destes solos no PD. Nestas condições, se tem adotado o revolvimento periódico do solo. As rotações de culturas são indicadas para o manejo físico do solo em razão do maior aporte de matéria orgânica e bioporosidade ao solo. Os autores quantificaram algumas propriedades físicas num Latossolo Vermelho Eutroférico sob os manejos: plantio direto com rotação de culturas (PD) e plantio direto com sucessão de culturas, realizando a escarificação do solo antes da semeadura da cultura de verão (PDR). Os resultados indicaram maiores valores de densidade do solo no PD e de macroporosidade e porosidade total no PDR. A resistência do solo à penetração (RP) foi maior no PD até a profundidade de 0,20 m, independentemente da umidade do solo. A partir dos resultados, verificou-se que, no PD, sob condições similares de ressecamento do solo, os valores de RP foram maiores do que no PDR, podendo atingir valores críticos ao crescimento das plantas.

Segundo Vieira et al. (2007), uma das práticas mecânicas que podem ser adotadas em solos sob PD é a escarificação, que tem por objetivos reduzir a densidade do solo e a sua resistência mecânica à penetração das raízes e

umentar a permeabilidade do solo. São constatados resultados favoráveis desta prática em diversas pesquisas (De Maria et al., 1999), sobretudo nas relativas à densidade e resistência do solo à penetração. Contudo, apesar de positivos, verifica-se que os efeitos da escarificação são de curta duração (Busscher et al., 2002).

Estudando as alterações nas propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho Distrófico típico, cultivado sob PD e submetido à descompactação por escarificação (PDE), Vieira e Klein (2007), avaliaram a densidade do solo, a densidade máxima, umidade ótima de compactação e a densidade relativa. Os resultados indicaram que a densidade do solo não apresentou diferenças entre os manejos, e o PDE mostrou menor densidade relativa.

Secco et al. (2005) estudaram a densidade do solo, o espaço poroso (porosidade total, macro e microporosidade) e a produtividade das culturas de soja, trigo e milho em um Latossolo Vermelho argiloso, sob os sistemas de PD contínuo (PDC); PD com escarificação a cada três anos (PDSD); PD no verão com escarificação no outono/inverno (PDV); preparo conservacionista (escarificador mais grade niveladora) (PCEG) e plantio convencional (arado de discos mais grade niveladora) (PCAG). Os resultados demonstraram que a densidade do solo apresentou valores superiores nos tratamentos com menor mobilização do solo (PDC e PDSD), enquanto a porosidade total e a macroporosidade apresentaram comportamento inverso.

Ainda com relação à escarificação do solo, pesquisa sobre a resistência tênil e a friabilidade de um Latossolo Vermelho Distroférico sob PD com sucessão das culturas de trigo e soja (SDS); PD com rotação de culturas, utilizando em sequência milho-aveia-soja-aveia-soja-trigo (SDR), e SDR associado à escarificação periódica do solo (SDE), indicaram que a escarificação apresentou efeito efêmero sobre a resistência tênil do solo (Tormena et al., 2008).

De acordo com o exposto, as desvantagens do PD são contornáveis. Portanto, este sistema, quando bem empregado, poderá oferecer maior sustentabilidade ao agroecossistema. Contudo, esta afirmação não significa que o sistema PD seja uma solução para qualquer região ou tipo de solo.

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2008), o solo terá que ter condições mínimas de estrutura que permitam boa infiltração e ausência de camada de impedimento que dificulte a permeabilidade. Há muitas regiões que carecem de informações técnico-científicas que expliquem melhor as interações químicas, físicas e biológicas que ocorrem no solo, para que se possa implementar o sistema PD.

### **Análise multivariada**

Em quase todas as áreas do conhecimento, pesquisas são realizadas e várias características (variáveis) são observadas. Essas variáveis, em geral, não são independentes e, por isso, devem ser analisadas conjuntamente. análise multivariada é a área da estatística que trata desse tipo de análise. Várias são as técnicas que podem ser aplicadas aos dados. Sua utilização depende do tipo de dado que se deseja analisar e dos objetivos do estudo.

O solo é considerado um sistema complexo, resultante da interação de fatores geológicos, topográficos e climáticos entre outros, que juntos formam indicadores (variáveis) que o caracterizam. Com a técnica da análise multivariada é possível explicar o máximo de intercorrelação entre as variáveis e descobrir quais dessas contribuem mais para a caracterização e/ou alteração do solo. Diversas pesquisas têm aplicado a técnica multivariada para a análise de dados de solos (Grobe; Marques, 2006; Weirich Neto et al, 2006; Aratani et al., 2009; Carneiro et al., 2009; Pereira et al., 2010).

A análise de agrupamentos (AA) classifica objetos (variáveis) de modo que cada objeto é semelhante aos outros no agrupamento. Os agrupamentos devem então exibir elevada homogeneidade interna (dentro dos agrupamentos) e elevada heterogeneidade externa (entre agrupamentos). Os objetos dentro dos agrupamentos estarão próximos, quando representados graficamente, e diferentes agrupamentos estarão distantes (Hair Jr. et al., 2005). Portanto, a AA tem por objetivo encontrar e separar objetos em grupos similares, que são expressos na forma de um dendrograma que representa uma síntese gráfica do trabalho desenvolvido, esse gráfico é de grande utilidade para a classificação, comparação e discussão de agrupamentos.

A análise dos componentes principais (ACP) é um método que pode ser usado para reduzir a dimensionalidade dos dados multivariados. Ela permite que o pesquisador re-expressse os dados (fazendo combinações lineares das variáveis originais) para que as primeiras poucas variáveis novas resultantes (chamadas componentes) respondam por tantas informações disponíveis quanto possível. Se uma redundância substancial estiver presente no conjunto de dados, então é possível explicar a maioria das informações do conjunto original de dados com um número relativamente pequeno de componentes (Lattin et al., 2011). Assim, são ordenadas as características físicas do solo, sintetizando a variação multidimensional dos dados analisados em diagramas, ordenando-os nos eixos de acordo com suas similaridades, em termos de variáveis utilizadas (Alvarenga; Davide, 1999).

A análise de fatores (AF) tem objetivos que são similares àqueles da ACP. A idéia básica é que pode ser possível descrever um conjunto de variáveis em termos de um número menor de índices ou fatores, sem uma perda significativa de informação contida nos dados originais, e no processo obter uma compreensão do melhor relacionamento destas variáveis (Manly, 2008). Tanto a análise de componentes principais, quanto à análise fatorial, são técnicas da análise multivariada que são aplicadas a um conjunto de variáveis para descobrir quais dessas são mais relevantes na composição de cada fator, sendo estes independentes uns dos outros.

O objetivo deste trabalho foi analisar as alterações das características morfológicas e atributos físicos dos solos cultivados com soja em função de diferentes tempos de implantação do sistema PD, após cultivo anterior em sistema PC, além de identificar estatisticamente quais variáveis físicas contribuem mais para as alterações do solo.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Descrição da área**

O sistema de manejo do solo mais comumente utilizado no Cerrado piauiense é o PC. Entretanto, está em expansão o sistema PD. Portanto, foram selecionados talhões sob diferentes tempos de uso com PD na Fazenda São Marcos, que se encontra a uma distância de 110 km da sede do município de

Bom Jesus-Piauí. Esta fazenda tem uma extensão de 1200 ha, está localizada na Serra do Quilombo e possui um predomínio de áreas cultivadas com sistema de plantio direto. Na tabela 1 está descrito o histórico de uso dos solos das áreas estudadas e a localização geográfica.

**Tabela 1.** Histórico de uso e manejo de Latossolos Amarelos da região da Serra do Quilombo no sudoeste do Estado do Piauí.

Sistema	Símbolo	Histórico
Cerrado nativo	CN	Vegetação nativa de Cerrado, sem histórico de interferência humana em termos de uso agrícola. Coordenadas 09°10'40,85"S e 45°07'07"W Gr.
Plantio Direto	PC3/ PD3	Área com histórico de uso e manejo com preparo convencional (monocultura de soja desde o ano agrícola 2002/2003) até o ano agrícola de 2004/2005. No ano agrícola 2005/2006 foi implantado o sistema plantio direto com cultivo de soja, sendo o milheto utilizado para formação da palhada. Em 2007 a área recebeu 2 Mg ha <sup>-1</sup> de calcário e foi adubada com 330 Kg ha <sup>-1</sup> do formulado 00-33-00 e 200 Kg ha <sup>-1</sup> de KCl em cobertura, aplicados a lanço em janeiro de 2008, sendo cultivada com soja em novembro deste mesmo ano. Coordenadas 09° 11' 48,7"S e 45° 08' 14,2"W Gr.
Plantio Direto	PC5/ PD4	Sistema plantio direto após longo tempo sob sistema convencional (monocultura de soja desde o ano agrícola de 1999/2000). Em 2004 foram incorporados 2 Mg ha <sup>-1</sup> de calcário e instalado o sistema plantio direto, em rotação anual de soja e milho, sendo no ano agrícola 2005/2006 cultivada com soja com os mesmos critérios de adubação anteriormente descritos. Para o ano agrícola 2006/2007 foi cultivado milho com o sistema plantio direto, onde foram utilizados 300 Kg ha <sup>-1</sup> de gesso agrícola e 200 Kg ha <sup>-1</sup> de KCl (ambos em pré-plantio), 250 Kg ha <sup>-1</sup> de MAP no plantio e 200 Kg ha <sup>-1</sup> de sulfato de amônio em cobertura. Em 2008 foi semeada soja. Coordenadas 09° 10' 33,9"S. e 45° 08' 20,4"W Gr.
Plantio Direto	PC7/ PD8	Área convertida em sistema agrícola no ano de 1994, sendo desmatada e cultivada em sistema de preparo convencional com revolvimento intensivo de solo e uso de grade pesada, intermediária e niveladora, sendo corrigida inicialmente com 3 Mg ha <sup>-1</sup> de calcário e adubada durante três anos com NPK 5-25-25 para produção de arroz. No ano agrícola 1997/1998 foram adicionados 2 Mg ha <sup>-1</sup> de calcário e 400 Kg ha <sup>-1</sup> de superfosfato simples, sendo cultivada com soja, adubada de acordo a necessidade da cultura durante quatro anos. No ano agrícola 2001/2002 foi introduzido o sistema plantio direto com soja utilizando o milheto na formação da palhada com aplicação de 300 Kg ha <sup>-1</sup> de superfosfato triplo anualmente, durante três anos. No ano agrícola 2004/2005 foram aplicados 300 Kg ha <sup>-1</sup> de gesso e estabelecida a rotação da área com milho, adubado de acordo a necessidade da cultura, nos anos pares e soja nos anos ímpares. No ano agrícola 2008/2009 foi introduzida na área forrageira do gênero <i>Brachiaria</i> sp após a colheita do milho. Coordenadas 09°10'48,8"S e 45°07'46,1"W Gr.

## **2.2 Procedimentos de amostragem**

Em cada área estudada (tratamentos), selecionada em função do tempo de implantação do sistema de PD e na área de vegetação nativa foi aberta uma trincheira para descrição morfológica dos perfis (Tabela 2), onde foram coletadas amostras deformadas e indeformadas para realização das análises, em todos os horizontes, até a profundidade máxima de 2m. Foram, também, coletadas em todas as áreas, amostras deformadas e indeformadas em quatro pontos localizados a uma distância de 30 m de cada lado da trincheira, para determinação da densidade do solo (coleta do A e AB) e estabilidade de agregados (coleta de 0-5 e 5-10 cm). Cada ponto correspondeu a uma repetição do tratamento.

## **2.3 Métodos de análise**

As metodologias adotadas para as análises físicas não incluídas no capítulo 1 estão descritas abaixo.

### **2.3.1 Macro e microporosidade**

A microporosidade foi determinada pelo método do funil de Haines, aplicando-se sucção correspondente a uma coluna de água de 60 cm. A macroporosidade foi calculada pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade.

### **2.3.2 Estabilidade de agregados**

Os blocos de solo, retirados de cada local de amostragem nas profundidades 0-5 e 5-10 cm, após secagem ao ar, foram destorroados manualmente, e passados em peneiras com diâmetros de 4,75 e 2,0 mm. Foram utilizados os agregados retidos na peneira de 2,0 mm para determinar a proporção de agregados separados por via seca e por via úmida (Embrapa, 1997).

#### **Via seca**

A análise de agregados por via seca compreendeu as seguintes etapas:

- Pesagem de 50 g da amostra preparada;

- Colocação das amostras na parte superior de um jogo de peneiras de 2,0; 1,0; 0,5; 0,25; 0,125 mm de malha e de 20 cm de diâmetro, adaptado ao agitador de peneiras da Bertel, de velocidade controlada e movimentos rotatórios com vibração, por 15 minutos;
- Transferência dos agregados retidos em cada peneira para latas de alumínio numeradas e de peso conhecido e secagem na estufa a 105 °C para determinação do peso seco;
- Cálculo da porcentagem dos agregados retidos em cada peneira para as seguintes classes: 4,75 – 2,0; 2,0 – 1,0; 1,0 – 0,5; 0,5 – 0,25; 0,25 – 0,125 mm e menor que 0,125 mm;
  - Determinação do peso seco a 105 °C de uma subamostra de 20 g para correção da umidade da amostra, utilizada no cálculo da porcentagem de agregados.

### **Via úmida**

A determinação da porcentagem de agregados por via úmida foi feita seguindo o seguinte procedimento:

- Foram pesados 25 g de grânulos secos ao ar e colocados em recipiente descartável;
- Com atomizador, os grânulos foram cuidadosamente umedecidos para não se partirem, permanecendo em repouso por 2 horas;
- As amostras foram, então, colocadas na parte superior de um conjunto de peneiras de 20 cm de diâmetro, uma em cada jogo de tamises com malhas de 2,0; 1,0; 0,5; 0,25 e 0,105 mm, ajustado no parêlo de oscilação vertical, graduado para uma amplitude de 5 cm de altura e uma frequência de 26 oscilações por minuto, por 15 minutos. O jogo de peneiras foi ajustado na haste a uma altura tal que, quando ocorresse a oscilação vertical, a amostra de solo depositada inicialmente no tamis superior mergulhasse totalmente e depois subisse até aflorar acima do nível da água;
- O material contido em cada peneira foi transferido para latas de alumínio numeradas e de peso conhecido e colocado em estufa a 105 °C por 24 horas, após eliminação do excesso de água;
- Após a secagem do material o peso de agregados foi determinado em cada classe, a partir daqueles que ficaram retidos na peneira de 2,0 mm,

considerando-se as seguintes classes de agregados: 4,75-2,0; 2,0-1,0; 1,0-0,5; 0,5-0,25 e 0,25-0,105 mm;

- O material fino, < 0,105 mm, que atravessou a peneira, assentando-se no fundo do recipiente foi calculado por diferença de peso entre a amostra inicial de 25 g, após correção da umidade, e a soma das porções retidas nas peneiras;

- O peso seco a 105 °C foi determinado de uma subamostra de 20 g para correção da umidade da amostra.

#### Proporção de agregados

A proporção de agregados de cada classe ( $x_i$ ) determinada por vias seca e úmida foi calculada pela expressão:

$$x_i = \frac{m_i}{\sum m_i} \quad \text{eq. 1}$$

onde:

$m_i$  : massa de agregados + grãos simples da classe i.

Os agregados das cinco classes de maior diâmetro foram dispersos com NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup>. Em cada classe foram separados os grãos simples (areias) com diâmetros entre 4,75-2,0; 2,0-1,0, 1,0-0,5 0,5-0,25 e 0,25-0,105 mm, respectivamente. Os valores determinados foram utilizados para corrigir a proporção de agregados separados por via seca e úmida, por subtração dos grãos simples de diâmetro semelhante ao dos agregados em estudo.

A proporção de agregados de cada classe i foi corrigida usando a expressão:

$$x_{c_i} = \frac{(m_i - mgs_i)}{\sum (m_i - mgs_i)} \quad \text{eq. 2}$$

onde:

$x_{c_i}$ : proporção de agregados corrigida por subtração da proporção de partículas simples (areias ou cascalhos), correspondentes ao diâmetro inferior da classe;

$m_i$  : massa de agregados + grãos simples da classe i,

$m_{gs_i}$  : massa de grãos simples da classe i.

Com os valores das proporções de agregados separados por via seca e por via úmida, foi calculado o diâmetro médio geométrico (DMG), para cada determinação, por meio da expressão (Kemper; Rosenau, 1986):

$$DMG = \exp \left[ \frac{\sum (m_i \log DM)}{\sum m_i} \right] \quad \text{eq. 3}$$

onde:

$m_i$ : massa de agregados (corrigida por subtração de grãos simples da classe i),

DM: diâmetro médio da classe i.

### 2.3.3 Resistência do solo à penetração

A resistência do solo à penetração mecânica (RP) foi feita para avaliar o nível de resistência do solo sob vegetação nativa, em comparação com os níveis de resistência resultantes da utilização agrícola após diferentes tempos de implantação do sistema PD.

Para avaliação da RP do solo foi utilizado um penetrômetro de impacto, modelo IAA/PLANALSUCAR – STOLF (Stolf, 1991), com anel dinamométrico e haste com cone metálico. Foram amostrados 48 pontos em toda área, para a elaboração de um gráfico com valores médios relacionando a profundidade amostrada com a força aplicada para penetração no solo (MPa). Os dados foram obtidos a cada 10 cm até 50 cm de profundidade. Os valores obtidos em  $\text{Kgf cm}^{-2}$  foram multiplicados pela constante 0,098 para a transformação em MPa. Em cada área (tratamento) foram obtidas 12 medidas de resistência e um valor médio a cada 10 cm de profundidade foi utilizado para representar o tratamento.

Concomitantemente à determinação de RP foi avaliada a umidade do solo pelo método gravimétrico, em três pontos selecionados aleatoriamente próximos ao ponto de amostragem de RP, nas camadas de 0-10; 10-20; 20-30; 30-40 e 40-50 cm.

## 2.4 Delineamento estatístico

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado (DIC), em parcelas subdivididas, com cinco repetições, em que as parcelas corresponderam às áreas com diferentes tempos de implantação do sistema PD (PC3/PD3 - plantio direto há 3 anos; PC5/PD4 - plantio direto há 4 anos; PC7/PD8 - plantio direto há 8 anos) e sob Cerrado nativo (CN) e as subparcelas corresponderam às profundidades de amostragem, que variaram de 0-5 e 5-10 cm, para a estabilidade de agregados, de 0-10; 10-20; 20-30; 30-40 e 40-50 cm para a resistência à penetração e os horizontes A e AB, para os atributos fração granulométrica, argila dispersa em água (ADA), grau de floculação (GF), relação silte/argila, densidade do solo (Ds), densidade das partículas (Dp), porosidade total (PT), macroporosidade e microporosidade. A hipótese de normalidade dos dados foi testada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov. Os resultados foram submetidos à análise de variância, sendo os efeitos da profundidade, do uso do solo e da interação uso do solo x profundidade, comparados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, empregando-se o programa computacional SAS/STAT (2002) para análise dos dados.

Para identificar a similaridade das áreas com solos cultivados sob PD e solo sob vegetação nativa utilizou-se como ferramenta a técnica de estatística multivariada, por meio da análise de agrupamento (análise de cluster) e da análise fatorial - AF, relacionando com a análise de componentes principais – ACP. Como os dados são expressos em unidades de medidas diferentes, estes foram padronizados (média zero e variância um) para assegurar que todas as variáveis contribuíssem igualmente para o modelo, independente da escala.

A análise de agrupamento visou separar as variáveis em grupos similares que apresentassem homogeneidade dentro do grupo e heterogeneidade entre os grupos. A representação das sequências de agrupamentos formados foi feita na forma de dendograma. O dendograma expressa, no sentido da reta horizontal, a que distância cada variável está em relação à outra, ou seja, quanto menor a distância mais homogêneas são as variáveis, e, no sentido da reta vertical a distância em que cada grupo foi formado. As linhas verticais partem dos indivíduos e têm altura correspondente

ao nível em que os indivíduos são considerados semelhantes. Os grupos foram definidos pelo traçado de uma linha paralela ao eixo horizontal, denominada “Linha Fenon”. Optou-se por traçar esta linha entre as alturas 2 e 3, e na altura 4, para os horizontes A e AB, respectivamente, onde se encontram as maiores distâncias em que os grupos foram formados, que se referem às distâncias euclidianas de ligação entre as variáveis. Para que a união entre grupos fosse possível, utilizou-se o método de encadeamento completo (complet linkage) que se baseia na distância máxima entre objetos, utilizando a regra do vizinho mais afastado.

Adotou-se a AF com ACP para reduzir o número de variáveis iniciais com a menor perda possível de informação, identificando quais as variáveis de maior relevância estatística, quais variáveis pertencem a quais fatores, e o quanto cada variável explica cada fator, para cada profundidade isoladamente. O conjunto de dados foi reduzido, gerando as cargas fatoriais dos primeiros fatores que explicaram mais de 80 % da variação total, conforme recomendado por Cruz e Regazzi (1994). O número de variáveis originais foi composto por 11 variáveis que, após a aplicação dos métodos supracitados foi reduzido para apenas três variáveis significativas. Com base na ACP foi possível identificar quais variáveis interferiram mais significativamente nos tratamentos, para tal, foi utilizada a correlação entre as componentes principais e as variáveis, os planos fatoriais e o círculo unitário. Nas análises estatísticas multivariadas foi utilizado o Software STATISTICA versão 7.0 (Statsoft, 2004).

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1 Efeitos do PD nas propriedades morfológicas**

As características morfológicas dos perfis analisados estão descritas na tabela 2. Os solos cultivados com PD não apresentaram modificações expressivas na sua morfologia quando comparados com o solo do CN, exceto na agregação superficial.

Os quatro perfis estudados apresentaram sequência de horizontes A ou Ap, AB, BA, Bw1, Bw2, sendo muito profundos, com mais de 180 cm de profundidade. A espessura do horizonte superficial não apresenta variação expressiva entre o solo do CN e os cultivados, passando de 20 cm, no

tratamento CN, para 16 a 20 cm nos outros perfis. A espessura nos demais horizontes também é uniforme, variando de 22 a 28 cm no horizonte AB, de 35 a 36 cm no BA e no Bw de 100 a 115 cm.

Em relação à cor, com exceção do horizonte A do CN com matiz 10 YR, os outros horizontes dos quatro perfis apresentam cores muito semelhantes, todos no matiz 7,5 YR, valores variando de 4 a 5 ao longo do perfil e cromas entre 2 e 4, nos sub-horizontes do A, e de 6 a 8, no B, demonstrando homogeneidade nas características, quanto ao material de origem e à composição mineralógica.

O cultivo alterou apenas a estrutura do horizonte A, apresentando no CN estrutura fraca pequena e média blocos subangulares e moderada pequena e média granular, enquanto nos tratamentos PC5/PD4 e PC7/PD8 apresenta-se maciça moderadamente coesa e fraca pequena blocos subangulares, respectivamente, ambas com estrutura laminar nos primeiros 5 cm, demonstrando que o uso do solo degradou a estrutura do horizonte A. Nos horizontes subsuperficiais de todos os perfis predomina uma estrutura fraca muito pequena e pequena blocos subangulares. Nos quatro perfis estudados (tratamentos) há ocorrência de aspecto maciço poroso no horizonte Bw, concordando com Jacomine et al. (1986)

Os tratamentos PC5/PD4 e PC7/PD8 apresentaram variação na consistência do horizonte A, quando comparados com o solo do CN, variando de consistência ligeiramente dura e muito friável no CN para dura a muito dura e friável. Ao longo de todos os perfis a consistência variou de dura a ligeiramente dura e friável a muito friável. A transição entre os horizontes superficiais e subsuperficiais dos solos cultivados variou de clara a abrupta e ondulada, transições características de horizontes Ap, apresentando-se gradual e plana no perfil sem utilização agrícola (CN). As transições entre AB e BA foram graduais e planas, e entre os subhorizontes do Bw foram difusas e planas em todos os tratamentos.

**Tabela 2. Caracterização morfológica dos perfis**

Horizonte	Profundidade (cm)	Cor com amostra úmida (Munsell)	Estrutura <sup>1</sup>	Consistência <sup>2</sup>			Transição <sup>3</sup>	Presença de raízes
				Seca	Úmida	Molhada		
<b>P3/CN - Cerrado nativo – LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico</b>								
A	0-20	bruno-acinzentado-escuro 10YR 5/2	fr. pq.e m. bsub. md. pq.e m. gr	lg. du.	mu.fr	lg. pl. lg. pg	grd. e pl	muitas
AB	20-42	bruno-escuro 7,5YR 4/4	fr. md. mu pq.e pq. blag	du.	fr	lg. pl. lg. pg	grd. e pl	muitas
BA	42-78	bruno-forte 7,5YR 4/6	fr. mu. pq. e pq. blag	du.	fr.	lg. pl. lg. pg	dif. e pl	muitas
Bw1	78-130	bruno-forte 7,5YR 5/6	fr. mu.pq.e pq. blag	du	mu.fr.	lg. pl. lg. pg	dif. e pl	comuns
Bw2	130-180+	bruno-forte 7,5YR 5/8	fr. mu. pq. e pq. blag. asp.mc.po	lg. du	mu.fr.	lg. pl. lg. pg		poucas
<b>PC5/PD4 - LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico</b>								
Ap	0-20	bruno-escuro 7,5YR 4/2	ma. md.co la. nos 5cm	mu. du.	fr	lg. pl. lg. pg	cl. on	poucas
AB	20-45	bruno 7,5YR 5/4	fr. mu pq.e pq. bsub.	du.	fr	lg. pl. lg. pg	grd. e pl	comuns
BA	45-80	bruno 7,5YR 5/4	fr. mu.pq. e pq. bsub.	du.	mu.fr.	pl. pg	dif. e pl	comuns
Bw1	80-120	bruno-forte 7,5YR 5/6	fr. mu pq. e pq. bsub. asp.mc.po	lg. du	mu.fr.	pl. pg	dif. e pl	comuns
Bw2	120-180+	bruno-forte 7,5YR 5/8	fr. mu pq. e pq. bsub. asp.mc.po	lg. du	mu.fr.	pl. pg		raras
<b>PC7/PD8 - LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico</b>								
Ap	0-16	bruno-escuro 7,5YR 4/2	ma.mdm.co fr.pq. bsub. la. nos 5cm	du.mu.du.	fr	lg. pl. pg	ab. on	muitas
AB	16-44	bruno-escuro 7,5YR 4/4	fr. mu pq.e pq. bsub.	du.	fr	lg. pl.pg	grd. e pl	muitas
BA	44-80	bruno-forte 7,5YR 4/6	fr. mu.pq. e pq. bsub.	lg.du.	mu.fr.	lg. pl. lg. pg	dif. e pl	muitas
Bw1	80-129	bruno-forte 7,5YR 5/6	fr. mu pq. e pq. bsub. asp. mc po	lg. du	mu.fr.	lg. pl. lg. pg	dif. e pl	comuns
Bw2	129-187+	bruno-forte 7,5YR 5/8	fr. mu pq. e pq. bsub. asp. mc po	lg. du	mu.fr.	lg. pl. lg. pg		comuns
<b>PC3/PD3 LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico</b>								
Ap	0-17	bruno-escuro 7,5YR 4/2	ma.mdm.co fr.pq. bsub. fr.pq. gr.	lg.du.	mu.fr	lg. pl. lg. pg	ab. on	muitas
AB	17-40	bruno 7,5YR 5/4	md. mu pq.e pq. bsub.	lg.du.	mu.fr	lg. pl. lg. pg	grd. e pl	comuns
BA	40-75	bruno-forte 7,5YR 5/6	fr. mu.pq. e pq. bsub.	du.	mu.fr.	lg. pl. lg. pg	dif. e pl	comuns
Bw1	75-120	bruno-forte 7,5YR 5/8	fr. mu pq. e pq. bsub. asp. mc po	lg. du	mu.fr.	pl. lg.pg	dif. e pl	comuns
Bw2	120-190+	bruno-forte 7,5YR 5/8	fr. mu pq. e pq. blag. asp. mc po	lg. du	mu.fr.	pl. lg.pg		poucas

CN - Cerrado nativo, PC3/PD3 - plantio direto há 3 anos, PC5/PD4 - plantio direto há 4 anos e PC7/PD8 - plantio direto há 8 anos

(1) fr: fraca; md: moderada; ma: maciça; mdm: moderadamente; co: coeso; mu: muito; pq: pequena; m: média; gr: granular; bsub: blocos subangulares; blag: blocos angulares; la: laminar; asp: aspecto; mc: maciço; po: poroso (2) du: dura; lg: ligeiramente; fr: friável; pl: plástico; pg: pegajoso. (3) pl: plana; on: ondulada; cl: clara; ab: abrupta; dif: difusa; grd: gradual.

