

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

**CARBONO ORGÂNICO E ELETROQUÍMICA DE  
LATOSSOLO SUBMETIDO A SISTEMAS DE  
MANEJO NO CERRADO**

**