O tratamento PC7/PD8 apresentou muitas raízes até aproximadamente 0,8 m, assemelhando-se ao tratamento CN. Os oito anos de PD devem ter influenciado positivamente no desenvolvimento do sistema radicular das culturas nesta área. O tratamento PC5/PD4 apresentou poucas raízes e comuns até 0,8 m e o PC3/PD3 muitas no horizonte A e comuns até esta profundidade.

### **3.2 Efeitos do PD nas propriedades físicas**

Ao longo dos quatro perfis analisados encontrou-se um aumento de argila, passando da classe textural franco-argila-arenosa nos horizontes A e AB, para argilo-arenosa nos horizontes BA, Bw1 e Bw2. Os valores de argila dispersa em água (ADA) nos horizontes A ( $111 - 138 \text{ g kg}^{-1}$ ) foram inferiores aos valores encontrados nos horizontes transicionais AB e BA ( $150 - 244 \text{ g kg}^{-1}$ ), de uma forma geral. No entanto, nos horizontes Bw a ADA ficou entre 0 a  $3 \text{ g kg}^{-1}$ . O grau de floculação (GF) variou nos horizontes A e transicionais de 38 a 83% e nos horizontes Bw de 99 a 100%. A densidade do solo (Ds) no horizonte A do perfil do CN foi inferior a todos os demais horizontes. A Ds dos solos cultivados com PD decresceu ao longo do perfil. O contrário aconteceu com a porosidade total (Pt), que decresceu ao longo do perfil do CN e aumentou ao longo dos perfis com PD (descrição dos perfis no anexo).

Considerando que na superfície do solo os fluxos de matéria e energia são mais intensos, devido à maior deposição dos resíduos, da maior influência dos fatores ambientais (Mielniczuk et al., 2003 e Conceição et al., 2005) e da interferência antrópica, foi definido avaliar o efeito do sistema PD nos horizontes A e AB, já que este efeito é mais pronunciado em superfície.

As propriedades físicas dos horizontes A e AB dos perfis analisados estão descritas nas tabelas 3 e 4. As frações granulométricas diferiram estatisticamente entre os tratamentos devido a sua variabilidade espacial. Observa-se um aumento de argila do horizonte A para o AB não significativo e similar entre todos os perfis, além de uma variação inexpressiva de argila entre os perfis, embora significativa estatisticamente entre os horizontes A.

Observando os valores de ADA, verificou-se que o CN apresentou os menores valores em relação às áreas cultivadas. Segundo Costa et al. (2004) a calagem afeta a eletroquímica de solos tropicais de carga variável,

consequentemente, o aumento do potencial elétrico superficial contribui para a dispersão de argila nos solos cultivados. De acordo com Albuquerque et al. (2005a), em solos de carga variável, como um Latossolo Vermelho distroférico de Santa Catarina, com a elevação do pH, aumentam a carga líquida negativa e a espessura da dupla camada difusa, favorecendo a dispersão da argila, conforme constatado também por Albuquerque et al. (2000) em um Latossolo Bruno.

**Tabela 3.** Atributos físicos dos dois primeiros horizontes de Latossolos Amarelos com diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto.

Tratamento	Areia	Silte	Argila	Classe textural	ADA	GF	Silte/argila
----- g kg <sup>-1</sup> -----					g kg <sup>-1</sup>	%	
<b>Horizonte A</b>							
<b>CN</b>	681 AB a	58 A a	261 AB a	franco-argilo-arenosa	111 B b	56 A a	0,22 A a
<b>PC7/PD8</b>	657 B a	56 A a	287 A a	franco-argilo-arenosa	138 A b	51 A a	0,19 A a
<b>PC5/PD4</b>	698 A a	52 A a	250 B a	franco-argilo-arenosa	130 AB b	48 A a	0,21 A a
<b>PC3/PD3</b>	672 AB a	50 A a	277 AB a	franco-argilo-arenosa	126 AB b	53 A a	0,18 A a
<b>Horizonte AB</b>							
<b>CN</b>	667 AB a	57 A a	276 A a	franco-argilo-arenosa	150 B a	45 A b	0,21 A a
<b>PC7/PD8</b>	645 B a	56 A a	299 A a	franco-argilo-arenosa	185 A a	38 A b	0,19 A a
<b>PC5/PD4</b>	677 A a	54 A a	269 A a	franco-argilo-arenosa	165 AB a	39 A b	0,20 A a
<b>PC3/PD3</b>	646 AB a	55 A a	299 A a	franco-argilo-arenosa	172 AB a	42 A b	0,18 A a
<b>CV (%)</b>	2,13	7,53	5,29	-	7,68	8,63	9,96

CN - Cerrado nativo, PC7/PD8 - plantio direto há 8 anos, PC5/PD4 - plantio direto há 4 anos e PC3/PD3 - plantio direto há 3 anos. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %. Letras maiúsculas comparam os tratamentos e letras minúsculas comparam as profundidades dentro do mesmo tratamento.

Para Gavante (1976), a floculação tem uma relação direta com o comportamento da dupla camada elétrica. Solos que possuem dupla camada elétrica compacta tendem a flocular a argila. Segundo Baver et al. (1972), a espessura da dupla camada elétrica é determinada pela valência e concentração de íons de sinais contrários àqueles existentes na superfície das partículas. Quanto maior a valência e concentração do íon, maior é a compressão da dupla camada elétrica, levando à floculação, ou seja, em

concentrações eletrolíticas equivalentes, cátions divalentes são mais flocculantes que cátions monovalentes. Conseqüentemente, cátions trivalentes como o  $Al^{3+}$  são mais flocculantes que os divalentes como  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ . A concentração de  $Al^{3+}$  no horizonte A do CN variou entre 2 a 3,6 vezes mais do que nos solos com PD. Segundo Albuquerque et al. (2005b), a argila dispersa e o grau de flocculação são influenciados pela mineralogia do solo, matéria orgânica, pH, teores e tipo de cátions trocáveis, pois os mesmos interferem na espessura da dupla camada difusa. A elevação do pH em alguns sistemas aumenta o potencial elétrico superficial e, conseqüentemente, a dispersão da argila. Entretanto, o tipo e a quantidade de cátions trocáveis, especialmente os divalentes adicionados com o calcário, promovem a flocculação, segundo Albuquerque et al. (2005b).

Segundo Costa et al. (2004) a calagem pode não ter efeito na dispersão de argila em solos sob PD devido aos maiores teores de CO na camada superficial do solo. Os autores verificaram a relação inversa entre os teores de CO e a ADA, a qual pode ser resultante do efeito da matéria orgânica na estabilidade de microagregados, ou pela sua influência positiva na atividade microbiana. No entanto, de acordo com Demattê et al. (1996) e Ker (1998), a maior dispersão das argilas nos horizontes superficiais está relacionada ao teor de matéria orgânica, à medida que se dirige para horizontes mais inferiores, a argila dispersa tende a zero.

Alleoni e Camargo (1994) observaram que os teores de ADA diminuíram em profundidade, tendo atingido 0 e 2% no horizonte B. Segundo os autores, um dos fatores que parece ter concorrido para um valor mais elevado de ADA na camada superficial foi seu maior teor de CO. Primeiramente, porque a matéria orgânica constitui uma das principais fontes de carga negativa dos solos. Em segundo lugar, há relatos de dispersão de caulinita, devido à ação de ânions orgânicos produzidos pela decomposição da matéria orgânica e por exsudados de raízes (Alleoni; Camargo, 1994).

O GF e a relação silte/argila dos solos não foram afetados pelo manejo, como pode ser observado na tabela 3, não apresentando diferença entre os tratamentos, assim como a densidade das partículas (Tabela 4). Entretanto, houve diferença do GF entre os horizontes, dentro do mesmo tratamento.

Nos solos avaliados, as alterações no pH, no conteúdo de matéria orgânica e nos cátions do solo podem ter afetado as forças de repulsão e atração entre partículas; entretanto, percebe-se uma variação pouco significativa da ADA e do CO e não significativa do GF nos horizontes A e AB. Portanto, não foi observada uma tendência clara do efeito do sistema PD sobre a dispersão da argila e do seu GF.

Houve efeito significativo do manejo sobre a Ds (Tabela 4). O CN apresentou diferença estatística, com o menor valor nos dois horizontes, em comparação aos solos cultivados, que não diferiram estatisticamente entre si, evidenciando que o uso do solo degradou a Ds e os diferentes tempos de implantação do PD não contribuíram para recuperar esta degradação. Observa-se uma tendência inversamente proporcional entre a Ds e a PT, ou seja, quanto menor a Ds, maior a PT, conforme têm sido relatados na literatura (Cavenage et al., 1999; Bertol et al., 2004). Maiores valores de Ds e menores de macroporosidade em solos sob PD, em comparação com áreas preservadas também foram constatados por diversos autores (Stone; Silveira, 2001; Klein; Libardi, 2002; Rosa et al., 2003; Vieira; Klein, 2007). Estes resultados devem estar associados com o tráfego de máquinas, implicando na coalescência dos agregados e, portanto, numa matriz mais densa. Para o CN, tal comportamento reflete a condição estrutural original do solo, onde os resíduos vegetais se encontram em maior quantidade (Cavenage et al., 1999).

O valor da Ds encontrada no horizonte A do CN ( $0,97 \text{ Mg m}^{-3}$ ) foi relativamente baixo e muito próximo do valor de  $0,93 \text{ Mg m}^{-3}$  encontrado por Neves et al. (2007) em Latossolo Vermelho Distrófico sob Cerrado nativo. O uso do solo afetou menos o horizonte subsuperficial, no entanto, o tratamento PC5/PD4 diferiu estatisticamente do CN, apresentando a maior Ds no horizonte AB ( $1,41 \text{ Mg m}^{-3}$ ). De acordo com Derpsch et al. (1991), valores de Ds  $> 1,25 \text{ Mg m}^{-3}$  envolvem problemas de impedância mecânica ao crescimento radicular das culturas. Entretanto, segundo Reinert et al. (2008) a Ds crítica é dependente principalmente da classe textural do solo. Reichert et al. (2003) propuseram Ds crítica para algumas classes texturais:  $1,30$  a  $1,40 \text{ Mg m}^{-3}$  para solos argilosos;  $1,40$  a  $1,50 \text{ Mg m}^{-3}$  para os franco-argilosos e de  $1,70$  a  $1,80 \text{ Mg m}^{-3}$  para os franco-arenosos. Neste estudo, todos os tratamentos apresentaram, no horizonte A, valores inferiores ao crítico relatado por Reichert

et al. (2003), para a classe textural franco-argilosa, que mais se aproxima da classe textural dos solos estudados. Segundo Secco et al. (2004) Ds de 1,51 Mg m<sup>-3</sup> não compromete o rendimento de grãos de soja.

**Tabela 4.** Densidade do solo (Ds), densidade das partículas (Dp), porosidade total (PT), macroporosidade e microporosidade dos dois primeiros horizontes de Latossolos Amarelos com diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto e com Cerrado nativo.

Tratamento	Ds	Dp	Total	Porosidade	
	----- Mg m <sup>-3</sup> -----			Macro	Micro
Horizonte A					
<b>CN</b>	0,97 A a	2,55 A a	62 A a	41 A a	21 A a
<b>PC7/PD8</b>	1,32 B a	2,62 A a	50 B a	21 B a	28 B a
<b>PC5/PD4</b>	1,36 B a	2,56 A a	47 B a	20 B a	27 B a
<b>PC3/PD3</b>	1,24 B a	2,60 A a	52 B a	24 B a	29 B a
Horizonte AB					
<b>CN</b>	1,22 A b	2,66 A a	54 A b	35 A a	20 A a
<b>PC7/PD8</b>	1,31 AB a	2,66 A a	51 AB a	29 AB b	22 A b
<b>PC5/PD4</b>	1,41 B a	2,62 A a	46 B a	25 B a	21 A b
<b>PC3/PD3</b>	1,25 AB a	2,59 A a	52 AB a	31 AB b	21 A b
<b>CV (%)</b>	5,91	2,86	5,43	6,12	10,30

CN - Cerrado nativo, PC7/PD8 - plantio direto há 8 anos, PC5/PD4 - plantio direto há 4 anos e PC3/PD3 - plantio direto há 3 anos. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %. Letras maiúsculas comparam os tratamentos e letras minúsculas comparam as profundidades dentro do mesmo tratamento.

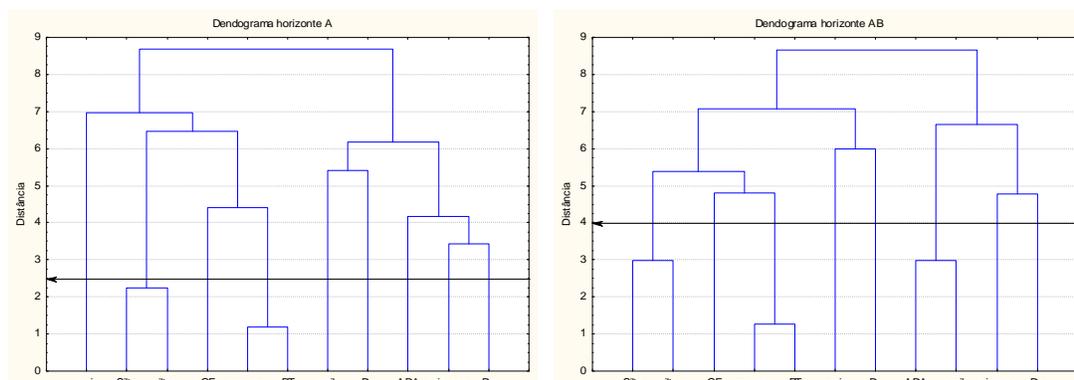
Comportamento semelhante à Ds ocorreu entre os tratamentos para os parâmetros PT, macroporosidade e microporosidade. No horizonte A dos solos cultivados a PT e a macroporosidade foram menores e a microporosidade foi maior, diferindo estatisticamente do CN. Não houve diferença entre os tratamentos com solo cultivado, novamente demonstrando que os diferentes tempos de implantação do PD não contribuíram para alterar estes atributos do solo em relação ao CN. De uma forma geral, a macroporosidade aumentou com a profundidade nos solos sob PD, concordando com resultados de Cavenage et al. (1999), em que Latossolos Vermelho-Escuros cultivados com pinus sp., pastagem e eucalipto, demonstraram tendência à maior

macroporosidade em profundidade. Para a microporosidade houve diferença significativa entre os solos cultivados e o CN no horizonte A, e entre as profundidades nos solos cultivados, sendo os maiores valores observados no horizonte superficial. O manejo do solo também afetou menos a PT e a macroporosidade e não afetou a microporosidade nos horizontes subsuperficiais.

De acordo com a literatura (Tormena et al., 2004), o valor crítico de macroporos no solo é de 10%. Em solos sob elevados potenciais da água, com no mínimo este valor de macroporos, a difusão de O<sub>2</sub> às raízes não é impeditiva. Nota-se nos dados do presente trabalho, que tanto a PT, como a macroporosidade são superiores a 50 % e 10 %, respectivamente, exceto no tratamento PC5/PD4, quanto à PT. Portanto, para este atributo, tais valores sugerem que a implantação do sistema PD expressa condições satisfatórias ao desenvolvimento da maioria das plantas, mesmo diferindo estatisticamente do CN.

### 3.2.1 Análise estatística multivariada aplicada às propriedades físicas

De acordo com o dendrograma de análise de cluster dos horizontes A e AB (Figura 1) observa-se que grupos semelhantes foram formados nos dois horizontes. Pela disposição no gráfico, indivíduos pouco distanciados são menos dissimilares do que os amplamente distanciados. Observa-se que tanto no horizonte A, quanto no AB as variáveis macrop e PT apresentam maior semelhança, por possuírem a menor distância euclidiana.



**Figura 1.** Dendrograma da análise de *cluster* dos horizontes A e AB. (siltarg- relação silte argila; GF – grau de flocculação; macrop – macroporosidade; PT – porosidade total; Dp – densidade das partículas; ADA – argila dispersa em água; micropo – microporosidade; Ds – densidade do solo)

No horizonte A foram formados nove grupos. O grupo VI é representado pelas variáveis macrop e PT, enquanto que o grupo VIII pelas variáveis silte e siltarg. As demais variáveis formaram grupos distintos entre si e entre os grupos VI e VIII, por se manterem isoladas das demais. No horizonte AB foram formados oito grupos. O terceiro grupo é composto pelas variáveis ADA e argila, sendo o sexto e o oitavo semelhantes aos grupos VI e VIII formados no horizonte A, respectivamente. As demais variáveis também constituíram grupos distintos entre si e entre os outros grupos formados. Os grupos formados apresentam homogeneidade; isto é, as variáveis foram agrupadas por uma característica comum, pois a PT está diretamente relacionada com a macroporosidade, assim como a relação silte/argila com a quantidade de silte e a ADA com a quantidade de argila.

Na tabela 5 estão os autovalores e a variância explicada por cada fator. O critério adotado para a escolha do número de fatores foi selecionar aquelas componentes que conseguiram sintetizar uma variância acumulada em torno de 80%. Observa-se que o primeiro fator do horizonte A explica 43,85%, o segundo e o terceiro fatores explicam 22,69% e 15,18%, respectivamente. Os três fatores iniciais acumulam 81,72% da variância total dos dados. Enquanto que, no horizonte AB o primeiro fator explica 38,89%, o segundo explica 27,94% e o terceiro 14,08%, portanto, 80,89% da variabilidade dos dados é explicada por três fatores principais.

**Tabela 5.** Autovalores e a variância explicada por cada fator para os horizontes A e AB.

Fatores	Horizonte A		Horizonte AB	
	Eigenvalue	% Total	Eigenvalue	% Total
1	<b>4,82</b>	<b>43,85</b>	<b>4,28</b>	<b>38,88</b>
2	<b>2,50</b>	<b>22,69</b>	<b>3,07</b>	<b>27,94</b>
3	<b>1,67</b>	<b>15,18</b>	<b>1,55</b>	<b>14,08</b>
4	0,96	8,77	1,32	11,97
5	0,69	6,26	0,46	4,19
6	0,31	2,83	0,32	2,93
7	0,04	0,38	0,00	0,01
8	0,00	0,02	-	-
9	0,00	0,01	-	-

Pouco mais de 80% da variabilidade dos dados é explicada pelos três primeiros fatores, nos dois horizontes, o que, de acordo com Cruz e Regazzi (1994), é satisfatório para avaliação por meio da dispersão gráfica, em relação à primeira e segunda variáveis. Isso mostra que, de 11 variáveis com 20 resultados de análises de solo, passa-se a utilizar três fatores com 20 observações que representam o conjunto original, havendo, dessa forma, uma redução de dimensionalidade das variáveis originais com perda de explicação de menos de 20% (18,28% para o horizonte A e 19,11% para o horizonte AB).

As cargas fatoriais que definem quais variáveis são mais importantes para cada fator encontram-se nas tabelas 6 e 7 para os horizontes A e AB, respectivamente. A variação dos sinais das cargas refere-se à correlação positiva e negativa.

**Tabela 6.** Cargas fatoriais pelo método dos componentes principais para composição dos fatores, após rotação *Varimax*, para o horizonte A.

VARIÁVEIS	Fator 1	Fator 2	Fator 3
Ds	<b>-0,94</b>	-0,06	0,19
Dp	-0,06	0,14	0,00
PT	<b>0,95</b>	0,09	-0,19
micropo	-0,62	0,22	0,19
macrop	<b>0,91</b>	-0,01	-0,21
siltarg	0,21	-0,34	<b>-0,91</b>
argila	0,00	<b>0,96</b>	0,23
areia	-0,09	<b>-0,98</b>	0,11
Silte	0,26	0,16	<b>-0,95</b>
GF	0,31	0,23	0,10
ADA	-0,38	0,36	0,10
Expl.Var	3,36	2,31	1,97
Prp.Totl	0,31	0,21	0,18

(siltarg - relação silte argila; GF – grau de floculação; macrop – macroporosidade; PT – porosidade total; Dp – densidade das partículas; ADA – argila dispersa em água; micropo – microporosidade; Ds – densidade do solo)

As variáveis que formam o fator 1 do horizonte A são: Ds, PT e macropo, o fator 2 são: areia e argila e o fator 3 são: siltarg e silte. Observa-se que as variáveis que obtiveram maior peso em valor absoluto no modelo foram PT e Ds que ficaram na ordem de 0,9456 e -0,9431, respectivamente. Não houve diferença quanto às cargas fatoriais entre os horizontes, ambos apresentaram as mesmas variáveis para os três fatores.

Os resultados indicam que as variáveis Ds, PT, macrop, argila e areia, que possuem cargas fatoriais elevadas, e explicam maior porcentagem de

variação, são as que mais contribuem para alterar as características do solo em função do manejo, para os dois horizontes. Segundo Magalhães et al. (2009) os macroporos são os primeiros atingidos pela compactação do solo. A figura 2 confirma a influência destas variáveis. As variáveis silte e siltarg, apesar de apresentarem cargas fatoriais elevadas, explicam menor porcentagem de variação. As variáveis de menor importância, por apresentarem cargas fatoriais abaixo de 0,7, ou seja, aquelas que retêm pequena parte da variação total, tanto para o horizonte A quanto para o AB foram o Dp, micropo, GF e ADA. Isso mostra que as variáveis mencionadas pouco contribuem para discriminar o uso do solo.

**Tabela 7.** Cargas fatoriais pelo método dos componentes principais para composição dos fatores, após rotação *Varimax*, para o horizonte AB.

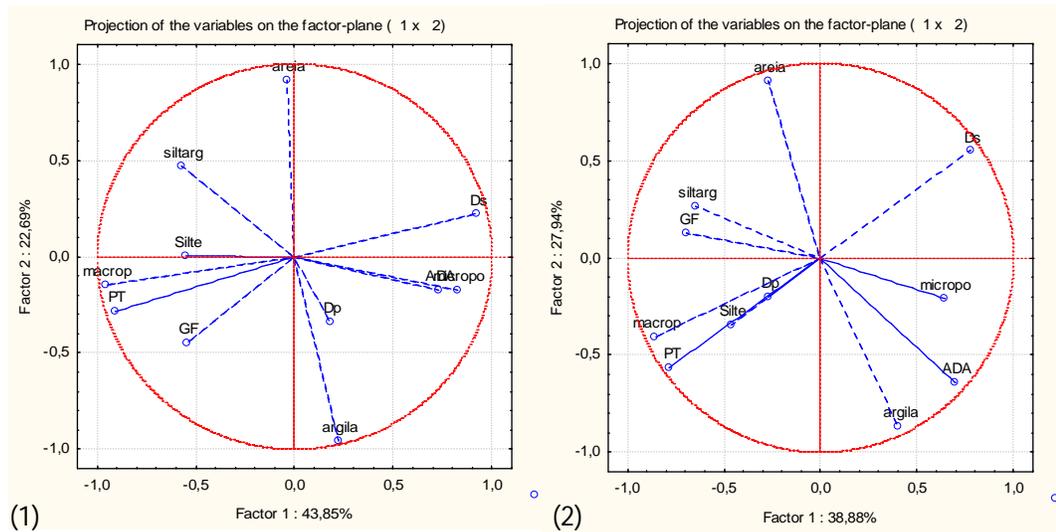
VARIAVEIS	Fator 1	Fator 2	Fator 3
Ds	<b>-0,96</b>	-0,12	-0,16
Dp	0,23	-0,07	0,10
PT	<b>0,94</b>	0,10	0,18
micropo	-0,37	0,31	0,09
macrop	<b>0,91</b>	-0,01	0,12
siltarg	0,15	-0,47	<b>0,86</b>
argila	0,10	<b>0,97</b>	-0,13
areia	-0,15	<b>-0,97</b>	-0,09
Silte	0,24	0,19	<b>0,94</b>
GF	0,32	-0,13	0,13
ADA	-0,13	0,70	-0,16
Expl.Var	3,04	2,77	1,78
Prp.Totl	0,28	0,25	0,16

(siltarg- relação silte argila; GF – grau de floculação; macrop – macroporosidade; PT – porosidade total; Dp – densidade das partículas; ADA – argila dispersa em água; micropo – microporosidade; Ds – densidade do solo)

Aplicando-se a ACP, foram obtidas as figuras 2 e 3, as quais representam o primeiro plano principal. A figura 2 com a distribuição da nuvem de variáveis (indicadores) e a figura 3 com a distribuição da nuvem de pontos (tratamentos). Estas figuras estão representando o fator 1, que é formado pelas variáveis Ds, PT e macropo, em relação ao fator 2, que é representado pelas variáveis argila e areia.

Como se pode observar na figura 2, algumas variáveis estão sobrepostas umas às outras, como a micropo e ADA no horizonte A e Dp, Silte e PT no horizonte AB. Isso mostra que essas possuem a mesma representatividade no gráfico. Enquanto que as variáveis que estão bem

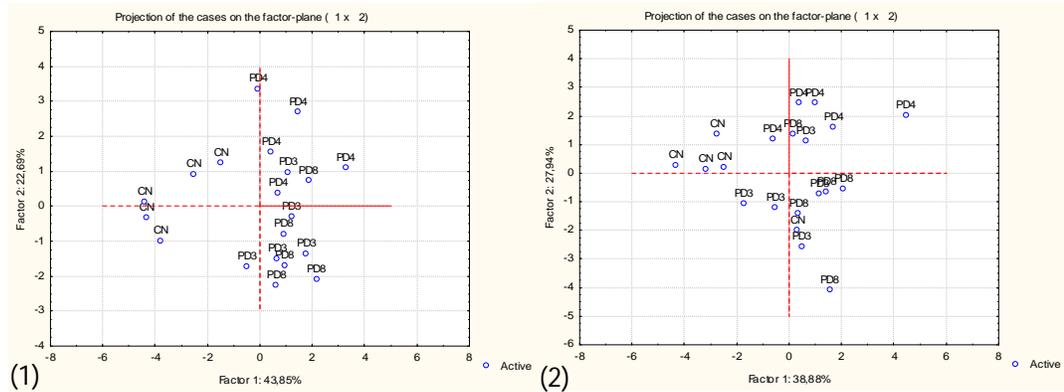
próximas ao círculo unitário, que são Ds, PT, macrop, argila e areia, possuem uma maior contribuição, em relação às variáveis que estão mais afastadas.



**Figura 2.** Gráfico da distribuição da nuvem de variáveis dos horizontes  $A_{(1)}$  e  $AB_{(2)}$ . (siltarg – relação silte argila; GF – grau de flocculação; macrop – macroporosidade; PT – porosidade total; Dp – densidade das partículas; ADA – argila dispersa em água; micropo – microporosidade; Ds – densidade do solo)

Na figura 3, pode-se verificar que os tratamentos estão distribuídos de acordo com a influência das variáveis em suas características. Analisando-se as figuras 2 e 3, simultaneamente, pode-se concluir que as variáveis significativas macrop e PT representam o tratamento CN. As variáveis Ds e areia o PC5/PD4 e a argila o PC7/PD8 e PC3/PD3.

Os maiores valores de macroporosidade (macrop) e de PT apresentados pelos solos do CN em relação aos solos cultivados sob sistemas PD (Tabela 4), nos dois horizontes A e AB, foram demonstrados através da nítida tendência de agrupamento dos pontos que representam o tratamento CN à esquerda do diagrama (negativo) e dos solos dos sistemas PD no centro e à direita (positivo) (Figura 3). A elevada Ds do PC5/PD4, em comparação aos outros tratamentos (Tabela 4), também foi demonstrada com o agrupamento dos pontos que representam este tratamento à direita do diagrama (positivo), no terceiro quadrante, indicando claramente que o cultivo degrada o solo quando comparado com o do CN.



**Figura 3.** Gráfico da distribuição da nuvem de pontos dos horizontes  $A_{(1)}$  e  $AB_{(2)}$ . CN - Cerrado nativo, PD8 - plantio direto há 8 anos (PC7/PD8), PD4 - plantio direto há 4 anos (PC5/PD4) e PD3- plantio direto há 3 anos (PC3/PD3)

Observa-se também que o tratamento PC5/PD4 está mais aglomerado no terceiro quadrante e os tratamentos PC7/PD8 e PC3/PD3 estão juntos com predominância no segundo quadrante. O solo do tratamento PD4 tem quatro anos de cultivo sob PD, que foram antecedidos por cinco anos de PC. Este histórico de uso do PD4 o diferencia dos tratamentos PC7/PD8, cujo solo está sob o cultivo de PD há oito anos e o PC3/PD3 há três anos, antecedidos por apenas três de PC. No horizonte AB percebe-se que o cultivo do solo tem menor influência sobre a variância das variáveis, já que os ambientes não apresentaram uma separação nítida (Figura 3 (2)), concordando com Carvalho Júnior et al. (1998) e Pereira et al. (2010). Esses resultados demonstram a concentração dos impactos com o cultivo no horizonte superficial do solo.

Independente do tempo de implantação e horizonte (A e AB), os solos manejados com o PD apresentaram comportamento similar quando considerado o conjunto das variáveis em estudo, fato também determinado nos atributos avaliados pelo teste de médias. No entanto, com relação à área do CN, o manejo do solo provocou alteração em vários atributos estudados, o que pode estar levando à degradação destes com o tempo, como pode ser observado na figura 3 pela separação nítida entre o CN e os tratamentos com PD.

### 3.3 Estabilidade de agregados

Os resultados da distribuição de agregados em seis classes de tamanhos, determinada por via seca e por via úmida podem ser observados nas tabelas 8 e 9. De acordo com Perusi e Carvalho (2008), o método de peneiramento por via úmida é recomendado para estudos de erosão hídrica, enquanto que o obtido por via seca para estudos de erosão eólica.

A estabilidade de agregados, em diferentes profundidades, pode ser melhor visualizada pela representação gráfica. Para representar esta estabilidade, a variável qualitativa - classe de agregados foi transformada na variável quantitativa - diâmetro médio geométrico de agregados (DMG), e representada nas figuras 3 e 4, para a estabilidade determinada por via seca e úmida, respectivamente.

Observa-se na tabela 8 que houve diferença significativa entre a distribuição das classes de tamanho de agregados, determinada por via seca. Os tratamentos apresentaram, de uma forma geral, maior proporção nas duas primeiras classes de tamanho de agregados, para as duas profundidades analisadas, com exceção do tratamento PC3/PD3 que não apresentou diferença significativa marcante entre as classes de tamanho. Os tratamentos CN, PC7/PD8 e PC5/PD4 apresentaram maior proporção de agregados nas maiores classes, provavelmente, em decorrência da ausência de operações agrícolas de preparo de solo por um período mais prolongado. O aporte de matéria orgânica na superfície do solo contribuiu para predominância da classe de agregados de tamanho maior. A matéria orgânica é considerada por muitos como o principal agente de estabilização de agregados do solo (Castro Filho et al., 1998; Cruz et al., 2003; Neves et al., 2007).

Entre os tratamentos, observa-se que só houve diferença significativa, em relação à distribuição dos agregados nas classes de maior e menor tamanho (4,75 – 2,0 e < 0,125 mm) para as duas profundidades. O CN apresentou o maior percentual de agregados de maior classe (34,6%) e o menor percentual para o de menor classe (6,9%), com diferença significativa em relação aos outros tratamentos. Apresentar maior porcentagem de agregados nas maiores classes de tamanho é um indicativo de maior estabilidade de agregados. De acordo com Angulo et al. (1984) quanto maior

for o agregado, maiores serão o diâmetro médio geométrico e os espaços porosos entre eles, aumentando a infiltração e diminuindo a erosão.

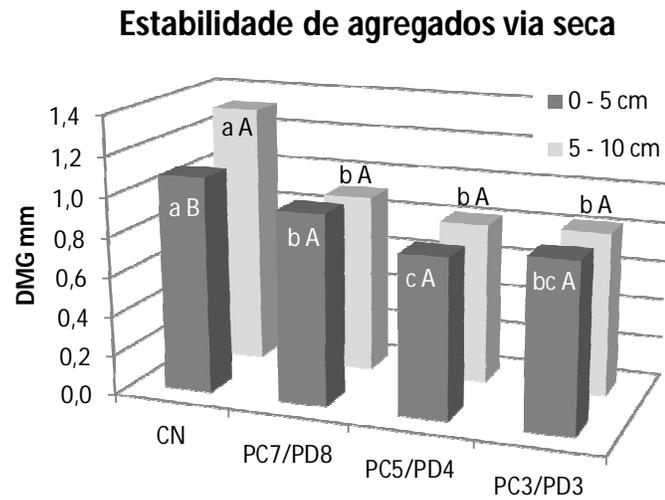
**Tabela 8.** Resultados médios da distribuição dos agregados (via seca), por classe de tamanho nos diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto e Cerrado nativo, em duas profundidades.

<b>Separação de Agregados por Via Seca Corrigida <sup>(1)</sup></b>				
<b>(%)</b>				
	<b>CN</b>	<b>PC7/PD8</b>	<b>PC5/PD4</b>	<b>PC3/PD3</b>
<b>Classe</b>	<b>Profundidade</b>			
<b>— mm —</b>	<b>0-5 (cm)</b>			
4,75 - 2,0	34,6 a A	31,9 a AB	20,8 ab B	24,1 a AB
2,0 - 1,0	34,6 a A	30,6 a A	27,5 a A	23,8 a A
1,0 - 0,5	11,8 b A	8,3 b A	10,5 b A	12,0 b A
0,5 - 0,25	7,5 b A	7,3 b A	9,9 b A	13,0 ab A
0,25 - 0,125	4,6 b A	6,9 b A	10,1 b A	10,9 b A
< 0,125	6,9 b B	15,0 b AB	21,2 ab A	16,2 ab AB
	<b>5-10 (cm)</b>			
4,75 - 2,0	58,7 a A	25,6a B	17,9b B	21,6ab B
2,0 - 1,0	25,5 b A	32,7a A	31,4a A	25,1a A
1,0 - 0,5	6,4 c A	9,4b A	10,8b A	12,5bc A
0,5 - 0,25	3,8 c A	8,8b A	10,2b A	13,4bc A
0,25 - 0,125	2,5 c A	8,0b A	9,9b A	9,8c A
< 0,125	3,1 c B	15,5ab A	19,8b A	17,6ab A

<sup>(1)</sup> Por subtração da proporção de partículas simples correspondentes ao diâmetro inferior da classe de agregados. CN - Cerrado nativo, PC7/PD8 - plantio direto há 8 anos, PC5/PD4 - plantio direto há 4 anos e PC3/PD3 - plantio direto há 3 anos. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %. Letras minúsculas comparam as classes de agregados nas colunas, e letras maiúsculas comparam os sistemas de manejo na linha, para cada profundidade separada.

Segundo Kemper e Chepil (1965) o DMG representa uma estimativa do tamanho da classe de agregação de maior ocorrência. Para o DMG dos agregados, determinado por via seca, observa-se na figura 3 que houve diferença significativa entre o CN e os demais tratamentos, com uma redução do DMG de 26% para o PC5/PD4 na camada de 0-5 cm, e 38% na de 5-10 cm, demonstrando que o CN apresenta agregados mais estáveis, nas duas profundidades. Em trabalhos conduzidos por Alvarenga e Davide (1999) e D' Andréa et al. (2002) foram observadas reduções na estabilidade de agregados em sistemas revolvidos, em função das técnicas de manejo e principalmente do tempo de utilização, sendo observada pelo último autor a redução do DMG de

4,55 para 2,71 mm entre o Cerrado nativo e o cultivo convencional de milho e soja com 15 anos de uso.



**Figura 3.** Relação de estabilidade de agregados por via seca entre o DMG e os tratamentos nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm. CN - Cerrado nativo, PC3/PD3 - plantio direto há 3 anos, PC5/PD4 - plantio direto há 4 anos e PC7/PD8 - plantio direto há 8 anos. Letras minúsculas iguais para os tratamentos e maiúsculas iguais para as profundidades não difere entre si pelo teste de Tukey a 5%.

O cultivo desestabilizou os agregados e o tempo de implantação do PD ainda não foi capaz de recuperar esta estabilidade. A diferença significativa do PC7/PD8 entre o PC5/PD4 é um indicativo que esta área encontra-se em recuperação, já que tem histórico de uso de sete anos com PC antes da implantação do PD. A área do PC5/PD4 tem um histórico de uso de cinco anos de PC e quatro de PD, indicando que o tempo de PD ainda não foi suficiente para recuperar a estabilidade dos agregados. A área do PC3/PD3 tem seis anos de exploração, dos quais três é com PD, ainda assim, ocorreu a desestabilização dos agregados quando comparado com o CN. Essas observações estão em consonância com Assis e Lanças (2005), que avaliando o efeito do tempo de adoção do sistema PD em comparação a CN em um Nitossolo Vermelho Distroférrico, constataram que o DMG do CN foi sempre superior aos sistemas cultivados.

Em geral, a estabilidade dos agregados nos sistemas agrícolas com mobilização do solo é menor do que no CN (Cruz et al., 2003; Silva et al., 2006). A mobilização do solo, durante a operação agrícola, quebra os

agregados e estimula a decomposição da matéria orgânica pelos microrganismos, processo que reduz a quantidade de substâncias agregantes e, assim, a estabilidade dos agregados.

Na tabela 9 estão apresentados os resultados médios dos agregados, determinados por via úmida, dos solos sob diferentes tempos de implantação do PD e CN, nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm.

**Tabela 9.** Resultados médios da distribuição dos agregados (via úmida), por classe de tamanho nos diferentes sistemas de uso dos solos, em duas profundidades.

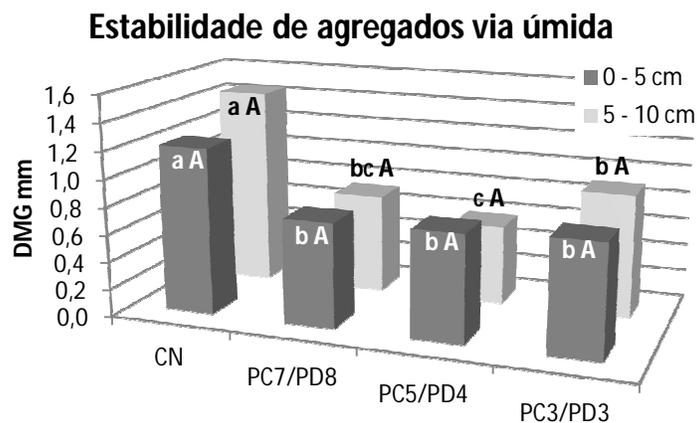
<b>Separação de Agregados por Via Úmida Corrigida <sup>(1)</sup></b>				
<b>(%)</b>				
	<b>CN</b>	<b>PC7/PD8</b>	<b>PC5/PD4</b>	<b>PC3/PD3</b>
<b>Classe</b>	<b>Profundidade</b>			
<b>—mm—</b>	<b>0-5 (cm)</b>			
4,75 - 2,0	66,3 a A	20,9 a B	30,3 a B	33,0 a B
2,0 - 1,0	10,4 b A	18,3 a A	10,4 bc A	15,4 ab A
1,0 - 0,5	6,0 b A	15,2 a A	8,4 c A	9,7 b A
0,5 - 0,25	2,9 b A	13,4 a A	13,6 ac A	9,2 b A
0,25 - 0,125	1,5 b A	7,3 a A	7,5c A	5,3 b A
< 0,125	12,9 b A	24,9 a A	29,7 ab A	27,4 a A
	<b>5-10 (cm)</b>			
4,75 - 2,0	79,5 a A	20,4 ab C	13,7 b C	33,2a B
2,0 - 1,0	9,4 b A	12,4 bc A	10,0 b A	17,8 b A
1,0 - 0,5	4,4 b A	12,8 bc A	14,6 b A	13,6 b A
0,5 - 0,25	1,8 b B	22,2 ab A	11,7 b AB	12,5 b AB
0,25 - 0,125	0,7 b A	8,6 c A	7,1 b A	4,8 c A
< 0,125	4,2 b C	23,6 a B	43,0 a A	18,1 b B

<sup>(1)</sup> Por subtração da proporção de partículas simples correspondentes ao diâmetro inferior da classe de agregados. CN - Cerrado nativo, PC7/PD8 - plantio direto há 8 anos, PC5/PD4 - plantio direto há 4 anos e PC3/PD3 - plantio direto há 3 anos. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %. Letras minúsculas comparam as classes de agregados nas colunas, e letras maiúsculas comparam os sistemas de manejo na linha, para cada profundidade separada.

Observa-se na tabela 9 que o CN apresentou o maior percentual de agregados na maior classe, com diferença significativa em relação às demais classes, para as duas profundidades. Não houve diferença significativa na distribuição dos agregados do PC7/PD8, na profundidade de 0-5 cm, e na profundidade de 5-10 cm o PC5/PD4 apresentou o maior percentual de agregados na menor classe.

Entre os tratamentos, observa-se que o CN apresentou o maior percentual de agregados na maior classe, com diferença significativa em relação aos outros tratamentos. Nas demais classes não houve diferença significativa na profundidade de 0-5 cm. Na profundidade de 5-10 cm o comportamento foi semelhante ao obtido na distribuição de agregados por via seca, pois o CN apresentou o maior percentual de agregados de maior classe e o menor percentual para o de menor classe, com diferença significativa em relação aos outros tratamentos.

Para o DMG dos agregados, determinada por via úmida (Figura 4), novamente o CN apresentou diferença significativa entre os demais tratamentos, concordando com Aratani et al. (2009), que também encontrou redução dos índices de agregação em Latossolo cultivado, em todas as camadas avaliadas, em relação à mata nativa, comprovando a perda de estabilidade dos agregados devido ao uso agrícola. Na profundidade de 0-5 cm não houve diferença significativa para os tratamentos com o PD. Neste caso a metodologia não identificou diferença entre os tempos de implantação do sistema PD, demonstrando que os tratamentos estão no mesmo grau de agregação.



**Figura 4.** Relação de estabilidade de agregados por via úmida entre o DMG e os tratamentos nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm. CN - Cerrado nativo, PC3/PD3 - plantio direto há 3 anos, PC5/PD4 - plantio direto há 4 anos e PC7/PD8 - plantio direto há 8 anos. Letras minúsculas iguais para os tratamentos e maiúsculas iguais para as profundidades não difere entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Na profundidade de 5-10 cm o CN também apresentou o maior valor. O tempo de adoção do sistema PD não foi suficiente para melhorar a estabilidade dos agregados, quando comparado com o CN. Provavelmente os longos anos de uso com PC nas áreas de uso atual com PD degradaram o solo.

Os menores valores de DMG, obtidos via seca e úmida (Figuras 3 e 4) para as profundidades analisadas dos solos cultivados quando comparado com o solo do CN são provavelmente decorrentes das mobilizações do solo para plantio, promovendo a sua desagregação, devido ao uso prolongado com sistema de PC antes da implantação do PD. Castro Filho et al. (1998) e Aratani et al. (2009), encontraram valores significativamente maiores de diâmetro médio de agregados em um solo sob sistema PD, quando comparado com o plantio convencional. Eles atribuíram ao fato do sistema PD proporcionar um incremento no teor de CO do solo na camada superficial, graças ao acúmulo de resíduos vegetais em superfície.

A exposição maior da camada superficial do perfil aos agentes climáticos, e à ação desagregadora desencadeada pelo homem, provocou uma diminuição do DMG dos agregados do solo. Os valores do DMG variaram de 1,45 a 0,58 mm, sendo classificados, de acordo com Silva (2001) como de baixa e muito baixa estabilidade, respectivamente.

O DMG calculado para os agregados separados por via úmida demonstrou a mesma tendência que os determinados por via seca, onde o DMG do CN foi superior ao das áreas cultivadas, porém, esta metodologia levou a uma menor diferenciação entre tratamentos, indicando que a erosão hídrica (relacionada à determinação por via úmida) tem efeito menos significativo que a erosão eólica (relacionada à determinação por via seca), em função dos manejos.

Os valores mais elevados do DMG no CN, quando comparados aos valores dos sistemas PD, é resultado de uma situação mais equilibrada encontrada no CN, uma vez que não existe movimentação do solo por implementos agrícolas com sua consequente desagregação, à semelhança do que foi constatado por Mendes et al. (2003).

Segundo Mendes et al. (2003), os solos do Cerrado apresentam rápida mineralização da matéria orgânica, devido às elevadas temperaturas e umidade do solo, durante boa parte do ano. Portanto, há dificuldade de manter o aporte de matéria orgânica preconizada no sistema PD na área pesquisada, o que pode ter levado a não diferenciação significativa entre os tratamentos com PD. Além disto, a prática da rotação de cultura não é adotada regularmente; por uma questão econômica, planta-se mais a cultura de maior rentabilidade. Hernani e Guimarães (1999), confirmaram a importância da rotação de cultura na estabilidade de agregados, pois verificaram, para condições de Mato Grosso do Sul, ter havido significativa elevação do diâmetro dos agregados estáveis em água quando o PD foi associado à rotação de culturas, fato que não se repetiu quando o sistema de preparo foi conduzido em ausência da rotação.

### **3.4 Resistência do solo à penetração**

Na tabela 10 estão os resultados médios da resistência do solo à penetração (RP), de 48 pontos amostrados na propriedade em estudo, até a profundidade de 50 cm. A representação gráfica da RP e a umidade desta área podem ser melhor visualizadas nas figuras 5 e 6.

Observa-se na tabela 10 que não houve diferença significativa entre as profundidades no CN, e apesar dos valores encontrados estarem abaixo de alguns trabalhos publicados (Silva et al., 2005; Neves et al., 2007) concordam com o valor da RP encontrada por Campos e Alves (2006) para Latossolo no Cerrado nativo. Os tratamentos com PD apresentaram diferença significativa, com maior resistência até a camada de 20 cm, o que caracteriza compactação superficial, como consequência da ação antrópica. Apesar de ser uma medida simples, a RP parece representar muito bem o que acontece no solo, onde a RP aumenta de acordo com a maior interferência antrópica (Rosa et al., 2003). Souza e Alves (2003), analisando a RP em um Latossolo Vermelho, sob diferentes usos e manejos, verificaram que os menores resultados foram observados nas áreas do Cerrado e cultivo mínimo.

De forma geral, os resultados deste estudo estão consonantes com os obtidos por Tavares Filho et al. (2001) e Tormena et al. (2004), ao constatarem que até aproximadamente 0,15 m, o PD apresentou maiores valores de RP e

que de 0,15 m até 0,40 m não ocorreram diferenças estatísticas entre os tratamentos. De acordo com De Maria et al. (1999) tem-se constatado compactação superficial do solo com a introdução do sistema PD, devido à ausência de revolvimento e com o efeito cumulativo do tráfego de máquinas na superfície do solo.

**Tabela 10.** Resistência mecânica do solo à penetração (MPa) e umidade gravimétrica média do solo ( $\text{kg kg}^{-1}$ ) para cada camada do solo, obtidos para os diferentes tempos de implantação do plantio direto e Cerrado nativo.

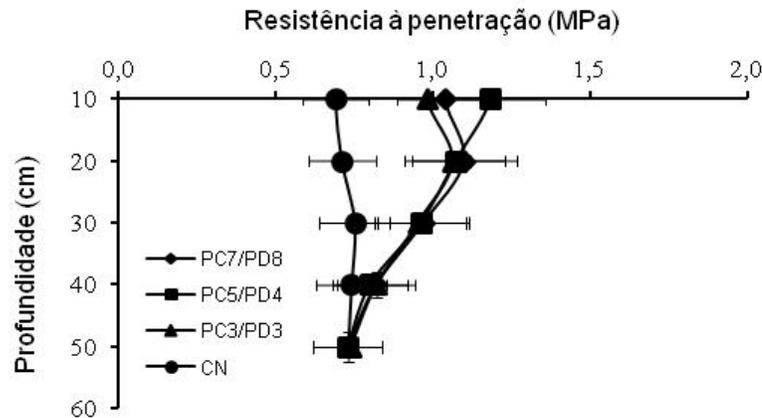
Profundidade (cm)	CN	PC7/PD8	PC5/PD4	PC3/PD3
	MPa			
0-10	0,69 a B	1,04 ab A	1,18 a A	0,98 ab A
10-20	0,71 a B	1,10 a A	1,07 a A	1,06 a A
20-30	0,75 a A	0,97 abc A	0,96 ab A	0,95 ab A
30-40	0,74 a A	0,82 bc A	0,80 b A	0,82 ab A
40-50	0,73 a A	0,73 c A	0,73 b A	0,74 b A
Umidade média ( $\text{kg kg}^{-1}$ )	0,12	0,12	0,10	0,10

CN - Cerrado nativo, PC3/PD3 - plantio direto há 3 anos, PC5/PD4 - plantio direto há 4 anos e PC7/PD8 - plantio direto há 8 anos. Letras minúsculas iguais para profundidade na coluna e maiúsculas iguais para tratamentos na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

As camadas a partir de 30 cm apresentaram menores RPs, devido à menor interferência antrópica e aumento da umidade (Figura 6), concordando com Tormena et al. (2004). Entretanto, Neves et al. (2007) encontraram aumentos expressivos de RP nas camadas entre 20 a 40 cm em Latossolos cultivados e no Cerrado nativo no Estado de Minas Gerais. Resultados semelhantes foram relatados por D'Andréa et al. (2002), sendo atribuída ao Cerrado nativo em Goiás a condição de adensamento natural do solo. Sem a caracterização de sistemas de referência, como o Cerrado nativo, que identifica fenômenos naturais, tal condição poderia ser atribuída exclusivamente à influência dos sistemas de cultivo (Neves et al., 2007).

Observa-se que entre os tratamentos o CN foi o que apresentou menor RP, comparada às do PD, com diferença significativa até a profundidade 20 cm. Os valores da RP a partir de 30 cm de profundidade ficaram bem próximos, principalmente na camada de 40-50 cm. O comportamento da RP nas áreas com PD está coerente com os maiores valores de densidade do solo e menores de PT (Tabela 4) que os mesmos tenderam a apresentar em relação ao CN, haja vista que a RP integra os efeitos da densidade e da umidade do

solo (Tormena et al., 2002), assim como, da PT. Dessa forma, os dados de PT, RP e Ds demonstram que houve aumento da compactação nos solos cultivados com PD, quando comparados aos do solo sob CN.

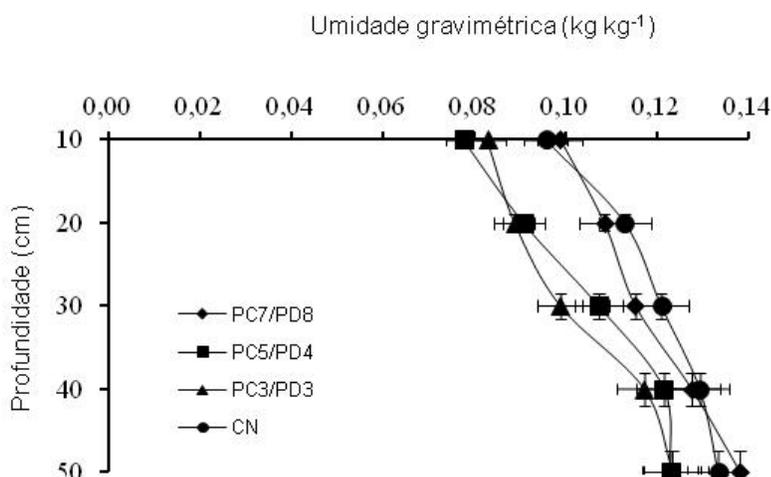


**Figura 05.** Resistência do solo a penetração em diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto e área de Cerrado nativo de Latossolos Amarelos até a profundidade de 50 cm. CN - Cerrado nativo, PC3/PD3 - plantio direto há 3 anos, PC5/PD4 - plantio direto há 4 anos e PC7/PD8 - plantio direto há 8 anos. As barras indicam os valores de erro padrão da média e a não sobreposição destas indica diferença significativa entre os tratamentos.

Não houve diferença significativa entre os tratamentos com o PD, apesar do PC7/PD8 apresentar uma umidade mais elevada que os outros tratamentos (Figura 6), pois segundo Daniel et al. (1994) a compactação do solo está intimamente ligada à umidade. Segundo Cunha et al. (2002) em condição de baixa umidade, a água encontra-se num maior estado de tensão nos poros do solo. Além dessa tensão, somam-se as forças de coesão e de adesão já existentes entre os sólidos do solo, resultando em maior resistência à deformação ou à penetração de raízes numa condição de baixa umidade. Com o aumento do teor de água, decresce a atuação das forças de coesão entre as partículas do solo e o atrito interno, provocando, então, a diminuição da RP.

Os tempos de uso do solo com PC foi capaz de alterar a RP dos solos cultivados e o tempo de implantação do PD não foi suficiente para diminuir a RP destes solos. Apesar da alteração da RP dos solos com PD em relação ao CN, a RP destes tratamentos encontra-se abaixo de valores considerados críticos por Camargo e Alleoni (1997). Segundo estes autores o crescimento radicular das culturas sofre restrição em valores de RP acima de 2,5 MPa.

Valores até 2,5 MPa são considerados baixos e apresentam pouca limitação ao desenvolvimento das raízes. No entanto, segundo Arshad et al. (1996) que citou as classes de RP adaptadas do Soil Survey Staff (1993), o CN se enquadra na classe baixa, porque a RP em todas as camadas encontra-se na faixa de 0,1–1,0 MPa. As áreas de PD enquadram-se na classe moderada até 20 cm de profundidade, estando na faixa de 1,0–2,0 MPa e, a partir de 30 cm, volta a se enquadrar na classe baixa.



**Figura 6.** Umidade gravimétrica de solos com diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto e área de Cerrado nativo sobre Latossolos Amarelos até a profundidade de 50 cm. CN - Cerrado nativo, PC3/PD3 - plantio direto há 3 anos, PC5/PD4 - plantio direto há 4 anos e PC7/PD8 - plantio direto há 8 anos. As barras indicam os valores de erro padrão da média e a não sobreposição destas indica diferença significativa entre os tratamentos.

Apesar destes limites citados na literatura alguns trabalhos demonstram que RP inferiores a 2,5 MPa é restritiva a produtividade de algumas culturas. Beutler e Centurion (2004) observaram, em Latossolo, que a redução da produtividade de grãos de soja ocorreu a 0,85 MPa. Segundo Lima et al. (2010), no intervalo entre 0,7 e 1,7 MPa seriam obtidas produtividades acima de 90% da máxima, e uma RP de 1,7 MPa seria crítica para a cultura do feijão. Similarmente, 90% da produtividade máxima da soja apresentaria limites de RP entre 0,6 e 1,9 MPa.

Conforme foi discutido acima a RP dos solos das áreas com PD não apresentaram valores restritivos ao crescimento das plantas, mesmo com extenso período de uso do solo com PC. Provavelmente, as práticas

conservacionistas neste sistema (menor revolvimento do solo e deposição de matéria orgânica da cultura anterior) contribuíram para este resultado. Segundo Silva et al. (2005), em sistemas conservacionistas, que apresentam menor revolvimento no solo e que acumulam mais matéria orgânica, existe uma tendência de haver maior eficiência de raízes e microrganismos na ação estruturadora do solo, além disto, a cobertura do solo no PD proporciona uma menor taxa de perda de água do solo (Bragagnolo; Mielcnizuck, 1990). Estas práticas contribuem para manutenção de valores de RP em níveis não restritivos ao crescimento das plantas.

#### **4. CONCLUSÕES**

O manejo imposto ao solo com cultivo convencional e posterior implantação do sistema plantio direto contribuiu para alterar propriedades morfológicas do solo como a estrutura e a consistência, que sofreram transformações no horizonte A.

A densidade dos solos cultivados embora tenha apresentado diferença significativa em relação ao Cerrado nativo, ficou abaixo do valor crítico para o desenvolvimento das culturas.

O volume total de poros, embora afetado pelo sistema de manejo plantio direto, apresentou valores dentro da faixa considerada não restritiva ao crescimento e desenvolvimento do sistema radicular das plantas.

Os menores valores do diâmetro médio geométrico obtidos via seca e úmida para os solos com plantio direto são em decorrência das mobilizações do solo para plantio, promovendo a sua desagregação.

A implantação do sistema plantio direto aumentou a resistência do solo à penetração, notadamente na camada de 0-20 cm, quando comparado com o Cerrado nativo, entretanto, não apresentou valores restritivos ao crescimento das plantas.

As principais diferenças entre os solos cultivados sob sistema plantio direto e o solo do Cerrado nativo foram demonstradas pelas variáveis densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, argila e areia, que explicam a maior porcentagem de variação.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, J. A.; ARGENTON, J.; BAYER, C.; WILDNER, L. do P.; KUNTZE, M. A. G. Relação de atributos do solo com a agregação de um Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de verão para cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol.29, p. 415-424, 2005a.

ALBUQUERQUE, J. A.; MAFRA, A. L.; FONTOURA, S. M. V.; BAYER, C.; PASSOS, J F. M. dos. Avaliação de sistemas de preparo e calagem em um Latossolo Bruno alumínico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol.29, n.6, p. 963-975, 2005b.

ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; ERNANI, P.R.; FONTANA, E.C. Propriedades físicas e eletroquímicas de um Latossolo Bruno afetadas pela calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol.24, p. 295-300, 2000.

ALLEONI, L.R.F.; CAMARGO, O.A. de. Atributos físicos de Latossolos Ácricos do Norte Paulista. **Scientia Agrícola**, v. 51, p. 321-326, 1994.

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

ANGULO, R. J.; ROLOFF, G.; SOUZA, M. L. P. Correlação entre diferentes formas de determinação e representação da estabilidade e resistência dos agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.8, p.7-12, 1984.

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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 677-687, 2009.

ARSHAD, M.A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (Ed.). Methods for assessing soil quality. Madison: **Soil Science Society of America**, p.123-141, 1996. (SSSA Special Publication, 49).

ASSIS, R. L. de; LANÇAS, K. P. Avaliação dos atributos físicos de um Nitossolo Vermelho Distroférrico sob sistema plantio direto, preparo

convencional e mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 05, p. 515-522, 2005.

BAVER, L. D.; GARDNER, W. H.; GARDNER, W. R. Soils physics. 4 ed. New York, John Wiley, 1972. 498p.

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

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. 6. Ed. São Paulo: Ícone, 2008. 355 p.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.581-588, 2004

BRAGAGNOLO, N.; MIELNICZUK, J. Cobertura do solo por palha de trigo e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 14, p. 369-374, 1990.

BUSSCHER, W.J.; BAUER, P.J.; FREDERICK, J.R. Recompaction of a coastal loamy sand after deep tillage as a function of subsequent cumulative rainfall. **Soil Till. Res.**, vol. 68, p. 49-57, 2002.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F.. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: Degaspar, 1997. 132 p.

CAMPOS, B. C.; REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; NICOLODI, R. Avaliação temporal da umidade do solo como consequência do tipo e percentagem de cobertura vegetal. **Ciência Rural**, vol. 24, p. 459-463, 1994.

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

CAMPOS, F. S.; ALVES, M. C. Resistência à penetração de um solo em recuperação sob sistemas agrosilvopastoris. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.3, p.759–764, 2006.

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

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

CARVALHO JÚNIOR, I. A.; FONTES, L. E. F.; COSTA, L. M. Modificações causadas pelo uso e a formação de camadas compactadas e, ou, adensadas em um Latossolo vermelho-escuro textura média, na região do Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 505-514, 1998.

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

CAVENAGE, A.; MORES, K. L. T.; ALVES, M. C.; CARVALHO, M. A. C.; FREITAS, M. L. M.; BUZETTI, S. Alterações nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho Distrófico típico sob diferentes culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.997-1003, 1999.

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

COSTA, F. DE S.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J. A.; FONTOURA, S. M. V. Calagem e as propriedades eletroquímicas e físicas de um Latossolo em plantio direto. **Ciência Rural**, v.34, n.1, p.281-284, 2004.

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

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

CUNHA, J. P. A. R. da; VIEIRA, L. B.; MAGALHÃES, A. C. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes densidades e teores de água. **Engenharia na Agricultura**, v. 10, n. 1-4, p. 1-7, 2002.

D'ANDRÉA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M. Atributos de agregação indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região dos Cerrados no sul do Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.1047-1054, 2002

DANIEL, L. A.; CARVALHO, J. F.; JUNQUEIRA, G. S. Avaliação de camadas de solo compactado: Efeito de diferentes sistemas de preparo e cultivo. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 24, 1994, Campinas. **Anais...** Campinas: UNICAMP, 1994, p.300-305.

DAROLT, M. R. Considerações gerais e perspectiva de expansão. In: Darolt, M. R. Plantio Direto: pequena propriedade sustentável. Londrina: IAPAR, CIRCULAR 102. p. 1-15. 1998.

DE MARIA, I. C.; CASTRO, O. M.; SOUZA DIAS, H. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 703-709, 1999.

DEBARBA, L.; AMADO, T. J. C. Desenvolvimento de sistemas de produção de milho no sul do Brasil com características de sustentabilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol.21, p.473-480, 1997.

DEMATTE, J.L.I.; MAZZA, J.A.; DEMATTE, J.A.M. Caracterização e gênese de uma topossequência Latossolo Amarelo-podzol originado de material da Formação Barreiras - Estado de Alagoas. **Scientia agrícola**, Piracicaba, v. 53, n. 1. 1996.

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

EMBRAPA. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo. Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1997. 212p.

EMBRAPA. FUNDACEP-FECOTRIGO; FUNDAÇÃO ABC. **Plantio direto no Brasil**. Passo Fundo: Editora Aldeia Norte, v. 45, 1993, 77p.

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA - FEBRAPDP. Área de plantio direto no Brasil. Disponível em <[http://www.febrapdp.org.br/dinamica/areaplantada/ev\\_plantio\\_brasil.php?arquivo=tabela](http://www.febrapdp.org.br/dinamica/areaplantada/ev_plantio_brasil.php?arquivo=tabela)>. Acesso em: 19 de mar. de 2010.

FRANCHINI, J. C.; BORKERT, C. M.; FERREIRA, M. M.; GUADÊNCIO, C. A. Alterações na fertilidade do solo em sistemas de rotação de culturas em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol.24, p.459-467, 2000.

FREITAS, P. L. Aspectos físicos e biológicos do solo. In: Landers, J.N., ed. **Experiências de plantio direto no Cerrado**. Goiânia: APDC, 1994. p.199-213.

GAVANTE, S. A. Física del Suelo, principios y aplicaciones. México. Editorial Limusa. 1976.315p.

GOMES, J. B. V.; CURTI, N.; MOTTA, P. E. F.; KER, J. C.; MARQUES, J. J. G. S. M.; SCULZE, D. G. Análise de componentes principais de atributos físicos, químicos e mineralógicos de solo do bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p.137-153, 2004.

GROBE, J. R.; MARQUES, J. M. O método de análise fatorial aplicado ao estudo de resultados de análise de solos. **Synergismus scyentifica**, v. 01, p. 237-243, 2006.

HAIR JR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Análise multivariadas de dados**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 593p.

HERNANI, L. C.; GUIMARÃES, J. B. R. Efeitos de sistemas de preparo do solo e rotação de culturas em atributos físicos de um Latossolo Roxo. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 14. Temuco, 1999. **Resúmenes**. Temuco, Un. de La Frontera, 1999. CD-ROM.

INOUE, G. H. Sistema de preparo de solo e o plantio direto no Brasil. **Agropecuária Técnica**, v. 24, n 1, p. 1-11, 2003.

JACOMINE, P. K. T. et al. Levantamento exploratório. Reconhecimento de solos do Estado do Piauí. Rio de Janeiro. EMBRAPA-SNLCS/SUDENE-DRN. 1986. 782 p ilustr.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregates. In: Black, C. A. Methods of soil analysis. Madison, American Society of Agronomy, 1965. Part 1, p.511-519.

KEMPER, W.D.; ROSENAU, R.C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A., ed. Methods of soils analysis. Physical and mineralogical methods. 2. ed. pt 1. Madison, ASA, SSSA, 1986. p.425-442.

KER, J. C. Latossolos do Brasil: uma revisão. *Geonomos*, v5, p. 17-40, 1998.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Condutividade hidráulica de um Latossolo Roxo, não-saturado, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Ciência Rural**, v. 32, p.945-953, 2002.

LATTIN, J.; CARROLL, J. D.; GREEN, P. E. **Análise de dados multivariados**. São Paulo, Cengage Learning, 1011. 455 p.

LIMA, C, C. L. R DE; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S. Produtividade de culturas e resistência à penetração de Argissolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.45, n.1, p.89-98, 2010.

MACHADO, J. A.; PAULA SOUZA, D. M.; BRUM, A. C. R. Efeitos de anos de cultivo convencional em propriedades físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 5, p.187-189, 1981.

MAGALHÃES, E. N.; OLIVEIRA, G. C.; SEVERIANO, E. C.; COSTA, K. A. P.; CASTRO, M. B. Recuperação estrutural e produção do capim-tifton 85 em um

Argissolo Vermelho-Amarelo compactado. **Ciência Animal Brasileira**, v. 10, p. 68-76, 2009.

MANLY, B. F. J. **Métodos estatísticos multivariados: uma introdução**. 3. Ed. Porto Alegre. Bookman. 2008. 229p.

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

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F.; LOVATO, T.; FERNANDES, F.F.; DEBARBA, L. Manejo de solo e culturas e sua relação com estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M.; LOPES, A.S.S.; ALVAREZ V., V.H., eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v.3. p.209-248.

NEVES et al. Atributos indicadores da qualidade do solo em sistema agrossilvopastoril no noroeste do estado de Minas Gerais. **Scientia Forestalis**, n. 74, p. 45-53, 2007.

PEREIRA, S. A.; OLIVEIRA, G. C. de; SEVERIANO, E. da C.; BALBINO, L. C.; OLIVEIRA, J. P. de. Análise de componentes principais dos atributos físicos de um Latossolo Vermelho Distrófico típico sob pastagem e mata. **Global science and technology**, v. 03, n. 02, p.87 – 97, 2010.

PERUSI, M. C., CARVALHO, W. A. Comparação de métodos para determinação da estabilidade de agregados por vias seca e úmida em diferentes sistemas de uso e manejo do solo. **Geociências**, v. 27, n2, p. 197-206, 2008.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência Ambiental**, v. 27, p. 29-48, 2003.

REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J.A.; REICHERT, J. M.; AITA, C.; ANDRADA, M.M.C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento

de raízes de plantas de cobertura em argissolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 32, p. 1805-1816, 2008.

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

SALTON, J. C. et al. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol.32, n.1, p. 11-21, 2008.

SAS Institute. SAS/STAT: Software: changes and enhancements through release 9.1. Cary, NC: SAS Institute Inc, 2002.

SECCO, D.; DA ROS, C. O.; SECCO, J. K. e FIORIN, J. E. Atributos físicos e produtividade de culturas em um Latossolo Vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol.29, n.3, p. 407- 414, 2005.

SECCO, D.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. e ROS, C. O. da. Produtividade de soja e propriedades físicas de um Latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 28, n.5, p. 797 - 804, 2004.

SIDIRAS, N.; VIEIRA, S.R.; ROTH, C.H. Determinação de algumas características físicas de um latossolo roxo distrófico sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 8, p. 265-68, 1984.

SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V. Modificações na matriz de um Argissolo Amarelo Coeso sob diferentes sistemas de manejo com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, vol. 10, n. 3, p. 554-562, 2006.

SILVA, M.A.S. et al. Propriedades físicas e teor de carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, n.2, p.327- 337, 2006.

SILVA, R. R. DA; SILVA, M. L. N.; FERREIRA, M. M. F. Atributos físicos indicadores da qualidade do solo sob sistemas de manejo na bacia do alto do rio grande MG. **Ciência e agrotecnologia**, v. 29, n. 4, p. 719-730, 2005.

SILVA, R. R. **Qualidade do solo em função de diferentes sistemas de manejo na Região do Campo das vertentes, Bacia Alto do Rio Grande MG**. 2001, 97 p. Dissertação (Mestrado em solos e nutrição de plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.

SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C. Movimento de água e resistência à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico de Cerrado sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.1, p.18-23, 2003.

STATSOFT, INC. Statistica for Windows – Computer program manual. Tulsa, 2004.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.15, p. 229-235, 1991.

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

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. C.; GUIMARÃES, M. F.; FONSECA, I.C.B. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 725-730, 2001.

TORMENA, C. A.; ARAÚJO, M. A.; FIDALSKI, J.; IMHOFF, S.; SILVA, A. P. da. Quantificação da resistência tênsil e da friabilidade de um latossolo vermelho distroférico sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol.32, n.3, p. 943-952, 2008.

TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S.; GONÇALVES, C. A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola**, v.59, p.795-801, 2002.

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

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

WEIRICH NETO, P. H.; BORGHI, E.; SVERZUT, C. B.; MANTOVANI, E. C.; GOMIDE, R. L. NEWES, W. L. de C. Análise multivariada da resistência do solo à penetração sob plantio direto. **Ciência Rural**, v.36, n.4, p.1186-1192, 2006.

ZAMBOLIM, L; REIS, E. M.; CASA, R. T. Doenças de Plantas no Sistema Plantio Direto. In: ZAMBOLIM, L. **Manejo integrado de fitossanidade: Cultivo protegido, pivô central e plantio direto**. Zambolim (Ed). Viçosa, 2001. p. 257-274.

## CAPÍTULO III:

### EFEITOS DO PLANTIO DIRETO SOBRE ATRIBUTOS QUÍMICOS, BIOLÓGICOS E NA DINÂMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA DE LATOSSOLOS AMARELOS NA REGIÃO DO CERRADO PIAUIENSE

#### 1. INTRODUÇÃO

##### 1.1 Efeitos do PD nas propriedades químicas

A adoção de diferentes sistemas de manejo promove modificações nas propriedades químicas do solo, como constatado por diversos autores (Ciotta et al., 2003; Rosa et al., 2003; Souza; Alves, 2003; Tormena et al., 2004; Albuquerque et al., 2005; Frazão et al., 2008).

Segundo Canellas et al. (2003), em áreas sob sistema de manejo convencional do solo, a movimentação e o preparo do solo para o cultivo (aração, gradagem e abertura de sulcos) favorecem as reações de oxidação, por meio do aumento da pressão parcial de oxidação e da exposição de novas superfícies para o ataque microbiano. O balanço líquido desse efeito é a diminuição dos teores de matéria orgânica nos sistemas com preparo do solo mais intensivo. Por outro lado, com a implantação do sistema PD, a adição de resíduos das culturas provoca um fluxo contínuo de C no solo, contribuindo com o aumento da atividade biológica, com a manutenção de sua diversidade, aumento do teor de matéria orgânica e da ciclagem e armazenamento de nutrientes (Anguinoni, 2007).

Souza e Alves (2003) verificaram que os sistemas PD e cultivo mínimo levaram ao acúmulo significativo de matéria orgânica e conseqüentemente aumento dos valores de pH, P, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, CTC e redução do Al<sup>3+</sup> trocável. O acúmulo de nutrientes na camada superficial, devido à contínua aplicação de fertilizantes, numa pequena profundidade, e à deposição de resíduos das culturas na superfície, tem sido apontados como os principais responsáveis pela melhoria das condições químicas do solo em áreas sob sistema PD. Ciotta et al. (2003) avaliando a utilização durante 21 anos do sistema PD em um Latossolo Bruno de Guarapuava, PR, concluíram que este sistema promoveu acúmulo de CO na camada superficial do solo (0 - 6 cm), o que refletiu-se num aumento de 2,63 t ha<sup>-1</sup> no estoque de CO, em comparação ao plantio convencional (PC). Segundo os referidos autores, o acúmulo de CO no solo

sob PD teve reflexo positivo na CTC do solo, com um aumento médio, na camada de 0 - 6 cm, de 15,2 mmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> na CTC efetiva, e de 20,7 mmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> na CTC a pH 7,0, em comparação ao solo com PC.

Albuquerque et al. (2005) também encontraram efeito positivo com a implantação do PD. Estes autores avaliando o efeito do preparo do solo e das formas de aplicação de calcário em experimento de longa duração, nas características de um Latossolo Bruno Alumínico, textura argilosa, de Guarapuava (PR), e nos componentes do rendimento da cultura da soja, concluíram que o solo sob sistema PD apresentou mais CO e P do que o PC. O maior teor de P no solo favoreceu sua absorção e acúmulo no tecido da soja. A calagem aumentou o Mg, P e N no tecido das plantas sob PC, enquanto, no PD, a calagem aumentou os teores de Ca e N nos tecidos. A produtividade da soja não foi afetada pela calagem, mas foi 16 % maior no PD em relação ao PC.

No entanto, Rosa et al. (2003), avaliando aspectos químicos de um Latossolo Vermelho Eutroférico, sob as condições de PD, irrigado e em sequeiro, e sob floresta nativa, na região de Santa Helena de Goiás (GO), concluíram que o PD não foi capaz de manter os níveis de CO nos agregados, quando comparado ao solo sob floresta nativa. Tal fato demonstra que, apesar do incremento do material orgânico no PD (14 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de matéria seca, para o PD irrigado, e 8,7 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, para o PD de sequeiro), os teores de CO não atingiram os níveis do sistema natural. A análise química desse solo apontou teores de nutrientes muito maiores no solo sob floresta nativa do que no PD que, mesmo recebendo adubações constantes, não foi capaz de manter níveis tão elevados quanto na floresta. Por outro lado, Frazão et al. (2008), comparando sistema PD com áreas de Cerrado nativo, concluíram que valores mais baixos de pH, P disponível, K, Ca e Mg foram observados nas áreas sob Cerrado e conseqüentemente a saturação por bases (V%) do solo foi mais elevada nas áreas de PD, com cinco anos de implantação. Já Santos et al. (2004), descobriram semelhança nos teores de CO e N total, na camada 0-5 cm, encontrados no solo manejado com sistema PD e em condições naturais.

A prática da escarificação tem sido utilizada para minimizar o efeito da compactação do solo no sistema PD (Tormena et al., 2004; Secco et al., 2005;

Vieira et al., 2007). O efeito desta prática nas propriedades químicas do solo foi avaliado por Tormena et al. (2004), que quantificaram os teores e a taxa de estratificação do CO num Latossolo Vermelho Eutroférico, após dez anos da instalação dos sistemas de manejos PD com rotação de culturas; com sucessão de culturas e; escarificação do solo antes da semeadura da cultura de verão (PDR). Os autores verificaram que os teores de CO foram maiores no PD até 10 cm de profundidade, enquanto de 10-40 cm, foram constatados maiores valores no PDR. De acordo com Araújo et al. (2004), esta diminuição dos teores de CO está associada à escarificação devido ao favorecimento da decomposição promovida pela oxigenação temporária do solo.

Apesar de a matéria orgânica do solo aumentar sob o sistema PD e apresentar elevado aporte de resíduos, deve-se considerar que este aumento também depende de outros fatores, tais como: clima, principalmente temperatura e precipitação, textura e mineralogia do solo (Alvarez; Lavado, 1998).

## **1.2 Efeitos do PD nas propriedades biológicas**

Os sistemas de manejo também afetam as condições biológicas do solo, segundo diversos autores (Rosa et al., 2003; Figueiredo et al., 2007; Ferreira et al., 2007; Pereira et al., 2007; Matias et al., 2009).

A atividade e montante populacional dos organismos no solo estão diretamente relacionados com o volume de material orgânico disponível, que constitui uma das principais fontes de energia para os organismos. O constante revolvimento da superfície do solo e a falta de cobertura vegetal no PC contribuem para uma diminuição das populações de organismos do solo (principalmente microrganismos). Pela maior concentração de resíduos e seus efeitos na superfície, o sistema PD tende a facilitar um incremento na vida biológica do solo (Calegari, 1998).

A capacidade produtiva de um solo não depende unicamente da fertilidade, mas também das interações de fatores bióticos e abióticos (Araújo et al., 2005). O C da biomassa microbiana, apesar de ser influenciado pelo clima e adições de resíduos, é considerado um possível indicador de qualidade do solo, porque representa a fração ativa e biodegradável da matéria orgânica

e reflete tendências de mudanças que estão ocorrendo na mesma a médio e em longo prazo nas frações de ciclagem mais lenta (Feigl et al., 1998).

A biomassa microbiana do solo representa um importante componente ecológico, pois constitui a maior parte da fração ativa da matéria orgânica, responsável pela decomposição e mineralização dos resíduos vegetais do solo. Assim, ela exerce tanto funções catalisadoras como de fonte e reserva de nutrientes, sendo, portanto, a chave que controla os processos de mineralização-imobilização dos nutrientes na matéria orgânica do solo (Gama-Rodrigues; Gama-Rodrigues, 2008).

O quociente microbiano ( $q_{Mic}$ ) refere-se à relação entre o C da biomassa microbiana e o CO do solo e é um índice bastante utilizado para fornecer indicações sobre a dinâmica da matéria orgânica, expressando a eficiência da biomassa microbiana em utilizar o CO do solo. Este índice pode variar de acordo com o pH, sistemas de preparo do solo, quantidade e qualidade do aporte de C (Anderson; Domsch, 1993). Maior  $q_{Mic}$  representa maior ciclagem de nutrientes e, portanto, menor acúmulo de C.

A disponibilidade de C no solo tem sido descrita como fonte que contribui para o aumento da respiração basal do solo (RBS, C-CO<sub>2</sub>) que é definida como a soma total de todas as funções metabólicas nas quais o CO<sub>2</sub> é produzido. As bactérias e os fungos são os principais responsáveis pela maior liberação de CO<sub>2</sub> via degradação da matéria orgânica (Silva et al., 2007). É necessário, portanto, entender o efeito de diferentes sistemas de manejo do solo sobre a quantidade de biomassa microbiana do solo e sua ação na liberação e no fornecimento adequado de nutrientes para as culturas no Cerrado (Figueiredo et al., 2007).

A respiração basal, também denominada C prontamente mineralizável é um dos indicadores mais tradicionalmente utilizados para avaliar a atividade metabólica da população microbiana do solo. A respiração basal do solo reflete tanto a atividade de microrganismos aeróbios quanto anaeróbios e depende do estado fisiológico da célula, pois é influenciada por diversos fatores do solo, tais como umidade, temperatura e disponibilidade de nutrientes (Alef, 1995).

As combinações das medidas das biomassas microbianas e respirações do solo fornecem a quantidade de CO<sub>2</sub> evoluída por unidade de biomassa, denominada quociente metabólico ou respiratório ( $qCO_2$ ). O  $qCO_2$  indica a eficiência da biomassa microbiana em utilizar o C disponível para biossíntese, sendo sensível indicador para estimar a atividade biológica e a qualidade do substrato (Saviozzi et al., 2002). De acordo com Tótola e Chaer (2002) o  $qCO_2$  prediz que, à medida que determinada biomassa se torna mais eficiente na utilização dos recursos do ecossistema, menos C é perdido como CO<sub>2</sub> pela respiração e maior proporção de C é incorporada aos tecidos microbianos. Portanto, baixo  $qCO_2$  indica economia na utilização de energia, refletindo um ambiente mais estável e mais próximo do seu equilíbrio. Maiores valores de  $qCO_2$  indicam que a população microbiana está consumindo mais C oxidável para sua manutenção. Segundo Anderson e Domch (1993)  $qCO_2$  elevados são um indicativo de comunidades microbianas em estágios iniciais de desenvolvimento, com maior proporção de microrganismos ativos em relação aos inativos, ou seja, um indicativo de populações microbianas sob algum tipo de estresse metabólico.

A mobilização do solo, por proporcionar a incorporação de resíduos orgânicos, pode elevar a biomassa microbiana em curto prazo, por disponibilizar substrato orgânico com a quebra dos agregados, mas, em longo prazo, pode ter efeitos negativos, como a diminuição dos teores de MO (Ferreira et al., 2007). Henrot e Robertson (1994) mediram o C da biomassa microbiana em dois solos tropicais que mostraram padrão similar no declínio da MO e da biomassa microbiana. Após três anos de PC, o C total foi reduzido em 20 %, e o C microbiano, estabilizado a 35 % do seu valor inicial.

Figueiredo et al. (2007) avaliaram os teores de C e N da biomassa microbiana em um Latossolo Vermelho com cultivo alternado de milho e soja no Cerrado em Planaltina, sob sistemas PC (preparo com arado de discos e de aivecas) e PD, durante 22 anos. Os autores concluíram que, em geral, quanto mais conservacionista o sistema, maior o acúmulo de N na superfície, imobilizado na biomassa microbiana. Ferreira et al. (2007), avaliaram a influência na dinâmica do C da biomassa microbiana e o teor de CO do solo, dos mesmos sistemas de manejo e profundidades do Latossolo Vermelho, citadas no trabalho anterior, acrescentando na pesquisa uma área com

vegetação típica de Cerrado. Concluíram que no solo sob sistema PD, os teores de C da biomassa microbiana e CO do solo decresceram das camadas mais superficiais para as mais profundas e de forma mais acentuada que no solo sob PC. No Cerrado, a biomassa microbiana é responsável pela maior percentagem do CO total do solo, em comparação com os sistemas cultivados, que não apresentaram diferenças entre si.

Pereira et al. (2007), avaliaram os atributos qualitativos e quantitativos da microbiota, visando monitorar as alterações do solo sob PC e PD. Os incrementos no C e N da biomassa microbiana no PD foram de 114 e 157 %, respectivamente, em comparação ao PC. A diversidade genética da comunidade bacteriana total do solo foi superior no PD e inferior no PC com sucessão de culturas. Em relação à fixação biológica do N<sub>2</sub>, a massa e o N total acumulados na parte aérea e a eficiência dos nódulos em fixar N<sub>2</sub> foram superiores no PD.

Matias et al. (2009), verificando os efeitos de diferentes sistemas de manejo sobre a biomassa microbiana em um Latossolo Amarelo sob os sistemas PD e PC, além de uma área recém-desmatada (ARD) e uma com vegetação nativa, concluíram que a área sob PD apresentou teores de C da biomassa microbiana, superiores aos observados no PC e ARD. A adoção do sistema PD proporcionou aumento na biomassa microbiana, C orgânico, N total e estoques de C do solo, indicando melhoria na qualidade do solo.

Apesar de pesquisas evidenciarem a ocorrência de melhores condições biológicas do solo sob o PD, em comparação com o PC, Rosa et al. (2003) observaram maiores valores para o C da biomassa microbiana no solo sob floresta nativa, em relação ao PD. A maior diversidade de espécies vegetais encontradas na floresta, que se reflete diretamente numa maior amplitude de organismos vivos favorecidos pelas condições ambientais do solo da floresta nativa, é uma explicação para este fato. No entanto, Santos et al. (2004), encontraram valores semelhantes de C da biomassa microbiana comparando solos sob PD e em condições naturais, na profundidade de 0-5cm. Os autores concluíram que sistemas de manejo que mantêm elevados teores de CO total no solo proporcionam uma maior atividade microbiana.

### 1.3 Efeitos do PD na dinâmica da matéria orgânica

Estudos vêm demonstrando que o sistema PD apresenta maiores teores de C no solo em comparação com o PC. No entanto, quando comparado com áreas de vegetação nativa, o PD apresenta menores teores de CO, indicando que o cultivo altera a matéria orgânica no solo.

De acordo com Nicoloso (2005), a fração particulada da matéria orgânica do solo (COP, > 53 $\mu$ m), representada pelos estoques de C, constitui importante ferramenta indicadora de qualidade do solo em curtos períodos de avaliação. Assim sendo, o COP do solo pode ser utilizado como um indicador de qualidade do solo para avaliação de sistemas de manejo, nos quais as alterações na matéria orgânica do solo ainda não tenham sido de grande magnitude (Conceição et al., 2005).

Em um experimento de longa duração (21 anos), Costa et al. (2004) avaliaram o efeito do sistema PD sobre os estoques de CO e COP de um Latossolo Bruno, em Guarapuava, PR. O solo em PD apresentou taxa de incremento de 0,15 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de COT e 0,06Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de COP na camada de 0-20 cm, calculadas em comparação com os estoques de CO de um solo sob PC. As maiores alterações nos estoques de C ocorreram na camada superficial do solo (0-5 cm), onde o COP apresentou-se 58% superior no PD em relação ao PC, enquanto o COT, apenas 32%. Segundo os autores, as baixas taxas de incremento nos estoques de CO estão, possivelmente, relacionadas à alta estabilidade física da matéria orgânica neste solo argiloso e com mineralogia predominantemente gibbsítica.

A fração COP é a parte mais lábil do solo, aquela que responde prontamente aos sistemas de manejo. Já a fração orgânica associada ao mineral (COM) é a parte mais estável, não apresentando sensibilidade imediata à alterações nas práticas de manejo, sendo considerada o estoque de C a médio e longo prazo (Salton et al., 2005).

Heide et al. (2009), avaliando as frações orgânicas e a estabilidade dos agregados de um Latossolo Vermelho Distroférico, sob diferentes usos, obteve como resultados que os maiores valores de CO foram encontrados na área de mata, quando comparados aos valores encontrados em pastagem e PD.

Segundo os autores o cultivo do solo, quando realizado de forma inadequada, promove declínio nos teores de C em relação à mata nativa. Neste estudo, o uso do solo sob pastagem promoveu uma redução do teor de CO de 16,4%, enquanto o PD teve redução ainda mais expressiva (30,4%). O teor de COP sofreu redução de 30,6% no solo sob pastagem, sendo que, sob PD, essa redução foi ainda maior (48,8%). Por ser uma fração lábil e com maior taxa de reciclagem dos constituintes orgânicos, as alterações nos estoques de COP promovidas pelo manejo do solo são percebidas geralmente em curto prazo, em comparação às alterações mais lentas que ocorrem no CO do solo como um todo (Heide et al., 2009). Os valores de COM sofreram reduções de 15,7% no uso do solo sob pastagem e de 30,6% no PD. Segundo os autores a alteração do COM é menor pelo fato deste possuir uma ciclagem mais lenta que a fração COP, devido ao seu avançado estágio de humificação e estabilidade, conferido pela interação com a fração mineral do solo, localização no interior de microagregados e maior recalcitrância química devido à sua composição, concordando com Roscoe e Oliveira (2002).

De acordo com os trabalhos citados, o cultivo diminui os teores de matéria orgânica do solo, quando são comparados solos cultivados e solo sem ação antrópica (área de preservação), apresentando alteração mais significativa no PC do que no sistema PD.

Do ponto de vista da estabilidade da matéria orgânica no solo, esta pode ser simplificada dividida em uma fração lábil (biodegradável, leve) e uma fração humificada (estável, pesada). A principal função da fração lábil é o fornecimento de nutrientes às plantas através de sua mineralização e de energia e C aos microrganismos do solo, enquanto a da fração humificada é atuar sobre as condições físicas e químicas do solo (Oades et al., 1989).

As diferentes formas de fracionamento utilizadas nos estudos da matéria orgânica do solo tentam reduzir a heterogeneidade das frações orgânicas, procurando separar frações homogêneas quanto à natureza, dinâmica e função (Christensen, 2000). O fracionamento físico tem se mostrado promissor na distinção dos compartimentos de C do solo sujeitos à influência do manejo (Collins et al., 1997), sendo o mesmo subdividido em fracionamento densimétrico e granulométrico. O densimétrico é baseado na utilização de uma

solução com densidade conhecida, onde o material suspenso é considerado a fração leve (Christensen, 1992). O fracionamento granulométrico é baseado no tamanho das partículas, utilizando principalmente o peneiramento e sedimentação em proveta (Cambardella; Elliott, 1992).

Estudos da dinâmica matéria orgânica do solo através da extração e fracionamento de substâncias húmicas (fracionamento químico) têm sido conduzidos para o entendimento do impacto da agricultura na qualidade do solo (Mendonza et al., 2000). A fração humificada constitui a maior parte da matéria orgânica de solos e sedimentos. As substâncias húmicas (SH) são materiais amplamente distribuídos na superfície terrestre, ocorrendo em quase todos os ambientes, do terrestre ao aquático (Rossi, 2009). Operacionalmente, as SH são fracionadas em função de sua solubilidade a diferentes valores de pH em: ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) e humina (HUM).

O objetivo deste trabalho foi avaliar as alterações nos atributos químicos, biológicos e na dinâmica da matéria orgânica em Latossolos cultivados com soja em função de diferentes tempos de implantação do PD, após cultivo anterior em sistema PC, além de identificar estatisticamente quais variáveis químicas contribuem mais para as alterações do solo.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

O histórico da área e procedimentos de amostragem estão descritos no item 2.1 do capítulo II.

### **2.1 Métodos de análises**

As metodologias adotadas para as análises dos atributos do solo discutidos neste capítulo, não incluídas no capítulo I, estão descritas abaixo.

#### **2.1.1 Atividades biológicas**

As amostras de solo, coletadas nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm em cada área (tratamento) estudada, foram acondicionadas em ambiente refrigerado a 4 °C até a realização das análises, após passarem em peneira de 2,0 mm de malha. As análises foram realizadas no Laboratório de Biociências do Campus Universitário da UFPI/Bom Jesus.

A determinação da respiração basal do solo (C-CO<sub>2</sub>) foi realizada segundo a metodologia descrita por Alef e Nannipieri (1995). Para cada amostra de solo, foram retiradas três subamostras de 50 g (umidade ajustada a 70% da capacidade de campo). Estas foram acondicionadas em beakers de 50 mL os quais foram colocados no fundo de recipientes plásticos de 2 L, juntamente com outro becker contendo 20 mL de NaOH (0,05 M), para capturar o CO<sub>2</sub> liberado do solo. Os recipientes plásticos foram vedados hermeticamente e incubados (72 horas) a temperatura controlada (27 ± 2 °C). Foram preparados três recipientes controle, com o NaOH (0,05 M), sem solo. Após o período de incubação, as soluções de NaOH receberam 5 mL de BaCl (0,5 M) para a precipitação do carbonato e foram imediatamente tituladas com HCl (0,05 M) após a adição de três gotas de fenolftaleína (1%) como indicador.

O carbono da biomassa microbiana (Cmic) foi determinado pelo método adaptado descrito por Mendonça e Matos (2005), utilizando-se o forno de microondas para preparação das amostras irradiadas (potência real do aparelho 767,07W), por três (03) minutos, para eliminar os microrganismos, provocar o rompimento da célula e a liberação de compostos intracelulares. O Cmic foi extraído por uma solução de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,5 mol L<sup>-1</sup>. Uma alíquota de 10 mL do extrato filtrado foi utilizada para essa determinação. A esta alíquota foram acrescentados 2 mL de K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 0,066 mol L<sup>-1</sup> e 10 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> em erlenmeyers de 250 mL. A solução foi diluída com 50 mL de água destilada e resfriada. O dicromato residual foi quantificado por titulação com uma solução de sulfato ferroso amoniacal [Fe(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O] em H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado, na presença de uma solução indicadora composta por fenantrolina e sulfato ferroso (Ferroul). A quantidade de Cmic foi determinada pela diferença entre o C extraído das amostras de solo irradiadas e não irradiadas, usando-se fator de correção (k<sub>C</sub>) de 0,33.

O qCO<sub>2</sub> foi obtido pela razão entre o C-CO<sub>2</sub> e o Cmic, e o qMic foi obtido pela relação entre o Cmic e o CO, ambos seguindo a metodologia de Anderson e Domsch (1993).

O N total do solo foi determinado empregando-se o método Kjeldahl, da seguinte forma: uma alíquota de 100 mg de solo, foi transferida para um tubo de vidro na presença de 5 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado e de 1 g de mistura

catalítica ( $\text{CuSO}_4:\text{K}_2\text{SO}_4:\text{Se}$  em pó, na relação 2:4:8). Em seguida, os tubos foram acondicionados em bloco digestor, a temperatura mantida em 150 °C durante uma hora e trinta minutos, sendo a digestão concluída a 350 °C, após três horas. Iniciou-se, em seguida, a destilação com adição de 20 mL de NaOH 500 g L<sup>-1</sup>, recolhendo-se o destilado em erlenmeyer de 50 mL contendo 10 mL de H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> (20 g L<sup>-1</sup>), na presença de um indicador composto por verde de bromocresol (0,1 dag L<sup>-1</sup>) e vermelho de metila (0,1 dag L<sup>-1</sup>), procedendo-se então à titulação com HCL 0,01 N.

## **2.1.2 Fracionamento físico da matéria orgânica**

### **Fracionamento granulométrico**

Para avaliação da dinâmica da matéria orgânica do solo foi feito o fracionamento físico por gravimetria nas amostras de solo coletadas nos horizontes A e AB em cada tratamento. Nesse trabalho adotou-se o método descrito por Cambardella e Elliott (1992), utilizando como dispersante uma solução normal de hidróxido sódio (NaOH) na proporção 2:1 (solo:solução), seguido de agitação rápida por 15 minutos.

Após a agitação, o material foi passado por uma peneira 53µm com auxílio de jato d'água. O material retido foi lavado e representou a fração 2000-53 µm, correspondente a areia fina e areia grossa. Em seguida o material que passou na peneira foi transferido para um Becker de 250 mL previamente pesado e levado a estufa, onde a temperatura de 60°C permaneceu até a retirada completa da umidade. Após a secagem, o material foi pesado e moído manualmente em gral de porcelana até atingir homogeneidade granulométrica. Em seguida, foi feita análise do teor de matéria orgânica (adaptado de Yeomans; Bremner, 1988). O C determinado na fração retida na peneira de 53µm foi denominada de carbono orgânico particulado (COP), representado em g de CO por quilograma de partículas > 53µm, correspondente a fração lábil da matéria orgânica. O C do material que passou pela peneira de 53µm está associado às frações silte e argila, e é denominado carbono orgânico associado ao mineral (COM), representado em g de C orgânico por quilogramas de partículas < 53µm, correspondendo à fração não lábil da matéria orgânica. Os valores de COM foram obtidos subtraindo do CO o COP.

## **Fracionamento densimétrico**

Para avaliação das frações leve livre (FLL) da matéria orgânica do solo foi feito o fracionamento físico por densidade nas amostras de solo coletadas nos horizontes A e AB em cada tratamento. A metodologia utilizada foi a proposta por Sohi et al. (2001), inclusive utilizando a mesma energia aplicada no ultra – som ( $400 \text{ J mL}^{-1}$ ) e densidade de NaI de  $1,8 \text{ g cm}^{-1}$ .

Inicialmente, uma pequena alíquota de TFSA foi transferida para um recipiente, para determinar o teor de umidade. Em seguida, pesou-se 5g de TFSA em frascos de centrifuga de 50 mL e adicionou-se 35 mL de iodeto de sódio com densidade de  $1,8 \text{ g cm}^{-1}$ . Os frascos foram agitados manualmente por 30 segundos, com energia suficiente para que as frações orgânicas menos densas atingissem a superfície da solução. Depois, as amostras foram centrifugadas a 18.000 rpm por 15 minutos, sob uma temperatura de  $18^{\circ}\text{C}$ , a fim de sedimentar as partículas minerais do solo no fundo do frasco. A fração sobrenadante presente na solução (fração leve livre) foi succionada juntamente com a solução de NaI (densidade =  $1,8 \text{ g cm}^{-1}$ ), imediatamente separada por filtração vácuo (Sistema Asséptico Sterifil, 47 mm – milipore) com filtros de fibra de vidro (47 mm de diâmetro; 2 microns – Whatman tipo GF/A), previamente pesados.

As frações coletadas foram lavadas com água destilada visando eliminar o excesso de NaI presente na fração e no filtro. A fração orgânica juntamente com o filtro, foi posteriormente seca a  $65^{\circ}\text{C}$ , pesada e finamente moída ( $< 0,15 \text{ mm}$ ) num moinho de rolagem para posterior análise. Foram obtidas três repetições de laboratório para cada densidade, sendo estas combinadas em uma única amostra. Esta análise foi realizada no laboratório de solos da UFRRJ.

### **2.1.3 Fracionamento químico da matéria orgânica**

As amostras de solo passaram por pré-tratamento com ácido ortofosfórico  $2 \text{ mol L}^{-1}$  na proporção 1:10 (m/v), que separou por densidade a fração leve e solubilizou a fração ácidos fúlvicos livres (AFL). Em sequência, sobre a amostra de solo foi colocada a mistura extratora de NaOH  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$  na proporção 1:10 (v/v), que solubilizou os ácidos fúlvicos (AFs) e os ácidos

húmicos (AHs). O resíduo sólido insolúvel resultante do processo de fracionamento foi denominado de humina (H). Os AHs foram separados dos AFs por centrifugação (30 min/3.500 rpm) após precipitação em meio ácido obtido com adição de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado até valor de pH 1. O teor de C em cada fração foi determinado por meio do procedimento Walkley-Black modificado, utilizando calor externo (Embrapa, 1997), com cinco repetições.

## **2.2 Delineamento estatístico**

O delineamento experimental utilizado também foi o inteiramente casualizado (DIC), em parcelas subdivididas, com cinco repetições, em que as parcelas representaram as áreas com diferentes tempos de implantação do PD e a de Cerrado nativo, e as subparcelas as profundidades de amostragens, representadas pelos horizontes A e AB, para os atributos químicos e o fracionamento da matéria orgânica. Para a atividade biológica as subparcelas foram representadas pelas profundidades 0-5 e 5-10 cm. Os resultados foram submetidos à análise de variância, sendo os efeitos da profundidade, do uso do solo e da interação uso do solo x profundidade, comparados pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, empregando-se o programa computacional SAS/STAT (2002) para análise dos dados.

Como análise complementar também foi utilizada a técnica multivariada, adotando-se os mesmos procedimentos para análise dos indicadores físicos (capítulo II). Inicialmente, foi feita a análise de cluster para verificar os grupos formados no dendrograma. Os grupos foram definidos pelo traçado de uma linha paralela ao eixo horizontal. Optou-se por traçar esta linha na altura 4 e entre as alturas 4 e 6, para os horizontes A e AB, respectivamente, onde se encontram as maiores distâncias em que os grupos foram formados. Com a intenção de reduzir o número de variáveis para um conjunto mais significativo também foi feito o estudo da análise fatorial - AF relacionado à análise de componentes principais – ACP.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Efeitos do PD nas propriedades químicas dos Latossolos

As modificações químicas do solo advindas dos diferentes tempos de implantação do PD em comparação com o solo do Cerrado nativo podem ser observadas nas tabelas 1 e 2. Ressalte-se que as alterações foram mais significativas no horizonte A, concordando com Albuquerque et al. (2005).

Todos os parâmetros da tabela 1 apresentaram valores superiores no horizonte A em relação ao AB, com exceção do  $Al^{3+}$ , cujos valores foram superiores no horizonte AB dos solos cultivados. A calagem e adubação nestes solos elevaram os teores de  $Ca^{2+} + Mg^{2+}$  e  $K^+$ , e conseqüentemente, os valores S (soma de bases) e V % (saturação por bases) em relação ao solo do CN, tanto no horizonte A, quanto no AB, concordando com Souza e Alves (2003) e Carneiro et al. (2009). Entretanto, estes parâmetros não apresentaram diferença significativa entre os solos cultivados, indicando que os diferentes tempos de implantação do PD não interferiram nestes parâmetros.

A adição de calcário na superfície dos solos cultivados com o PD elevou o  $Ca^{2+} + Mg^{2+}$  para teores entre 1,7 a 2,1  $cmol_c kg^{-1}$  em relação ao CN (0,7  $cmol_c kg^{-1}$ ). A adubação com KCl elevou o teor de  $K^+$  para valores entre 0,16 a 0,19  $cmol_c kg^{-1}$ , nos solos cultivados em comparação com a área do CN (0,03  $cmol_c kg^{-1}$ ) (Tabela 1). O baixo valor de  $K^+$  observado no CN, em comparação como os solos sob PD, mostra que a lixiviação contribuiu para a perda deste nutriente, de forma intensa durante o processo de formação do solo. Os maiores teores de cátions ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  e  $K^+$ ) no horizonte A são determinados pelo retorno de bases, a partir da correção e adubação, e o não-revolvimento do solo. O  $H^+$  e o  $Al^{3+}$  apresentaram valores mais altos no CN, o que se refletiu na saturação por alumínio (m), significativamente mais elevada. Observa-se na tabela 2, decréscimo da m com o tempo de implantação do PD, tanto no horizonte A como no AB, reflexo do aumento dos valores de soma de bases nos solos cultivados, devido, principalmente, pela prática de calagem. A diminuição significativa da m no horizonte AB dos solos sob PD em relação ao CN reflete a movimentação de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  para este horizonte.

O teor de  $Al^{3+}$  trocável apresentou interação significativa entre os solos cultivados e o solo do CN no horizonte A, não sendo significativa no horizonte AB. A adição de calcário reduziu o  $Al^{3+}$  trocável no horizonte A para  $0,5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  nos solos cultivados, em comparação ao  $Al^{3+}$  do CN ( $1,8 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ). É importante ressaltar que as doses de calcário, aplicadas no preparo do solo foram suficientes para manter o  $Al^{3+}$  trocável do horizonte A, próximo de  $0,5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ . Segundo Anghinoni e Salet (2000), pH entre 5,3 e 5,6 e teor de  $Al^{3+}$  menor que  $0,5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ , são condições satisfatórias para o desenvolvimento de várias culturas.

**Tabela 1.** Atributos químicos de Latossolos Amarelos cultivado sob plantio direto e de uma área de Cerrado nativo.

Tratamento	$Ca^{2+} + Mg^{2+}$	$K^+$	$Na^+$	Valor S	$H^+$	$Al^{3+}$	Valor T	Valor V
	----- $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ -----							%
<b>Horizonte A</b>								
<b>CN</b>	0,7 B a	0,03 B a	0,03 A a	0,8 B a	8,4 A a	1,8 A a	10,9 AB a	7 B a
<b>PC7/PD8</b>	2,9 A a	0,16 A a	0,00 B a	3,1 A a	5,9 BC a	0,5 B a	9,5 AB a	33 A a
<b>PC5/PD4</b>	2,4 A a	0,18 A a	0,00 B a	2,6 A a	5,5 C a	0,5 B a	8,6 B a	30 A a
<b>PC3/PD3</b>	2,7 A a	0,19 A a	0,00 B a	2,9 A a	7,6 AB a	0,9 B a	11,2 A a	25 A a
<b>Horizonte AB</b>								
<b>CN</b>	0,6 A a	0,01 A a	0,01 A b	0,6 A a	4,3 A b	1,1 A b	6,0 A b	10 B a
<b>PC7/PD8</b>	1,2 A b	0,03 A b	0,00 B a	1,3 A b	4,0 A a	0,8 A a	6,0 A b	21 A b
<b>PC5/PD4</b>	1,2 A b	0,06 A b	0,00 B a	1,3 A b	3,7 A a	0,9 A a	5,8 A b	22 A b
<b>PC3/PD3</b>	1,2 A b	0,03 A b	0,00 B a	1,2 A b	4,7 A b	1,0 A a	6,9 A b	17 AB b
<b>CV (%)</b>	20,13	50,54	53,36	20,45	16,75	26,05	13,28	16,81

CN- Cerrado nativo, PC3/PD3- plantio direto há 3 anos, PC5/PD4- plantio direto há 4 anos e PC7/PD8- plantio direto há 8 anos. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %. Letras maiúsculas comparam os tratamentos em cada horizonte e letras minúsculas comparam os horizontes dentro do mesmo tratamento.

Os resultados obtidos demonstram claramente que o valor T (CTC), dentro de cada tratamento, diminuiu significativamente com a profundidade, como consequência da diminuição da matéria orgânica. Os maiores valores da CTC e do  $H^+$  e  $Al^{3+}$  dos horizontes A do CN e do PC3/PD3 também são resultantes dos maiores teores de CO observados nestes tratamentos. No horizonte AB não houve diferença significativa.

O maior teor de CO foi observado no horizonte A em todos os tratamentos, conforme resultado encontrado por Silva e Ribeiro (1998) e Tormena et al. (2004). A adição de resíduos orgânicos, pela queda de material vegetal à superfície, resulta em teores mais elevados de CO em relação às camadas mais profundas (Figura 4). A ausência de revolvimento contribui para a manutenção do CO, uma vez que não há exposição da matéria orgânica protegida fisicamente da ação dos microrganismos (Cambardella; Elliott, 1993). Nos sistemas PD, o maior teor de CO na superfície decorre do fornecimento de material orgânico proveniente de restos culturais e cobertura vegetal dessecada por ação de herbicidas. Além disso, o sistema radicular nos sistemas PD tende a se concentrar na camada superficial do solo, na qual são mais intensos e ativos aos processos biológicos de transformação da matéria orgânica (Silva et al., 2000)

Apenas o tratamento PC5/PD4 apresentou diferença significativa em relação ao CN quanto ao CO. Esta área foi cultivada cinco anos sob o sistema de PC. O revolvimento do solo ocasiona, temporariamente, melhores condições de aeração e maior exposição dos resíduos orgânicos incorporados, com isso, existe rápida oxidação pelos microrganismos, reduzindo os teores de CO no solo (Canellas et al., 2003; Albuquerque et al., 2005). Além disso, os quatro anos de implantação do sistema PD não proporcionaram aporte de matéria orgânica suficiente para elevar o teor de CO ao do CN. Observou-se no campo que a contribuição de matéria orgânica de um cultivo para o outro era insipiente, pois as condições climáticas favorecem a rápida decomposição destes resíduos.

Os tratamentos PC7/PD8 e PC3/PD3 não apresentaram diferença significativa em relação ao CN, devido ao maior tempo de aporte de matéria orgânica com implantação do PD no PC7/PD8 (oito anos de PD) e menor tempo de uso do solo no PC3/PD3. É possível que os três anos de cultivos sob PC, a que foi submetida a área deste último tratamento, tenha sido suficiente para oxidar o CO dos compostos mais simples e facilmente decomponíveis, mais não das frações intermediárias e mais recalcitrantes, formadas sob Cerrado. Além disso, o não revolvimento do solo no PD preserva a sua

estrutura, o que favorece uma maior proteção da matéria orgânica no interior dos agregados (Six et al., 1998; Bayer et al., 2001).

**Tabela 2.** O pH em H<sub>2</sub>O e KCl, carbono orgânico (CO) e saturação por alumínio (m) de Latossolos Amarelos cultivado sob plantio direto e de uma área de Cerrado nativo.

Tratamento	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl 1N	CO g kg <sup>-1</sup>	m (%)
<b>Horizonte A</b>				
<b>CN</b>	4,8 B b	3,6 C a	18,91 A a	70 A a
<b>PC7/PD8</b>	5,2 A a	4,0 AB a	18,00 AB a	13 B b
<b>PC5/PD4</b>	5,2 A a	4,0 A a	13,36 B a	17 B b
<b>PC3/PD3</b>	5,1 A a	3,8 B a	21,45 A a	24 B b
<b>Horizonte AB</b>				
<b>CN</b>	5,0 A a	3,9 A b	9,86 A b	64 A a
<b>PC7/PD8</b>	4,7 B b	3,9 A a	8,68 A b	38 B a
<b>PC5/PD4</b>	4,7 B b	3,9 A a	9,50 A a	40 B a
<b>PC3/PD3</b>	4,5 B b	3,9 A a	9,90 A b	45 B a
<b>CV (%)</b>	2,02	2,30	16,00	16,09

CN - Cerrado nativo, PC3/PD3 - plantio direto há 3 anos, PC5/PD4 - plantio direto há 4 anos e PC7/PD8 - plantio direto há 8 anos. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %. Letras maiúsculas comparam os tratamentos em cada horizonte e letras minúsculas comparam os horizontes dentro do mesmo tratamento.

O maior teor de CO, o aumento da CTC (Ciotta et al., 2002), a adubação e a calagem superficial, bem como a permanência e decomposição mais lenta dos resíduos culturais na superfície do solo no sistema PD, favorecem o acúmulo de nutrientes nos horizontes superficiais do solo.

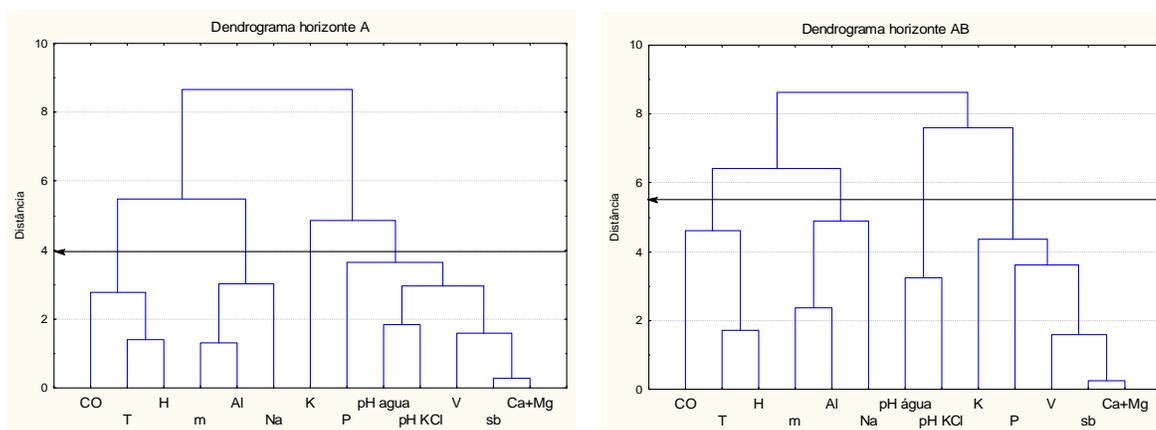
O pH do horizonte A, tanto em H<sub>2</sub>O quanto em KCl, foi menor no CN quando comparado com os solos cultivados. No horizonte AB ocorreu o contrário, o CN apresentou pH em H<sub>2</sub>O maior que nos solos cultivados e em KCl não houve diferença significativa. O pH em água é afetado pela adição constante de fertilizantes de reação ácida, reações localizadas de nitrificação do amônio e dissolução de fosfatos solúveis e de Ca (Ciotta et al., 2002). Os valores de pH indicam que a calagem, antes da implantação das culturas,

contribuiu para o seu aumento, o que é corroborado pela diminuição do teor de  $Al^{3+}$  e aumento dos teores de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  no horizonte A dos solos cultivados.

### 3.1.1 Análise estatística multivariada aplicada às propriedades químicas

A figura 1 mostra o dendrograma formado a partir da matriz de variáveis, mediante a técnica da análise de cluster. Observa-se na figura 01 que grupos semelhantes foram formados nos dois horizontes. Pela disposição no gráfico, indivíduos pouco distanciados são menos dissimilares do que os amplamente distanciados.

Nos dois horizontes foram formados quatro grupos. No horizonte A o grupo I é representado pelas variáveis Ca+Mg, sb, V, P e pH em água e em KCl. O K forma o grupo II, o grupo III é formado por Na, Al e m, e o grupo quatro por H, T e CO. No horizonte AB o grupo I é representado pelas variáveis Ca+Mg, sb, V, P e K. O pH em água e em KCl formam o grupo II, os grupos III e IV são semelhantes aos grupos III e IV formados no horizonte A, respectivamente. Observa-se que tanto no horizonte A, quanto no AB as variáveis Ca+Mg e sb apresentam maior semelhança, por possuírem a menor distância euclidiana. Os grupos formados apresentam homogeneidade dentro de cada grupo. Isto é, as variáveis estão agrupadas por uma característica comum.



**Figura 1.** Dendrograma da análise de *cluster* dos horizontes A e AB. CO – carbono orgânico; T – CTC; m – saturação por alumínio; V – saturação por bases; sb – soma de bases (Valor S).

Na tabela 3 estão os autovalores e a variância explicada por cada fator. O critério adotado para a escolha do número de fatores foi selecionar aqueles

componentes que conseguiram sintetizar uma variância acumulada em torno de 80%. Observa-se que o primeiro fator do horizonte A explica 68,82% e o segundo 17,95%. Os dois fatores iniciais acumulam 86,77% da variância total dos dados. No horizonte AB o primeiro fator explica 47,03%, o segundo e o terceiro explicam 21,98 e 14,55%, respectivamente, portanto, 83,56% da variabilidade dos dados é explicada por três fatores principais.

**Tabela 3.** Autovalores e a variância explicada por cada fator para os horizontes A e AB.

Fatores	Horizonte A		Horizonte AB	
	Eigenvalue	% Total	Eigenvalue	% Total
1	<b>8,95</b>	<b>68,82</b>	<b>6,11</b>	<b>47,03</b>
2	<b>2,33</b>	<b>17,95</b>	<b>2,86</b>	<b>21,98</b>
3	0,60	4,61	<b>1,89</b>	<b>14,55</b>
4	0,53	4,09	0,77	5,95
5	0,28	2,13	0,50	3,88
6	0,12	0,89	0,38	2,90
7	0,09	0,67	0,24	1,87
8	0,06	0,43	0,16	1,24
9	0,04	0,28	0,07	0,57
10	0,02	0,14	0,00	0,03
11	-	-	0,00	0,01

Mais de 80% da variabilidade dos dados é explicada pelos dois primeiros fatores no horizonte A e dos três primeiros no horizonte AB, o que, de acordo com Cruz e Regazzi (1994), é satisfatório para avaliação por meio da dispersão gráfica em relação à primeira e segunda variáveis. Isso mostra que, de 13 variáveis com 20 resultados de análises de solo, passa-se a utilizar dois e três fatores, para os horizontes A e AB, respectivamente, com 20 observações que representam o conjunto original, havendo, dessa forma, uma redução de dimensionalidade das variáveis originais com perda de explicação de 13,24 % para o horizonte A e 16,44 % para o horizonte AB.

As cargas fatoriais que definem quais variáveis são mais importantes para cada fator dos horizontes A e AB separadamente, encontram-se na tabela 4. As variáveis que formam o fator 1 do horizonte A são: Ca+Mg, Al, valor V, m, pH KCl, pH H<sub>2</sub>O e Sb, e o fator 2 são: H, valor T e CO. Observa-se que as variáveis que obtiveram maior peso no modelo para o fator 1 foram Ca+Mg e Sb que ficaram na ordem de 0,90 e 0,89, respectivamente. Observa-se na tabela 4 que para o horizonte AB foram necessários três fatores para explicar

mais de 80 % da variabilidade dos dados. As variáveis que apresentaram maiores cargas fatoriais no fator 1 foram Ca+Mg, Al, valor V, m e Sb; no fator 2 foram H e valor T; e o pH em KCl e em H<sub>2</sub>O foram as do fator 3. As variáveis que apresentaram maiores cargas no horizonte AB (fator 1) foram Ca+Mg também, e m, com cargas fatoriais na ordem de 0,95.

Os resultados indicam que as variáveis Ca+Mg, Al, valor V, m, pH KCl, pH H<sub>2</sub>O, Sb, H, valor T e CO, que possuem cargas fatoriais elevadas em valores absolutos, e explicam maior porcentagem de variação, são as que mais contribuem para alterar as características do solo em função do manejo. As variáveis de menor importância, por apresentarem cargas fatoriais abaixo de 0,7, ou seja, aquelas que retêm pequena parte da variação total, tanto para o horizonte A quanto para o AB foram o K, Na e P. Isso mostra que as variáveis mencionadas pouco contribuem para discriminar o uso do solo.

**Tabela 4.** Cargas fatoriais pelo método dos componentes principais para composição dos fatores, após rotação *Varimax*, para o horizonte A e AB.

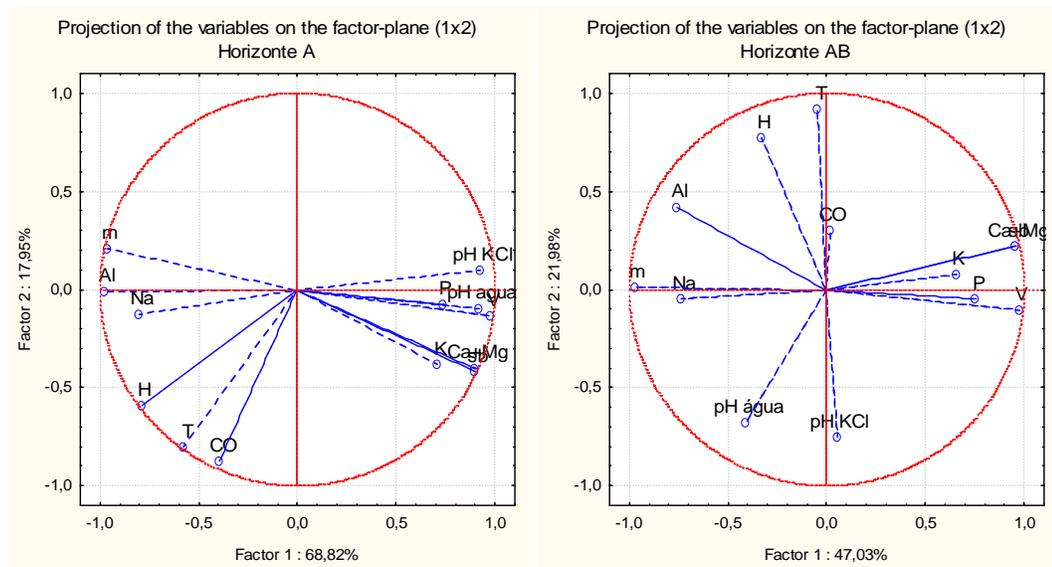
VARIÁVEIS	Horizonte A		Horizonte AB		
	Fator 1	Fator 2	Fator 1	Fator 2	Fator 3
Ca+Mg	0,90	0,01	0,95	0,07	0,15
K	0,62	-0,01	0,44	-0,08	0,09
Na	-0,49	0,38	-0,56	0,22	-0,28
Al	-0,82	0,40	-0,75	0,20	0,40
H	-0,42	0,85	-0,19	0,95	0,11
Valor T	-0,17	0,96	0,08	0,93	0,29
Valor V	0,88	-0,27	0,94	-0,24	0,02
m	-0,87	0,19	-0,95	0,04	0,03
P	0,50	-0,18	0,55	-0,04	-0,04
pH KCl	0,81	-0,47	0,13	-0,23	-0,94
pH H <sub>2</sub> O	0,88	-0,29	-0,38	-0,18	-0,82
Sb	0,89	0,02	0,94	0,07	0,14
CO	0,02	0,96	0,06	0,33	-0,15
Expl.Var	6,29	3,35	5,15	2,13	1,95
Prp.Totl	0,48	0,26	0,40	0,16	0,15

(CO – carbono orgânico; T – CTC; m – saturação por alumínio; V – saturação por base; sb – soma de bases)

Aplicando-se a ACP, foram obtidas as figuras 2 e 3, as quais representam o primeiro plano principal. A figura 2 com a distribuição da nuvem de variáveis (indicadores) e a figura 3 com a distribuição da nuvem de pontos (tratamentos). Estas figuras estão representando o fator 1, que é formado pelas variáveis Ca+Mg, Al, valor V, m, pH KCl, pH H<sub>2</sub>O e Sb, em relação ao fator 2, que é representado pelas variáveis H, valor T e CO, para o horizonte A. Para o

fator 1 do horizonte AB são as mesmas variáveis com exceção do pH KCl e do pH H<sub>2</sub>O, em relação ao fator 2 que é representado pelas variáveis H e valor T.

Como se pode observar na figura 2, algumas variáveis estão sobrepostas umas às outras, como Ca+Mg e a Sb, tanto no horizonte A quanto no AB. Isso mostra que essas variáveis possuem a mesma representatividade no gráfico, confirmando os resultados da análise de cluster, onde as variáveis Ca+Mg e Sb apresentaram maior semelhança, por possuírem a menor distância euclidiana (Figura 1). Isto demonstra que estas variáveis têm o mesmo grau de importância na avaliação da alteração do solo em função do manejo.

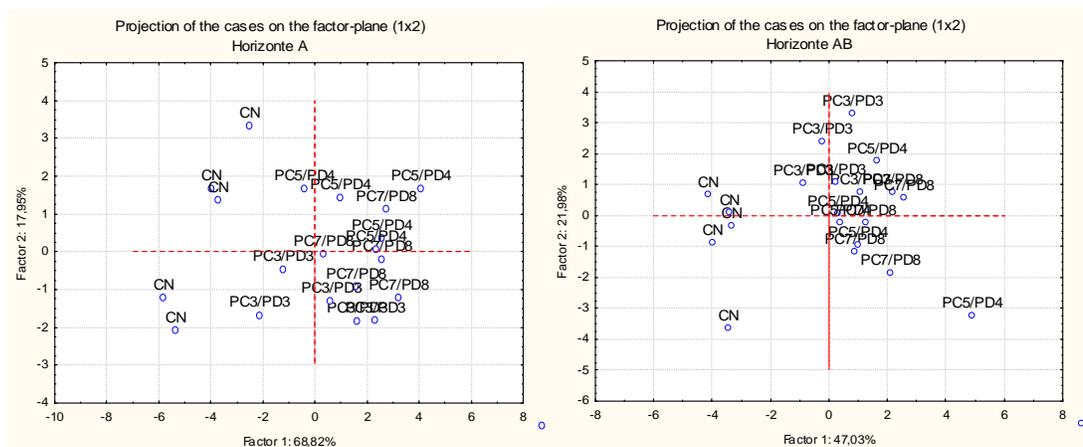


**Figura 2.** Gráfico da distribuição da nuvem de variáveis dos horizontes A e AB. CO – carbono orgânico; T – CTC; m – saturação por alumínio; V – saturação por base; sb – soma de bases.

As variáveis Ca+Mg, Sb, alor V, m, Al, valor T e H estão bem próximas ao círculo unitário do horizontve A, e as variáveis Ca+Mg, Sb, Valor V e m ao círculo unitário do horizonte AB. Elas possuem uma maior contribuição na alteração do solo para cada horizonte respectivamente, em relação às variáveis que estão mais afastadas. Nota-se que as variáveis P, K e Na têm baixas cargas fatoriais e estão afastadas dos círculos unitários nos dois horizontes, indicando que elas representam baixa influência na alteração do solo em função do manejo.

Na Figura 3, pode-se verificar que os tratamentos estão distribuídos de acordo com a influência das variáveis em suas características. Analisando-se as figuras 2 e 3, simultaneamente, pode-se concluir que as variáveis significativas Al, m, H e valor T representam o tratamento CN, que o diferencia dos tratamentos com solo cultivado sob PD.

Os maiores teores de Al, m, H e valor T apresentados pelos solos do CN, em relação aos solos cultivados sob PD (Tabelas 1 e 2), nos dois horizontes A e AB, foram demonstrados por meio da nítida tendência de agrupamento dos pontos que representam o tratamento CN à esquerda do gráfico (negativo), separando-o dos pontos que representam os solos cultivados sob PD, que estão distribuídos no centro e à direita (positivo) (Figura 3).



**Figura 3.** Gráfico da distribuição da nuvem de pontos dos horizontes A e AB. CN - Cerrado nativo, PD8 - plantio direto há 8 anos (PC7/PD8), PD4 - plantio direto há 4 anos (PC5/PD4) e PD3 - plantio direto há 3 anos (PC3/PD3)

Observa-se também que o tratamento PC5/PD4 está mais aglomerado no terceiro quadrante. No segundo quadrante há uma predominância do tratamento PC3/PD3 e o tratamento PC7/PD8 está entre os outros dois. No horizonte AB percebe-se que o cultivo do solo tem menor influência sobre a variância das variáveis, já que os ambientes não apresentaram uma separação nítida (Figura 3), concordando com Albuquerque et al. (2005).

Independente do tempo de implantação e do horizonte (A e AB), os solos manejados com o PD apresentaram comportamento similar, quando

considerado o conjunto das variáveis em estudo, por não estarem separados no gráfico, fato também determinado nos atributos avaliados pelo teste de médias. No entanto, com relação à área de Cerrado, o uso do solo provocou alteração em vários atributos estudados, e nesse sentido, foram alterações positivas, pois elevaram os valores de Ca+Mg, Sb e valor V e diminuíram os valores de Al, m e H, que quando em valores elevados no solo, representam atributos negativos, sendo necessária a correção. Por meio destas técnicas foi possível identificar quais as variáveis que melhor se relacionaram com cada tipo de tratamento e quais as que provocaram maior efeito na alteração das características do solo.

### **3.2 Efeitos do PD na atividade biológica e nitrogênio total**

Os resultados da C-CO<sub>2</sub>, C<sub>mic</sub>, qCO, q<sub>Mic</sub> e do nitrogênio total (NT) dos Latossolos analisados podem ser observados na tabela 5. Interações significativas entre os tratamentos foram observadas apenas na camada superficial, onde são mais intensos os processos de transformação da matéria orgânica pelos microrganismos do solo.

Na camada de 0-5 cm, os maiores valores encontrados para a C-CO<sub>2</sub>, foram nos tratamentos PC5/PD4 e PC3/PD3 (Tabela 5), não diferindo entre si, indicando uma maior atividade da biomassa microbiana nestes solos. Segundo Tu et al. (2006) alta atividade microbiana pode significar rápida transformação de resíduos orgânicos em nutrientes para as plantas ou pode ser indicativo de estresse sobre a biomassa microbiana pela perturbação do solo, principalmente pelo trânsito de máquinas e implementos agrícolas durante as atividades de colheita e preparo do solo. Segundo Maluche-Baretta et al. (2007) as oscilações das características microbianas aumentam com o aumento da perturbação aplicada a uma área. Distúrbios no solo podem provocar desvios da energia do crescimento e reprodução dos microrganismos para a manutenção celular, de forma que uma parte do C<sub>mic</sub> é perdida na forma de CO<sub>2</sub> (Matias et al., 2009). Por outro lado, a baixa respiração do solo no CN e PC7/PD8, pode indicar estabilidade. Segundo Souza et al. (2010) a quantidade e qualidade dos resíduos vegetais depositados sobre o solo podem alterar consideravelmente a atividade dos microrganismos do solo.

Na camada de 5-10 cm não houve diferença significativa entre os tratamentos, no entanto, os valores da C-CO<sub>2</sub> decresceram, diferindo estatisticamente da camada de 0-5 cm. Nas camadas superficiais do solo a atividade microbiana tende a ser maior devido à maior quantidade de matéria orgânica decomposta pela biota do solo (Barbosa et al., 2009), sendo nos primeiros 10 cm do solo onde ocorre a maior produção de CO<sub>2</sub> (Sampaio et al., 2008).

**Tabela 5.** Respiração basal do solo (C-CO<sub>2</sub>), carbono da biomassa microbiana (Cmic), quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>), quociente microbiano (Cmic CO<sup>-1</sup>) e nitrogênio total (NT) de Latossolos Amarelos cultivado sob plantio direto e de uma área de Cerrado nativo

Tratamento	C-CO <sub>2</sub> mg kg <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>	Cmic mg kg <sup>-1</sup>	qCO <sub>2</sub> mg CO <sub>2</sub> mg <sup>-1</sup> Cmic dia <sup>-1</sup>	qMic %	NT g kg <sup>-1</sup>
<b>Profundidade 0 – 5 cm</b>					
<b>CN</b>	1,95 B a	316,04 A a	0,17 B a	1,67 A a	1,99 A a
<b>PC7/PD8</b>	2,28 B a	159,65 B a	0,37 AB a	0,89 A a	0,94 B a
<b>PC5/PD4</b>	3,75 A a	126,69 B a	0,84 A a	1,14 A a	0,97 B a
<b>PC3/PD3</b>	3,69 A a	149,42 B a	0,61 AB a	0,79 A a	0,98 B a
<b>Profundidade 5 – 10 cm</b>					
<b>CN</b>	1,04 A b	193,77 A b	0,13 A a	1,02 A a	1,12 A a
<b>PC7/PD8</b>	1,25 A b	154,71 A a	0,20 A a	0,86 A a	1,01 A a
<b>PC5/PD4</b>	1,06 A b	127,21 A a	0,45 A a	1,14 A a	0,88 A a
<b>PC3/PD3</b>	1,21 A b	182,53 A a	0,17 A a	0,96 A a	0,87 A a
<b>CV (%)</b>	15,34	44,77	58,05	54,57	25,68

CN - Cerrado nativo, PC3/PD3 - plantio direto há 3 anos, PC5/PD4 - plantio direto há 4 anos e PC7/PD8 - plantio direto há 8 anos. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %. Letras maiúsculas comparam os tratamentos em cada profundidade e letras minúsculas comparam os horizontes dentro do mesmo tratamento.

Estudos sobre manejo do solo devem buscar sistemas que promovam menores qCO<sub>2</sub>, pois, nesses sistemas, a biomassa microbiana está em equilíbrio, com menores perdas de CO<sub>2</sub> pela respiração, e, com isso, maior é a incorporação de C à biomassa microbiana (Gama-Rodrigues; Gama-Rodrigues, 2008). De acordo com Tótola e Chaer (2002), um baixo qCO<sub>2</sub> indica economia na utilização de energia e, supostamente, reflete um ambiente mais estável ou

próximo do seu estado de equilíbrio. Ao contrário, valores elevados são indicativos de ecossistemas submetidos a alguma condição de estresse ou de distúrbio. O CN foi o que apresentou menor  $qCO_2$ , diferindo dele apenas o tratamento PC5/PD4. Este último tratamento apresentou maior  $qCO_2$  demonstrando a perda de C do solo, comprovada pela menor concentração de C retido na  $C_{mic}$  e no CO (Tabela 2), ainda que a diferença entre os tratamentos com solo cultivado não tenha sido significativa quanto a estes parâmetros. Resultados de maior atividade microbiana em ambientes de ação antrópica, em relação à vegetação nativa, têm sido relatados na literatura (Xavier et al., 2006; Araújo et al., 2007; Carneiro et al., 2008)

Na profundidade de 0-5 cm, o tratamento CN apresentou um teor elevado de  $C_{mic}$  (316,04 mg kg<sup>-1</sup> de solo), significativamente maior do que os valores obtidos para os demais tratamentos. Resultados semelhantes foram obtidos por D'Andréa et al. (2002), Rosa et al. (2003) e Carneiro et al. (2009) em estudo de Latossolos sob diferentes manejos em comparação com o Cerrado. Segundo D'Andréa et al. (2002) e Santos et al. (2004), valor de biomassa microbiana mais elevado no Cerrado nativo é reflexo de uma situação bastante particular para a microbiota do solo neste sistema, que é estimulada pelo fornecimento contínuo de materiais orgânicos com diferentes graus de susceptibilidade à decomposição, originados da vegetação. Além disto, existe maior diversidade de compostos orgânicos depositados na rizosfera, o que constitui fator favorável à sobrevivência e crescimento dos diferentes grupos de microrganismos do solo. Neste sentido, a abundância de microrganismos decompositores pode contribuir para estimular também a microfauna saprófita e predadora destes, que é constituída por protozoários, nematóides e microartrópodos. Assim, as condições distintas do solo sob CN, juntamente com a ausência de perturbações decorrentes de atividade antrópica, tornam possível a existência de maiores teores de biomassa microbiana, indicando o maior equilíbrio da microbiota do solo neste ecossistema. O CN foi o único que diferiu em profundidade.

Os estoques de  $C_{mic}$  dos solos cultivados com PD sofreram reduções de 60 a 50%, na camada de 0–5 cm, em relação ao CN. Tais reduções foram superiores àquelas observadas pelos estoques de CO. Neste sentido, confirma-se o  $C_{mic}$  como uma medida mais sensível às perdas de matéria

orgânica relacionadas com o manejo, concordando com Matsuoka et al. (2003), Xavier et al. (2006) e Cardoso et al. (2009).

Flutuações sazonais do Cmic ocorrem em razão de mudanças de temperatura, umidade, aeração e quantidade de substrato (Cattelan; Vidor, 1990). Vários estudos têm demonstrado o efeito benéfico do sistema PD sobre atributos biológicos do solo o que segundo Salton e Mielniczuk (1995) decorre do fato deste apresentar temperaturas mais amenas durante o verão e manter maior umidade, na medida em que o solo não é revolvido e os resíduos das culturas de inverno são mantidos na sua superfície.

A relação  $q_{Mic}$  não apresentou efeito significativo entre os tratamentos, nem entre as profundidades. A contribuição do Cmic para o CO do solo variou, na camada de 0-5 cm, de 1,62 no CN e de 0,79 a 1,14 % nos solos com PD. O maior valor, referente ao CN, destacou-se daqueles calculados para todos os demais tratamentos, ainda que as diferenças não tenham sido significativas. Essa relação reflete quanto do C orgânico está imobilizado na biomassa microbiana e mostra o potencial de reserva desse elemento no solo (Anderson; Domsch, 1993). Nesse sentido, estatisticamente, as áreas apresentaram valores que indicam reserva de energia e nutriente imobilizado na biomassa microbiana, similares. Os maiores valores de  $q_{Mic}$  indicam a maior conversão do CO em Cmic. Quando a biomassa microbiana está sob algum fator de estresse, a capacidade de utilização do C é diminuída, reduzindo assim, a relação  $q_{Mic}$  (Anderson; Domsch, 1993). Segundo Gama-Rodrigues e Gama-Rodrigues (2008), solos com matéria orgânica de baixa qualidade nutricional, a biomassa microbiana encontra-se sob estresse e é incapaz de utilizar totalmente o CO e, nesse caso, o  $q_{MIC}$  tende a diminuir.

Os teores de NT na camada 0-5 cm variaram de 1,99 g kg<sup>-1</sup> no CN e de 0,94 a 0,98 g kg<sup>-1</sup> nos solos cultivados sob PD. Na camada de 5-10 cm, os valores variaram de 1,12 g kg<sup>-1</sup> no CN e de 1,01 a 0,87 g kg<sup>-1</sup> de solo nos outros tratamentos. Semelhante ao Cmic, as diferenças significativas entre os tratamentos restringiram-se à camada superficial (0-5 cm), não diferindo também entre as profundidades. Os maiores teores de NT foram encontrados no sistema mantido sob CN. A redução dos teores de NT nos tratamentos com os solos manejados variaram de 51 a 53% quando comparados com o CN.

Resultados semelhantes também foram encontrados por Santos et al. (2004) e Matias et al. (2009), que estudaram o efeito do manejo do solo nas propriedades biológicas em comparação com solo sem ação antrópica. Segundo Matias et al. (2009), a ausência de queimadas, contribui para evitar as perdas de N por volatilização no Cerrado nativo.

### **3.3 Efeitos do PD na dinâmica da matéria orgânica do solo**

#### **3.3.1 Fracionamento físico da matéria orgânica**

O fracionamento granulométrico da matéria orgânica mostrou-se eficiente para evidenciar as diferenças entre os tratamentos avaliados no horizonte superficial (Tabela 6), pois no horizonte AB não houve efeito significativo. Este é um efeito previsto, pois, na superfície os fluxos de matéria e energia são mais intensos, devido à maior deposição dos resíduos, maior atividade da biota do solo e do sistema radicular, bem como maior influência dos fatores ambientais, de forma que a ação dos sistemas de manejo é mais pronunciada (Mielniczuk et al., 2003; Conceição et al., 2005).

Os valores do COP diferiram estatisticamente entre o CN e os tratamentos com maior tempo de implantação do PD, com valores variando de 3,16 g kg<sup>-1</sup> no CN e de 2,18 e 2,20 g kg<sup>-1</sup> nos tratamentos PC7/PD8 e PC5/PD4, respectivamente, indicando que a condução do PD nestas áreas não elevou o COP ao nível do encontrado no CN. Além da deposição natural e constante de matéria orgânica no CN, as condições mais ácidas do solo e baixos teores de nutrientes conferem a este tratamento uma menor taxa de mineralização e transformação de frações mais grosseiras da matéria orgânica para frações mais ativas. O COP é uma fração lábil e apresenta maior taxa de reciclagem dos constituintes orgânicos, as alterações em seus estoques promovidas pelo manejo do solo são percebidas geralmente em curto prazo (Bayer et al., 2002).

**Tabela 6.** Concentração carbono orgânico particulado (COP), carbono orgânico associado aos minerais (COM) e fração leve e livre da matéria orgânica (FLL) de Latossolos Amarelos cultivados sob plantio direto e em uma área de Cerrado nativo.

Tratamento	COP	COM	FLL
	-----g kg <sup>-1</sup> -----		
<b>Horizonte A</b>			
<b>CN</b>	3,16 A a	15,81 AB a	17,30 A a
<b>PC7/PD8</b>	2,18 B a	15,75 B a	10,47 AB a
<b>PC5/PD4</b>	2,20 B a	11,16 B a	8,49 B a
<b>PC3/PD3</b>	2,46 AB a	18,99 A a	11,71 AB a
<b>Horizonte AB</b>			
<b>CN</b>	0,61 A b	9,24 A b	5,88 A b
<b>PC7/PD8</b>	1,22 A b	7,47 A b	2,92 A b
<b>PC5/PD4</b>	1,31 A b	8,18 A a	2,92 A b
<b>PC3/PD3</b>	0,87 A b	9,03 A b	2,42 A b
<b>CV (%)</b>	22,55	19,03	42,49

CN- Cerrado nativo, PC3/PD3- plantio direto há 3 anos, PC5/PD4- plantio direto há 4 anos e PC7/PD8- plantio direto há 8 anos. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %. Letras maiúsculas comparam os tratamentos em cada horizonte e letras minúsculas comparam os horizontes dentro do mesmo tratamento.

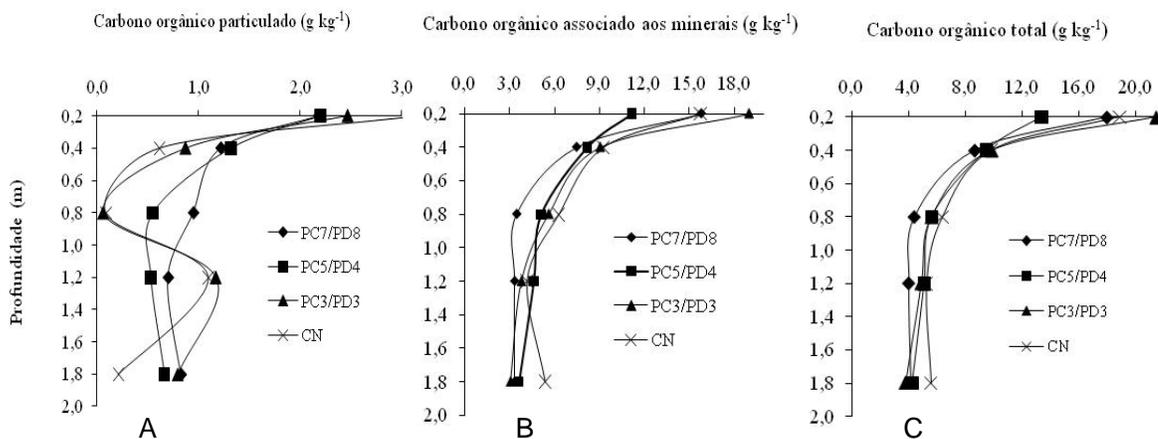
Os maiores valores de COP foram encontrados na camada de 0-5 cm de profundidade, e apresentaram o mesmo padrão para todos os tratamentos, diminuindo em profundidade, similar ao comportamento do CO (Tabela 2). Entretanto, comparando os três parâmetros (COP, COM e FLL), observa-se que o COP foi o que apresentou o menor teor. Segundo Roscoe (2002), devido à reduzida superfície específica e densidade de carga superficial das areias, esta fração apresenta pouco ou nenhum material orgânico fortemente ligado, sendo pobre em complexos organominerais, tornando-se mais vulnerável a decomposição pelos microrganismos. O COP representou de 11 a 17% do CO, valores considerados baixos em comparação aos verificados em solos de outras regiões (em torno de 50%) (Cambardella; Elliot, 1992), mas, refletem as condições de temperatura e umidade altamente favoráveis à atividade

microbiana nas condições de clima tropical quente e semi-úmido do presente estudo.

Conceição et al. (2005) e Nicoloso (2005) avaliando a qualidade do solo sob diferentes sistemas de manejo constataram que a fração COP apresentou as maiores variações nos teores de C em função do manejo adotado, quando comparado ao CO. Dessa forma, a fração COP do solo pode ser usada como um bom indicador da qualidade do solo para avaliação de sistemas de manejo recentes, nos quais as alterações no CO do solo ainda não tenham sido de grande magnitude (Loss et al., 2009)

Os valores do COM dos quatro tratamentos variaram de 83 a 89% do CO. Segundo Nicoloso (2005), mais de 80% do CO do solo é composto pela fração COM. Vários trabalhos têm demonstrado que a maior proporção da matéria orgânica do solo está associada às frações mais finas do solo (Freixo et al., 2002; Mando, et al., 2005; Salto et al., 2005) e que a formação de complexos argilo-orgânicos auxilia na preservação da matéria orgânica do solo.

Os valores do COM dos tratamentos com PD não apresentaram efeito significativo em relação ao CN, entretanto diferiram entre si, no horizonte A, pois o tratamento PC3/PD3 apresentou o teor de COM estatisticamente mais elevado que os demais tratamentos com PD (Tabela 6). O solo deste tratamento está em uma área com menos tempo de uso, em relação às demais, e é possível que o tempo de cultivo a que foi submetida, não tenha sido suficiente para oxidar o CO dos compostos das frações mais recalcitrantes, remanescentes do Cerrado nativo. Além do mais, ainda tem o aporte de matéria orgânica durante os três anos de PD. O COM normalmente é menos sensível às alterações de manejo, principalmente em curto prazo, sendo considerada a fração estável da matéria orgânica do solo, composta principalmente, por substâncias húmicas, que exercem papel significativo na estabilização dos microagregados (Cambardella; Elliott, 1992). Segundo Salton et al. (2005), esta fração é considerada como o estoque de C de médio e longo prazo. Na figura 4 pode-se observar o decréscimo de C em profundidade para os três parâmetros analisados, assim como, o comportamento do CO, COP e COM entre os quatro tratamentos.



**Figura 4.** A) carbono orgânico particulado (COP), B) carbono orgânico associado aos minerais (COM) e C) Teores de carbono orgânico total (COT) de Latossolos Amarelos cultivados sob plantio direto e de uma área de Cerrado nativo. CN- Cerrado nativo, PC3/PD3- plantio direto há 3 anos, PC5/PD4- plantio direto há 4 anos e PC7/PD8- plantio direto há 8 anos

A fração leve da matéria orgânica (FLL) é um importante componente do C orgânico do solo e atua na manutenção da atividade microbiana e na ciclagem de nutrientes, sendo severamente alterada pelo manejo e uso do solo (Carneiro et al., 2009). Como para a maioria dos parâmetros relativos à matéria orgânica desta pesquisa, a FLL também só apresentou efeito significativo no horizonte A, diferindo estatisticamente do horizonte AB. Novamente, o tratamento PC5/PD4 foi o que apresentou o menor teor da FLL, com diferença significativa em relação ao CN, seguindo a mesma tendência do CO (Tabela 2). Essa maior concentração de FLL de matéria orgânica na área sob o CN deve-se à constante entrada de C via serapilheira e rizodeposição (Souza et al., 2006), além da preservação da estrutura do solo, devido a ausência de ação antrópica, que contribui, via agregação, para a proteção e manutenção do C no solo.

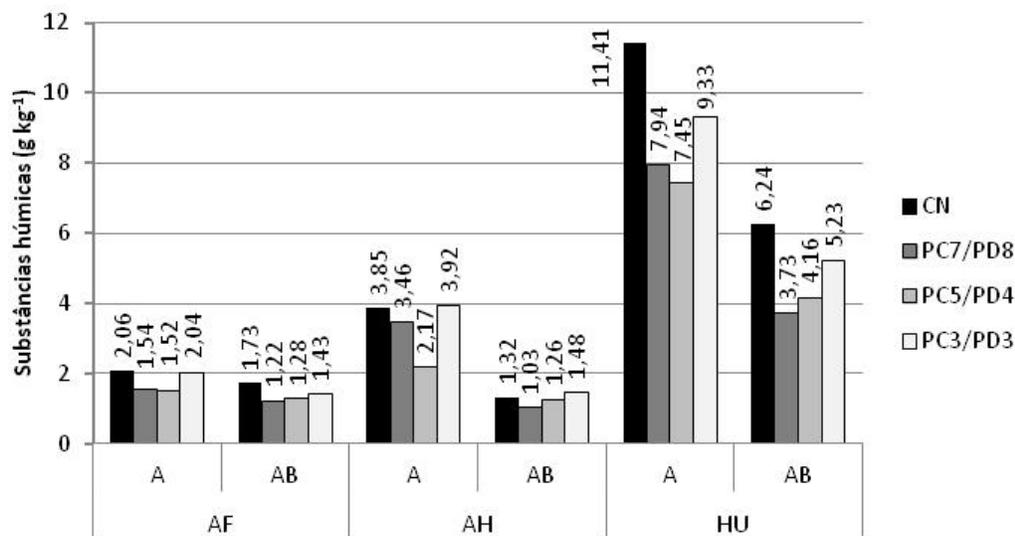
Verifica-se, pelos resultados, que os outros tratamentos sob PD (PC7/PD8 e PC3/PD3) conseguiram adicionar quantidades de resíduos suficientes para manter os teores da FLL ao nível do CN. Entretanto, não houve efeito significativo entre os solos cultivados sob PD. Carneiro et al. (2009) analisando o efeito do uso do solo no C da fração livre, também obtiveram diferença significativa entre os solos cultivados em relação ao Cerrado e não encontrou diferença significativa entre os solos manejados.

### 3.3.2 Fracionamento químico da matéria orgânica

Os estatísticos indicaram que não houve interação significativa nos resultados das substâncias húmicas dos solos analisados, no entanto, observa-se um maior teor destas substâncias no CN (Figura 5). Segundo Lima et al. (2008), o solo sob condições naturais, por ser um ambiente em que não há perturbações oriundas de práticas de manejo, tais como preparo para plantio e colheita, e onde o processo erosivo é minimizado, tem condições de manter maior estoque de C nessas frações. Entretanto, em sistemas PD a não incorporação dos resíduos culturais promove um intenso processo biológico nas camadas superficiais do solo, de forma que há uma constante quantidade de C facilmente decomponível, influenciando diretamente na dinâmica do sistema. Com a atividade microbiana mais equilibrada, os processos de síntese das substâncias húmicas são favorecidos, aumentando seus teores (Rheinheimer; Kaminski, 1998), o que justifica a similaridade destas substâncias entre o CN e os solos sob PD.

Observou-se uma alta taxa de humificação (Figura 6), ou seja, taxa de extração elevada em relação aos teores totais de C (Tabela 2). As condições climáticas da área estudada caracterizam-se por elevado índice pluviométrico, na ordem de 1.000 mm/ano, concentrando-se num curto período. Estas condições climáticas favorecem a elevada decomposição dos resíduos orgânicos, por isto, no campo, foi observado baixo acúmulo destes resíduos nos solos. Segundo Cunha et al. (2001), no período chuvoso a atividade microbiana é mais intensa, tornando rápida a decomposição dos restos vegetais, e no período seco o processo de humificação fica mais lento, devido à baixa atividade biológica nesse período.

Os produtos resultantes da humificação acumularam-se no horizonte A, indicando a existência de uma imobilização nos primeiros centímetros superficiais, embora não tenham apresentado efeito significativo entre horizontes. De modo geral, verificou-se uma diminuição das substâncias húmicas em profundidade, em todos os tratamentos, resultado também constatado por Cunha et al. (2001) para AH e HU.



**Figura 5.** Fracionamento químico da matéria orgânica (ácidos fúlvicos - AF, ácidos húmicos - AH e humina - HU) de Latossolos Amarelos cultivados sob plantio direto e de uma área de Cerrado nativo. CN - Cerrado nativo, PC3/PD3 - plantio direto há 3 anos, PC5/PD4 - plantio direto há 4 anos e PC7/PD8 - plantio direto há 8 anos

Em estudos na região centro-oeste do Brasil, Fontana et al. (2006) constataram o predomínio de humina, tanto nos horizontes superficiais, como nos subsuperficiais de Latossolos, corroborando resultados encontrados nesta pesquisa, e por outros autores como Cordeiro (2006) e Loss (2008). Esta concentração e estabilidade da humina são atribuídas a sua insolubilização que, possivelmente, é favorecida pelos óxidos de ferro presentes (Bayer et al., 2002). A humina resulta da transformação moderada de alguns compostos insolúveis (lignina), que são estabilizados e protegidos contra a biodegradação, já que em região de clima contrastante, os compostos húmicos sofrem uma maturação e uma polimerização que lhes rende resistência aos processos de renovação (Cunha et al., 2001). Além disso, esses compostos mais humificados apresentam maior complexidade bioquímica, a qual, juntamente com a sua associação com as frações (silte e argila) do solo (estabilização coloidal), dificulta sua decomposição por microrganismos e favorece sua estabilização no solo (Six et al., 2002, Fontana et al., 2006).

Segundo Souza e Melo (2003) maiores valores de C na fração humina, na maioria das vezes, implicam numa maior expressão das propriedades da fração coloidal da matéria orgânica, tais como: retenção da umidade e melhor

agregação do solo, características de grande importância quando se trata do cultivo de sistemas sustentáveis de produção. O tratamento CN, que apresentou o maior teor desta fração, também apresentou o maior diâmetro médio geométrico dos agregados, diferindo dos demais tratamentos, confirmando a influência desta fração orgânica do solo na estabilidade dos agregados.

O tratamento PC5/PD4 foi o que apresentou os menores teores de ácido húmico e humina no horizonte A. Segundo Kaemmerer et al. (1996) as frações mais polimerizadas (ácidos húmicos e humina), apesar de atuarem como agente estabilizador da estrutura, possuem, dentre as frações húmicas, o menor volume de cargas elétricas, logo, uma menor capacidade de troca de cátions.

#### **4. CONCLUSÕES**

O manejo imposto ao solo com cultivo convencional e posterior implantação do sistema PD contribuiu para alterar as propriedades químicas do solo em relação ao Cerrado nativo, notadamente no horizonte superficial.

As variáveis Ca+Mg, K, valor S e valor V apresentaram valores significativamente maiores nos solos cultivados sob PD, e as variáveis H, Al e m foram significativamente maiores no Cerrado nativo, evidenciando o efeito positivo do uso do solo nas propriedades químicas e eficiência da condução do sistema PD, em função da prática de adubação e calagem.

As principais diferenças entre os solos cultivados sob sistema plantio direto e o solo do Cerrado nativo foram demonstradas pelas variáveis Ca+Mg, Al, valor V, m, pH KCl, pH H<sub>2</sub>O, Sb, H, valor T e CO, que explicam a maior porcentagem de variação e contribuem para alterar as características do solo em função do manejo.

A substituição do Cerrado nativo por culturas anuais sob o sistema plantio direto reduziu os teores de carbono da biomassa microbiana e de nitrogênio total e elevou a respiração basal nos tratamentos com três e quatro anos de implantação do plantio direto, indicando que esse tempo foi insuficiente para melhoria desses atributos.

Das frações físicas da matéria orgânica, o teor de carbono orgânico particulado do solo do Cerrado nativo diferiu estatisticamente dos sistemas plantio direto com maior tempo de implantação, no horizonte A.

Quanto às frações químicas da matéria orgânica, verificou-se que não houve efeito significativo entre os tratamentos e ocorreu um predomínio do carbono da fração humina, seguido pelo de ácidos húmicos e ácidos fúlvicos nos tratamentos avaliados.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, J. A.; MAFRA, A. L.; FONTOURA, S. M. V.; BAYER, C.; PASSOS, J F. M. dos. Avaliação de sistemas de preparo e calagem em um Latossolo Bruno alumínico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol.29, n.6, p. 963-975, 2005.

ALEF, K. Estimation of soil respiration. In: ALEF, K.; NANNIPIERI, P. (Ed.). *Methods in soil microbiology and biochemistry*. New York: Academic Press, 1995. p. 464-470.

ALEF, K.& NANNIPIERI, P. *Methods in Applied Microbiology and Biochemistry*. London: Academic Press, 1995, 576 p.

ALVAREZ, R.; LAVADO, R.S. Climatic, organic matter and clay content relationship in the Pampa and Chaco soils, Argentina. **Geoderma**, vol. 83, p.127-141,1998.

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

ANGHINONI, I.; SALET, R. Reaplicação de calcário no sistema plantio direto consolidado. In: KAMINSKI, J., coord. *Uso de corretivos DA ACIDEZ DO SOLO NO PLANTIO DIRETO*. Pelotas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p.41-59.

ANGHINONI, I. Fertilidade do solo e seu manejo em sistemas de plantio direto. In: NOVAIS, R. F. Fertilidade do solo. Viçosa, MG. SBCS, 2007, p. 874-919.

ARAÚJO, A. M. A.; CARVALHO, J. E. B.; SOARES, A. C. F. Carbono e Respiração da Biomassa Microbiana do Solo Sob Diferentes Manejos em Pomar de Laranja 'Pêra' nos Tabuleiros Costeiros da Bahia. Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2005.

ARAÚJO, M. A.; TORMENA, C. A.; INOUE, T. T.; COSTA, A. C. S. Efeitos da escarificação na qualidade física de um Latossolo Vermelho distroférico após treze anos de semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol.28, p. 495-504, 2004.

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

BARBOSA, L.A.; RAMOS, M.L.G.; REIS, A.P.; SOUZA, C.E.; FONTIRA, P.R. Atividade microbiana em solos cultivados com cana-de-açúcar, pastagem e mata nativa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. 32. 2009. Fortaleza. Anais. O solo e a produção de bioenergia: perspectivas e desafios, SBCS, 2009. CD-ROM.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PILLON, C.N.; SANGOI, L. Changes in soil organic matter fractions under subtropical no-till cropping systems. **Soil Science Society of America Journal.**, v. 65, p. 1473-1478, 2001.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L.; ERNANI, P.R. Stocks and humification degree of organic matter fractions as affected by no-tillage on a subtropical soil. *Plant and Soil*, v. 238, p. 133-140, 2002.

CALEGARI, A. Espécies para cobertura de solos. In: DAROLT, M. R. Plantio Direto: pequena propriedade sustentável. Londrina: IAPAR, CIRCULAR 102. p. 65-94. 1998.

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

CANELLAS, L.P.; VELLOSO, A.C.X.; MARCIANO, C.R.; RAMALHO, J.F.G.P.; RUMJANEK, V.M.; RESENDE, C.E.; SANTOS, G.A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhicho e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol.27, p. 935-944, 2003.

CARDOSO, E. L.; SILVA, M. L. N.; MOREIRA, F. M. DE S.; NILTON CURI, N. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em pastagem cultivada e nativa no Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n.6, p.631-637, jun. 2009.

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

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

CHRISTENSEN, B. T. Organic matter in soil: structure, function and turnover. Tjele: DIAS,. (DIAS Report. Plant Production, 30). 95 p, 2000.

CHRISTENSEN, B.T. Physical fractionation of soil organic matter in primary particle size and density separates. **Advances in Soil Science**, v. 20, p. 1-9, 1992.

CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; ERNANI, P. R.; ALBUQUERQUE, J. A. Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto. **Ciência Rural**, vol. 33, n. 6, p. 1161- 1164, 2003.

CIOTTA, M.N.; BAYER, C.; ERNANI, P.R.; FONTOURA, S.M.V.; ALBUQUERQUE, J.A.; WOBETO, C. Acidificação de um Latossolo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 1055-1064, 2002.

COLLINS, H.P.; PAUL, E.A.; PAUSTIAN, K.; ELLIOTT, E.T. Characterization of soil organic carbon relative to its stability and turnover. In: Soil organic matter in temperate agroecosystems - long-term experiments in North America. Boca Raton, CRC Press, p.51- 72, 1997.

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

CORDEIRO, C.F. Atributos edáficos em áreas de pastagem plantada em relevo movimentado no Noroeste do estado do Rio de Janeiro. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006. 89f. (Tese de Mestrado).

COSTA, F. DE S.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J. A. FONTOURA, S. M. V. Aumento de matéria orgânica num Latossolo Bruno em plantio direto. **Ciência Rural**, v. 34, n.2, p.587-589, 2004

Cunha, T. J. F.; Macedo, J. R.; Ribeiro, L. P. R.; Palmieri, F.; Freitas, P. L. de; Aguiar, A. de C. Impacto do manejo convencional sobre propriedades físicas e substâncias húmicas de solos sob Cerrado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.1, n.1, p.27-36, 2001

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

DEMATTÊ, J.L.I.; MAZZA, J.A.; DEMATTÊ, J.A.M. Caracterização e gênese de uma topossequência Latossolo Amarelo-podzol originado de material da Formação Barreiras - Estado de Alagoas. **Scientia agrícola**, Piracicaba, v. 53, n. 1. 1996.

FEIGL, B.J.; SPARLING, G.P.; ROSS, D.J. et al. Soil microbial biomass in Amazonian soils: evaluation of methods and estimates of pool sizes. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.27, n.11, p.1467-1472, 1998.

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

FIGUEREDO, C. C; RESCK, D. V. S; GOMES, A. C; FERREIRA, E. A. B; RAMOS, M. L. G. Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana em resposta a diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Vermelho no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n.3, p. 551-562, 2007.

FONTANA, A.; PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; CUNHA, T. J. F.; SALTON, J. C. Atributos de fertilidade e frações húmicas de um Latossolo Vermelho no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.5, p.847-853. 2006.

FRAZÃO, L. A.; PÍCCOLO, M. de C.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C. e CERRI, C. E. P. Propriedades químicas de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado mato-grossense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.5, p.641-648, 2008.

FREIXO, A.A.; MACHADO, P.L.O.A.; GUIMARÃES, C.M.; SILVA, C.A.; FADIGAS, F.S. Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de Latossolo do Cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol.26, p. 425-434, 2002.

GAMA-RODRIGUES, E.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G.A; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas Tropicais & Subtropicais. 2.ed. rev. e atual. Porto Alegre, 2008 p.227-244

HEID, D. M.; VITORINO, A. C. T.; TIRLONI, C.; HOFFMANN, N. T. K. Frações orgânicas e estabilidade dos agregados de um Latossolo Vermelho Distroférico sob diferentes usos. **Revista de ciências agrárias**, n. 51, p.143-160, 2009.

HENROT, J.; ROBERTSON, G.P. Vegetation removal in two soils of the humid tropics: Effect on microbial biomass. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 26, p. 111-116, 1994.

KAEMMERER, M., GUIRESSE, M., BAILLY, J.R., et al. Influência de las substâncias húmicas sobre las características bio-físico-química de los suelos. Consecuencia sobre La nutrición mineral de las plantas. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 1; SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 4; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 6; REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 11, 1996, Águas de Lindóia, SP. **Solo-Suelo 96...** Piracicaba : USP-ESALQ / Sociedade Brasileira de Ciência do Solo / Sociedade Latinoamericana de Ciência do Solo, 1996. CD-ROM.

LIMA, A. M. N. et. al. Frações da matéria orgânica do solo após três décadas de cultivo de eucalipto no Vale do Rio Doce-MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1053-1063, 2008.

LOSS, A. Frações Orgânicas e Agregação do Solo em Diferentes Sistemas de Produção Orgânico. 2008. 52 f. Dissertação (Mestrado em ciência do solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2008.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L. H. C. DOS; SILVA, E. M. R. da. Carbono e frações granulométricas da matéria orgânica do solo sob sistemas de produção Orgânica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.4, p.1077-1082, jul, 2009

MALUCHE-BARETTA, C.R.D.; KLAUBERG-FILHO, O.; AMARANTE, C.V.T.; RIBEIRO, G.M.; ALMEIDA, D. Atributos microbianos e químicos do solo em sistemas de produção convencional e orgânico de maçãs no estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol.31, p. 655-665, 2007.

FREIXO, A.A.; MACHADO, P.L.O.A.; GUIMARÃES, C.M.; SILVA, C.A.; FADIGAS, F.S. Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de Latossolo do Cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 26, p. 425-434, 2002.

MANDO, A.; QUATTARA, B.; SÉDOGO, M.; STROOSNIJDER, L.; QUATARA, K.; BRUSSAARD, L.; VANLAUWE, B. Long-term effect of tillage and manure application on soil organic fractions and crop performance under Sudano-Saharan conditions. *Soil Till. Res.*, 80:95–101, 2005.

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

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

MENDONÇA, S. M. de; MATOS, E. S. da. Matéria Orgânica do Solo: métodos de análises. Viçosa: UFV, 2005, 77p.

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

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F.; LOVATO, T.; FERNANDES, F.F.; DEBARBA, L. Manejo de solo e culturas e sua relação com estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M.; LOPES, A.S.S.; ALVAREZ V., V.H., eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v.3. p.209-248.

NICOLOSO, R. S. Dinâmica da matéria orgânica do solo em áreas de integração lavoura-pecuária sob sistema plantio direto. 2005, 149 f. Dissertação (Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

OADES, J.M.; GILLMAN, G.P.; UEHARA, G.; HUE, N.V.; van NOORDWIJK, M.; ROBERTSON, G.P.; WADA, K. Interactions of soil organic matter and variable charge clays. In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M.; UEHARA, G., eds.

Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems. Honolulu, University of Hawaii Press. p.69-95, 1989.

PEREIRA, A. A. et al. Variações qualitativas e quantitativas na microbiota do solo e na fixação biológica do nitrogênio sob diferentes manejos com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n.6, p. 1397-1412, 2007.

RHEINHEIMER, D.S.; KAMINSKI, J.; LUPATINI, G.C.; SANTOS, E.J.S. Modificações em atributos químicos de solo arenoso sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 713-721, 1998.

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

ROSCOE, R.; OLIVEIRA, P. L. de A. M. Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. 86p.

ROSSI, C.Q. Dinâmica da matéria orgânica do solo em área de soja cultivada sobre palhada de braquiária e sorgo. 2009. 82 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2009.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; FABRICIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L.; BOENI, M.; CONEIJÃO, P. C. Matéria orgânica do solo na integração lavoura-pecuária em Mato Grosso do Sul. Dourados: Embrapa Agropec. Oeste, 2005. 58 p.

SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um Podzólico Vermelho-Escuro de Eldorado do Sul (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 19, p. 313-319, 1995.

SAMPAIO, D.B.; ARAÚJO, A.S.F.; SANTOS, V.B. Avaliação dos indicadores biológicos de qualidade do solo sob sistemas de cultivo convencional e orgânico de frutas. **Ciência agrotecnica**, v. 32, p. 353-359, 2008.

SANTOS, V. B. dos; CASTILHOS, D. D.; CASTILHOS, R. M.V.; PAULETTO, E. A.; GOMES, A. da S.; SILVA, D. G. da. Biomassa, atividade microbiana e teores de carbono e nitrogênio totais de um Planossolo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista brasileira Agrociência**, v. 10, n. 3, p. 333-338, 2004.

SAS INSTITUTE INC. SAS/STAT User's Guide. v. 9.0. Vols. I, II and III. Cary NC: SAS Institute, Inc., 2003.

SAVIOZZI, A.; BUFALINO, P.; LEVI-MINZI, R.; RIFFALD, R. Biochemical activities in a degraded soil restored by two amendments: a laboratory study. **Biology and Fertility of Soils**, v. 35, n. 2, p. 96-101, 2002.

SECCO, D.; DA ROS, C. O.; SECCO, J. K.; FIORIN, J. E. Atributos físicos e produtividade de culturas em um Latossolo Vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 29, n.3 p. 407-414, 2005.

SILVA, A.J.N; RIBEIRO, M.R. Caracterização de um Latossolo Amarelo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar no Estado de Alagoas: propriedades químicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 291-299, 1998.

SILVA, E. E; AZEVEDO, P. H. S; DE-POLLI, H. Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo ( $qCO_2$ ). Embrapa, Comunicado técnico 99, agosto de 2007.

SILVA, V.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 24, p. 191-199, 2000.

SIX, J.; ELLIOT, E.T.; PAUSTIAN, K.; DORAN, J.W. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. **Soil Science Society of America Journal.**, 62:1367-1377, 1998.

SIX, J.; CONANT, R.T.; PAUL, E.A.; PAUSTIAN, K. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. **Plant and Soil**, 241:155– 176, 2002.

SOUZA, E.D.; CARNEIRO, M.A.C.; PAULINO, H.B.; SILVA, C.A.; BUZETTI, S. Alterações nas frações do C em um Neossolo Quartzarênico submetido a

diferentes sistemas de uso do solo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, 28:323-329, 2006.

SOUZA, W.J.O.; MELO, W.J. Matéria orgânica de um Latossolo submetido a diferentes sistemas de produção de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 1113-1122, 2003.

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

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

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

TÓTOLA, M.R.; CHAER, G.M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. In: ALVAREZ V, V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V.; COSTA, L.M., eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2002. v.2. p.196-276.

TU, C.; RISTAINO, J. B.; HU, S. Soil microbial biomass and activity in organic tomato farming systems: Effects of organic inputs and straw mulching. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 38, n. 2, p. 247-255, 2006.

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

XAVIER, F.A.S.; MAIA, S.M.F.; OLIVEIRA, T.S.; MENDONÇA, E.S. Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas orgânico e convencional na Chapada da Ibiapaba. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.247-258, 2006.

YEOMANS, J.C.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 19:1467-1476, 1988. SOHI, S.; MAHIEU, N.; GAUNT, J. <sup>13</sup>C NMR to verify modelable soil organic matter fractions defined by physical location (compact disc). In: *WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE*, 16., 1998, Montpellier. **Proceedings...** Montpellier: [s.n.], 1998.

## CONCLUSÕES GERAIS

A eficiência do PD em recuperar e/ou manter a qualidade dos solos é distinta entre solos, e provavelmente esteja relacionada às condições climáticas, ao aporte e manutenção da matéria orgânica no solo e ao grau de degradação em que o solo se encontra na adoção deste sistema. Maiores informações sobre a relação edafoclimática podem ajudar no entendimento dos processos envolvidos na recuperação do solo e/ou manutenção da sua qualidade.

Portanto, as condições edafoclimáticas da Serra do Quilombo em Bom Jesus-PI favorecem a adoção do sistema plantio direto, entretanto, devem ser feitas investigações mais detalhadas sobre questões como: a baixa formação de palhada na área, em virtude da acelerada degradação desta fração do solo, de longos períodos secos e das condições climáticas; o impacto nas propriedades físicas do solo provocado pelo tráfego de equipamentos e o tipo e frequência de espécies para rotação de cultura.

## ANEXO

PERFIL: P1

DATA:25/08/09

CLASSIFICAÇÃO - LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS - Rodovia da Serra do Quilombo. Município Bom Jesus (PI). Coordenadas 09° 18' 00"S. e 44° 37' 33" W. Gr.

SITUAÇÃO, DECLIVIDADE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL- Trincheira situada no topo plano de chapada, sob vegetação de Cerrado.

ALTITUDE- 555 m.

FORMAÇÃO GEOLOGICA E LITOLOGIA- Formação Piauí, arenito e folhelhos.

MATERIAL DE ORIGEM - Material proveniente das rochas supracitadas.

PEDREGOSIDADE- Não pedregosa.

ROCHOSIDADE- Não rochosa.

RELEVO LOCAL- Plano.

RELEVO REGIONAL- Plano.

EROSÃO- Não aparente.

DRENAGEM- Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA- Transição Cerrado/Caatinga.

USO ATUAL- Área de preservação.

CLIMA- Tropical quente e semi-úmido (segundo Köppen do tipo Aw).

DESCRITO E COLETADO POR- M. R. Ribeiro, M. R. Ribeiro Filho, R. B. Pragana e J. F. W. F. Lima.

### DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A 0-20 cm; bruno - escuro (7,5YR 4/2, úmido), bruno (7,5YR 5/2, seco); franco-arenosa; fraca pequena blocos subangulares e moderada pequena granular; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.
- AB 20-45 cm; bruno (7,5YR 5/4, úmido); franco-argilo-arenosa; fraca muito pequena e pequena blocos subangulares; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.
- BA 45-80 cm; bruno-forte (7,5YR5/6, úmido); franco-argilo-arenosa; fraca muito pequena e pequena blocos subangulares; dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição difusa e plana.
- Bw1 80-140 cm; bruno-forte (7,5YR5/6, úmido); franco-argilo-arenosa; fraca, muito pequena e pequena blocos subangulares, com aspecto maciço poroso; ligeiramente dura e dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa, transição difusa e plana.
- Bw2 140-200 cm+; bruno-forte (7,5YR5/8, úmido); franco-argilo-arenosa; fraca, muito pequena a pequena, blocos subangulares; ligeiramente dura e dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

RAÍZES – Muitas nos horizontes A e AB, comuns nos horizontes BA e Bw1, poucas no Bw2.

OBSERVAÇÕES: Muitos poros ao longo de todo perfil.

## RESULTADOS ANALÍTICOS

### Perfil P1

Horizontes		Frações da amostra total(%)		Composição granulométrica da terra fina (g kg <sup>-1</sup> )				ADA (g kg <sup>-1</sup> )	GF (%)	Silte/ argila	Densidade (g cm <sup>-3</sup> )		Porosidade (%)
Símbolo	Prof (cm)	Cascalho 20-2mm	TFSA <2mm	Areia grossa 2-0,2 mm	Areia fina 0,2-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila <0,002 mm				global	partículas	
A	0-20	1	99	324	442	66	168	83	51	0,39	1,23	2,63	53
AB	20-45	2	98	245	481	59	214	123	42	0,28	1,31	2,53	48
BA	45-80	1	99	222	444	63	271	178	34	0,23	1,28	2,56	50
Bw1	80-140	2	98	184	403	78	335	0	100	0,23	1,24	2,70	54
Bw2	140-200 <sup>+</sup>	1	99	182	396	94	329	0	100	0,29	1,26	2,60	51

Horizontes	pH (1:2,5)		Complexo sortivo (cmolc+ kg <sup>-1</sup> )						Valor T (soma)	Valor V (%)	m (%)
	Água	KCl 1N	Ca <sup>2+</sup> + Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Valor S (soma)	H <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>			
A	4,5	3,5	0,4	0,02	0,01	0,4	3,9	1,4	5,6	7	78
AB	5,0	3,9	0,5	0,00	0,01	0,5	1,3	0,7	2,5	21	58
BA	5,3	4,0	0,4	0,00	0,01	0,4	0,8	0,7	1,9	21	64
Bw1	5,5	4,2	0,6	0,00	0,01	0,6	0,9	0,4	1,8	31	42
Bw2	5,6	4,3	0,7	0,00	0,01	0,7	0,6	0,5	1,7	40	40

Horizontes	C orgânico (dag kg <sup>-1</sup> )	Ataque sulfúrico (g kg <sup>-1</sup> )					SiO <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Ki)	SiO <sub>2</sub> R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Kr)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MnO			
A	1,14	8,80	5,92	2,29	3,06	0,01	2,53	2,03	2,58
AB	0,56	-	-	-	-	-	-	-	-
BA	0,42	-	-	-	-	-	-	-	-
Bw1	0,38	-	-	-	-	-	-	-	-
Bw2	0,36	21,80	14,53	6,00	9,07	0,01	2,55	2,02	2,42

PERFIL: P2

DATA: 25/08/09

CLASSIFICAÇÃO-LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS- Estrada TransCerrado, Município Bom Jesus (PI). Coordenadas 9° 16' 0,24" S e 44° 52' 40,6" W. Gr.

SITUAÇÃO, DECLIVIDADE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL- Trincheira localizada na chapada da Serra do Quilombo, em área de vegetação de Cerrado ao lado da área cultivada.

ALTITUDE- 659 m.

FORMAÇÃO GEOLOGICA E LITOLOGIA- Formação Piauí, arenito e folhelhos.

MATERIAL DE ORIGEM - Material proveniente das rochas supracitadas.

PEDREGOSIDADE- Não pedregosa.

ROCHOSIDADE- Não rochosa.

RELEVO LOCAL- Plano.

RELEVO REGIONAL- Plano.

EROSÃO- Não aparente.

DRENAGEM- Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA- Cerrado.

USO ATUAL- Vegetação Natural

CLIMA- Tropical quente e semi-úmido (segundo Köppen do tipo Aw).

DESCRITO E COLETADO POR- M. R. Ribeiro, M. R. Ribeiro Filho, R. B. Pragana e J. F. W. F. Lima.

#### DRESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A 0-21 cm; bruno - escuro (7,5YR 4/2, úmido), bruno (7,5YR 5/2, seco); franco-argilo-arenosa; fraca pequena blocos subangulares e moderada pequena granular; dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.

AB 21-50 cm; bruno (7,5YR 5/4, úmido); franco-argilo-arenosa; fraca, muito pequena, pequena, blocos subangulares; dura, muito friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.

BA 50-90 cm; bruno-forte (7,5YR5/6, úmido); argilo-arenosa; fraca, muito pequena, pequena, blocos subangulares, com aspecto maciço poroso; dura, muito friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; transição difusa e plana.

Bw1 90-147 cm; bruno-forte (7,5YR5/6, úmido); argilo-arenosa; fraca, muito pequena, pequena, blocos subangulares, com aspecto maciço poroso; dura; muito friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; transição difusa e plana.

Bw2 147-195 cm+; bruno-forte (7,5YR5/8, úmido); argilo-arenosa; fraca, muito pequena, pequena, blocos subangulares, com aspecto maciço poroso; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa.

RAÍZES – Muitas nos horizontes A e AB; comuns nos horizontes BA e poucas raízes nos horizontes Bw1 e Bw2.

OBSERVAÇÕES: Muitos poros ao longo de todo perfil.

## RESULTADOS ANALÍTICOS

### Perfil P2

Horizontes		Frações da amostra total(%)		Composição granulométrica da terra fina (g kg <sup>-1</sup> )				ADA (g kg <sup>-1</sup> )	GF (%)	Silte/ argila	Densidade (g cm <sup>-3</sup> )		Porosidade (%)
Símbolo	Prof (cm)	Cascalho 20-2mm	TFSA <2mm	Areia grossa 2-0,2 mm	Areia fina 0,2-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila <0,002 mm				global	partículas	
A	0-20	2	98	294	429	56	221	110	50	0,25	0,96	2,56	62
AB	20-45	1	99	232	464	47	256	156	39	0,18	1,22	2,63	54
BA	45-80	2	98	193	359	52	395	219	45	0,13	1,31	2,51	48
Bw1	80-140	1	99	197	360	48	395	2	100	0,12	1,23	2,70	55
Bw2	140-200 <sup>+</sup>	1	99	189	377	63	370	2	99	0,17	1,12	2,70	58

Horizontes	pH (1:2,5)		Complexo sortivo (cmolc+ kg <sup>-1</sup> )						Valor T (soma)	Valor V (%)	m (%)
	Água	KCl 1N	Ca <sup>2+</sup> + Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Valor S (soma)	H <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>			
A	4,5	3,5	0,9	0,04	0,02	0,9	6,4	1,4	8,8	11	60
AB	4,7	3,9	0,6	0,01	0,01	0,6	2,6	0,9	4,2	15	59
BA	5,0	4,0	0,6	0,00	0,00	0,6	2,1	0,7	3,4	17	55
Bw1	5,0	4,1	0,5	0,00	0,00	0,5	1,5	0,6	2,5	18	56
Bw2	4,9	4,2	0,7	0,00	0,00	0,7	1,4	0,5	2,6	26	44

Horizontes	C orgânico (dag kg <sup>-1</sup> )	Ataque sulfúrico (g kg <sup>-1</sup> )					SiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MnO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Ki)	R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Kr)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			
A	1,45	21,20	13,26	4,13	7,11	0,01	2,72	2,27	3,21			
AB	0,70	-	-	-	-	-	-	-	-			
BA	0,57	-	-	-	-	-	-	-	-			
Bw1	0,40	-	-	-	-	-	-	-	-			
Bw2	0,46	14,10	9,99	4,80	4,83	0,01	2,40	1,84	2,08			

PERFIL: P3/CN

DATA:25/08/09

CLASSIFICAÇÃO - LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS - Fazenda São Marcos, Serra do Quilombo. Município Bom Jesus (PI). Coordenadas 09° 10' 40,85"S. e 45° 07' 07"W.Gr.

SITUAÇÃO, DECLIVIDADE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL- Topografia plana da chapada, área de vegetação nativa próxima a área cultivada.

ALTITUDE- 566 m.

FORMAÇÃO GEOLOGICA E LITOLOGIA- Formação Piauí, arenito e folhelhos.

MATERIAL DE ORIGEM - Material proveniente das rochas supracitadas.

PEDREGOSIDADE- Não pedregosa.

ROCHOSIDADE- Não rochosa.

RELEVO LOCAL- Plano.

RELEVO REGIONAL- Plano.

EROSÃO- Não aparente.

DRENAGEM- Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA - Cerrado.

USO ATUAL- Vegetação Natural.

CLIMA- Tropical quente e semi-úmido (segundo Köppen do tipo Aw).

DESCRITO E COLETADO POR- M. R. Ribeiro, M. R. Ribeiro Filho, R. B. Pragana e J. F. W. F. Lima.

#### DRESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A 0-20 cm; bruno-acinzentado-escuro (10YR 5/2, úmido), bruno-acinzentado (10YR 4/2, seco); franco-argilo-arenosa; fraca pequena e média blocos subangulares e moderada pequena e média granular; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa, transição gradual e plana.
- AB 20-42 cm; bruno-escuro (7,5YR 4/4, úmido); franco-argilo-arenosa; fraca e moderada, muito pequena e pequena blocos angulares; dura, friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.
- BA 42-78 cm; bruno-forte (7,5YR4/6, úmido); argilo-arenosa; fraca, muito pequena e pequena, blocos angulares; dura, friável, plástica e pegajosa; transição difusa e plana.
- Bw1 78-130 cm; bruno-forte (7,5YR5/6, úmido); argilo-arenosa; fraca, muito pequena e pequena, blocos angulares; dura, muito friável, plástica e pegajosa; transição difusa e plana.
- Bw2 130-180 cm+; bruno-forte (7,5YR5/8, úmido); argilo-arenosa; fraca, muito pequena e pequena, blocos angulares, com aspecto maciço poroso; ligeiramente dura, muito friável, plástica e pegajosa.

RAÍZES – Muitas nos horizontes A, AB e BA; Comuns no horizonte B<sub>w1</sub> e poucas no B<sub>w2</sub>.

OBSERVAÇÕES: Muitos poros ao longo de todo perfil.

## RESULTADOS ANALÍTICOS

### Perfil P3/CN

Horizontes		Frações da amostra total(%)		Composição granulométrica da terra fina (g kg <sup>-1</sup> )				ADA (g kg <sup>-1</sup> )	GF (%)	Silte/ argila	Densidade (g cm <sup>-3</sup> )		Porosidade (%)
Horizontes	Prof (cm)	Cascalho 20-2mm	TFSA <2mm	Areia grossa 2-0,2 mm	Areia fina 0,2-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila <0,002 mm				global	partículas	
A	0-20	2	98	304	371	63	262	117	56	0,24	0,84	2,60	68
AB	20-45	1	99	237	389	55	319	177	44	0,17	1,27	2,64	52
BA	45-80	2	98	219	331	44	406	221	46	0,11	1,17	2,63	56
Bw1	80-140	2	98	205	337	40	417	1	100	0,10	1,18	2,53	53
Bw2	140-200 <sup>+</sup>	1	99	159	342	87	413	0	100	0,21	1,13	2,70	58

Horizontes	pH (1:2,5)		Complexo sortivo (cmolc <sub>+</sub> kg <sup>-1</sup> )						Valor T (soma)	Valor V (%)	m (%)
	Água	KCl 1N	Ca <sup>2+</sup> + Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Valor S (soma)	H <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>			
A	4,8	3,5	0,7	0,03	0,03	0,8	8,4	1,8	10,9	7	70
AB	5,2	4,0	0,6	0,01	0,01	0,6	4,3	1,1	6,0	10	64
53	5,4	4,1	0,7	0,01	0,01	0,7	2,0	0,8	3,5	20	
Bw1	5,5	4,2	0,7	0,00	0,00	0,7	1,5	0,6	2,9	25	45
Bw2	5,4	4,3	0,6	0,00	0,00	0,6	1,8	0,7	3,0	21	51

Horizontes	C orgânico (dag kg <sup>-1</sup> )	Ataque sulfúrico (g kg <sup>-1</sup> )					SiO <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Ki)	SiO <sub>2</sub> R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Kr)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MnO						
A	1,72	11,30	8,11	3,58	3,56	0,01	2,37	1,85	2,26			
AB	0,80	-	-	-	-	-	-	-	-			
BA	0,64	-	-	-	-	-	-	-	-			
Bw1	0,53	-	-	-	-	-	-	-	-			
Bw2	0,56	17,70	13,92	5,25	6,66	0,01	2,16	1,74	2,65			

PERFIL: PC5/PD4.

DATA: 26/08/09.

CLASSIFICAÇÃO - LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico, textura argilosa.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS - Fazenda São Marcos, Serra do Quilombo, Município Bom Jesus (PI). Coordenadas 09° 10' 33,9"S. e 45° 08' 20,4"W. Gr.

SITUAÇÃO, DECLIVIDADE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL -

Topo plano de chapada. Área de cultura de soja, após a colheita.

ALTITUDE - 562 m.

FORMAÇÃO GEOLOGICA E LITOLOGIA- Formação Piauí, arenito e folhelhos.

MATERIAL DE ORIGEM - Material proveniente das rochas supracitadas.

PEDREGOSIDADE - Não pedregosa.

ROCHOSIDADE - Não rochosa.

RELEVO LOCAL - Plano.

RELEVO REGIONAL - Plano.

EROSÃO - Não aparente.

DRENAGEM - Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA - Cerrado.

USO ATUAL - Soja colhida.

CLIMA- Tropical quente e semi-úmido (segundo Köppen do tipo Aw).

DESCRITO E COLETADO POR - M. R. Ribeiro, M. R. Ribeiro Filho, R. B. Pragana e J. F. W. F. Lima.

#### DRESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- Ap 0-20 cm; bruno-escuro (7,5YR 4/2, úmido), bruno (7,5YR 5/2, seco); franco-argilo-arenosa; maciça moderadamente coesa; muito dura, friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; transição clara e ondulada.
- AB 20-45 cm; bruno (7,5YR 5/4, úmido); franco-argilo-arenosa; fraca muito pequena e pequena blocos subangulares; dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.
- BA 45-80 cm; bruno (7,5YR 5/4, úmido); franco-argilo-arenosa; fraca muito pequena e pequena blocos subangulares; dura, muito friável, plástica e pegajosa; transição difusa e plana.
- Bw1 80-120 cm; bruno-forte (7,5YR5/6, úmido); argilo-arenosa; fraca muito pequena e pequena blocos subangulares, com aspecto maciço poroso; ligeiramente dura; muito friável, plástica e pegajosa; transição difusa e plana.
- Bw2 120-180 cm+; bruno-forte (7,5YR5/8, úmido); argilo-arenosa; fraca, muito pequena e pequena, blocos subangulares, com aspecto maciço poroso; ligeiramente dura, muito friável, plástica e pegajosa.

RAÍZES – Comuns no horizonte A, poucas nos horizontes AB, BA e Bw1 e raras no horizonte Bw2.

#### OBSERVAÇÕES:

1. Muitos poros ao longo de todo perfil.
2. O horizonte A apresenta estrutura laminar nos primeiros 5 cm.

**RESULTADOS ANALÍTICOS  
PERFIL PC5/PD4**

Horizontes		Frações da amostra total (%)		Composição granulométrica da terra fina (g kg <sup>-1</sup> )				ADA (g kg <sup>-1</sup> )	GF (%)	Silte/argila	Densidade (g cm <sup>-3</sup> )		Porosidade (%)
Símbolo	Prof (cm)	Casca-lho 20-2mm	TFSA <2mm	Areia grossa 2-0,2 mm	Areia fina 0,2-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila <0,002 mm				solo	Partículas	
Ap	0-20	1	99	267	430	54	249	107	57	0,22	1,36	2,56	47
AB	20-45	2	98	215	467	52	266	155	42	0,19	1,41	2,62	46
BA	45-80	1	99	203	410	42	345	241	30	0,12	1,29	2,63	51
Bw1	80-140	2	98	206	387	41	366	3	99	0,11	1,19	2,63	55
Bw2	140-200 <sup>+</sup>	1	99	175	412	39	374	0	100	0,10	1,19	2,67	55

Horizontes	pH (1:2,5)		Complexo sortivo (cmolc+ kg <sup>-1</sup> )						Valor T (soma)	Valor V (%)	m (%)	CO (g kg <sup>-1</sup> )
	Água	KCl 1N	Ca <sup>2+</sup> +Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Valor S (soma)	H <sup>+</sup>	Al <sup>+3</sup>				
Ap	5,2	4,0	2,1	0,08	0,00	2,2	5,7	0,5	8,3	26	18	14,36
AB	4,6	4,0	1,1	0,04	0,00	1,1	3,7	1,0	5,9	19	48	6,36
BA	4,5	3,8	0,9	0,04	0,00	1,0	3,0	0,8	4,8	20	47	5,64
Bw1	4,9	4,0	0,7	0,04	0,00	0,7	2,3	0,5	3,5	20	36	5,13
Bw2	4,3	4,1	0,9	0,04	0,00	0,9	2,1	0,5	3,6	25	45	4,28

PERFIL: PC7/PD8.

DATA: 26/08/09.

CLASSIFICAÇÃO - LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico, textura argilosa.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS - Fazenda São Marcos, Serra do Quilombo, Município Bom Jesus (PI). Coordenadas 09° 10' 48,8"S. e 45° 07' 46,1"W. Gr.

SITUAÇÃO, DECLIVIDADE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL - Topo plano da chapada. Capim Braquiária sobre palhada de milho.

ALTITUDE - 569 m.

FORMAÇÃO GEOLOGICA E LITOLOGIA- Formação Piauí, arenito e folhelhos.

MATERIAL DE ORIGEM - Material proveniente das rochas supracitadas.

PEDREGOSIDADE - Não pedregosa.

ROCHOSIDADE - Não rochosa.

RELEVO LOCAL – Plano.

RELEVO REGIONAL – Plano.

EROSÃO - Não aparente.

DRENAGEM - Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Cerrado.

USO ATUAL - Braquiária em cima de palha de milho.

CLIMA - Tropical quente e semi-úmido (segundo Köppen do tipo Aw).

DESCRITO E COLETADO POR - M. R. Ribeiro, M. R. Ribeiro Filho, R. B. Pragana e J. F. W. F. Lima.

#### DRESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- Ap 0-16 cm; bruno-escuro (7,5YR 4/2, úmido), bruno (7,5YR 5/2, seco); franco-argilo-arenosa; maciça e fraca pequena blocos subangulares; dura e muito dura, friável, ligeiramente plástica e pegajosa, transição abrupta e ondulada.
- AB 16-44 cm; bruno-escuro (7,5YR 4/4, úmido); franco-argilo-arenosa; fraca muito pequena e pequena blocos subangulares; dura, friável, ligeiramente plástica e pegajosa; transição gradual e plana.
- BA 44-80 cm; bruno-forte (7,5YR 4/6, úmido); argilo-arenosa; fraca muito pequena e pequena blocos subangulares; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição difusa e plana.
- Bw1 80-129 cm; bruno-forte (7,5YR 5/6, úmido); argilo-arenosa; fraca muito pequena e pequena blocos subangulares, com aspecto maciço poroso; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição difusa e plana.
- Bw2 129-187 cm+; bruno-forte (7,5YR 5/8, úmido); argilo-arenosa, fraca muito pequena e pequena blocos subangulares, com aspecto maciço poroso; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

RAÍZES – Muitas nos horizontes A, AB e BA; comuns nos horizontes Bw1 e Bw2.

OBSERVAÇÕES:

1. Muitos poros ao longo de todo perfil.
2. O horizonte A apresenta estrutura laminar nos primeiros 5 cm.

**RESULTADOS ANALÍTICOS  
PERFIL PC7/PD8**

Horizontes		Frações da amostra total (%)		Composição granulométrica da terra fina (g kg <sup>-1</sup> )				ADA (g kg <sup>-1</sup> )	GF (%)	Silte/argila	Densidade (g cm <sup>-3</sup> )		Porosidade (%)
Símbolo	Prof (cm)	Casca-lho 20-2mm	TFSA <2mm	Areia grossa 2-0,2 mm	Areia fina 0,2-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila <0,002 mm				solo	Partículas	
Ap	0-20	1	99	293	356	68	284	148	48	0,24	1,32	2,62	50
AB	20-45	2	98	224	385	65	326	217	33	0,20	1,31	2,66	51
BA	45-80	1	99	212	331	56	401	67	83	0,14	1,16	2,67	57
Bw1	80-140	2	98	197	327	61	415	2	100	0,15	1,13	2,60	57
Bw2	140-200 <sup>+</sup>	1	99	190	319	76	414	1	100	0,18	1,13	2,67	58

Horizontes	pH (1:2,5)		Complexo sortivo (cmolc+ kg <sup>-1</sup> )						Valor T (soma)	Valor V (%)	m (%)	CO (g kg <sup>-1</sup> )
	Água	KCl 1N	Ca <sup>2+</sup> +Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Valor S (soma)	H <sup>+</sup>	Al <sup>+3</sup>				
Ap	5,3	4,0	3,2	0,14	0,00	3,4	5,8	0,4	9,6	35	11	17,10
AB	4,5	4,0	1,2	0,02	0,00	1,2	3,5	0,8	5,5	21	42	5,13
BA	4,6	4,1	1,2	0,03	0,00	1,2	2,3	0,4	4,0	31	28	4,41
Bw1	4,9	4,3	1,0	0,01	0,00	1,0	2,0	0,2	3,3	31	21	4,02
Bw2	4,3	4,2	0,7	0,00	0,00	0,7	1,8	0,4	3,0	25	35	4,15

PERFIL: PC3/PD3.

DATA: 27/08/09.

CLASSIFICAÇÃO - LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico, textura argilosa.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS - Fazenda São Marcos, Serra do Quilombo, Município Bom Jesus (PI). Coordenadas 09° 11' 48,7"S. e 45° 08' 14,2"W. Gr.

SITUAÇÃO, DECLIVIDADE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL -

Topo plano da chapada. Restos culturais de soja.

ALTITUDE - 578 m.

FORMAÇÃO GEOLOGICA E LITOLOGIA - Formação Piauí, arenito e folhelhos

MATERIAL DE ORIGEM - Material proveniente das rochas supracitadas.

PEDREGOSIDADE - Não pedregosa.

ROCHOSIDADE - Não rochosa.

RELEVO LOCAL – Plano.

RELEVO REGIONAL – Plano.

EROSÃO - Não aparente.

DRENAGEM - Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Cerrado.

USO ATUAL- Cultura de soja colhida.

CLIMA - Tropical quente e semi-úmido (segundo Köppen do tipo Aw).

DESCRITO E COLETADO POR - M. R. Ribeiro, M. R. Ribeiro Filho, R. B. Pragana e J. F. W. F. Lima.

#### DRESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Ap 0-17 cm; bruno-escuro (7,5YR 4/2, úmido), bruno (7,5YR 5/2, seco); franco-argilo-arenosa; maciça moderadamente coesa; fraca pequena blocos subangulares e fraca pequena granular; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição abrupta e ondulada.

AB 17-40 cm; bruno (7,5YR 5/4, úmido); franco-argilo-arenosa; moderada muito pequena e pequena blocos subangulares; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.

BA 40-75 cm; bruno-forte (7,5YR 5/6, úmido); argilo-arenosa; fraca muito pequena e pequena blocos subangulares; dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição difusa e plana.

Bw1 75-120 cm; bruno-forte (7,5YR 5/8, úmido); argilo-arenosa; fraca muito pequena e pequena blocos subangulares, com aspecto maciço poroso; ligeiramente dura; muito friável, plástica e ligeiramente pegajosa, transição difusa e plana.

Bw2 120-190 cm+; bruno-forte (7,5YR 5/8, úmido); argilo-arenosa; fraca muito pequena e pequena blocos angulares, com aspecto maciço poroso; ligeiramente dura, muito friável, plástica e ligeiramente pegajosa.

RAÍZES – Muitas raízes no horizonte A, comuns no horizonte AB, BA e Bw1 e poucas raízes no horizonte Bw2,

OBSERVAÇÕES: Muitos poros ao longo de todo perfil

**RESULTADOS ANALÍTICOS  
PERFIL PC3/PD3**

Horizontes		Frações da amostra total (%)		Composição granulométrica da terra fina (g kg <sup>-1</sup> )				ADA (g kg <sup>-1</sup> )	GF (%)	Silte/argila	Densidade (g cm <sup>-3</sup> )		Porosidade (%)
Símbolo	Prof (cm)	Casca-lho 20-2mm	TFSA <2mm	Areia grossa 2-0,2 mm	Areia fina 0,2-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila <0,002 mm				solo	Partículas	
Ap	0-20	1	99	321	362	45	272	121	55	0,16	1,24	2,60	52
AB	20-45	2	98	241	294	51	314	201	36	0,16	1,25	2,59	52
BA	45-80	1	99	231	331	42	396	244	38	0,11	1,20	2,63	54
Bw1	80-140	2	98	335	216	83	366	0	100	0,23	1,18	2,63	55
Bw2	140-200 <sup>+</sup>	1	99	213	339	48	399	0	100	0,12	1,18	2,67	56

Horizontes	pH (1:2,5)		Complexo sortivo (cmolc+ kg <sup>-1</sup> )						Valor T (soma)	Valor V (%)	m (%)	CO (g kg <sup>-1</sup> )
	Água	KCl 1N	Ca <sup>2+</sup> +Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Valor S (soma)	H <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>				
Ap	4,6	4,0	2,2	0,11	0,00	2,4	8,5	1,6	12,6	19	40	23,41
AB	4,3	4,0	1,2	0,02	0,00	1,2	4,5	1,1	6,8	17	48	11,30
BA	4,9	3,9	0,9	0,01	0,00	0,9	2,6	0,8	4,3	21	47	5,65
Bw1	4,5	4,0	0,7	0,00	0,00	0,7	2,1	0,5	3,3	21	43	4,93
Bw2	4,4	4,0	0,7	0,00	0,00	0,7	1,8	0,7	3,2	21	52	3,82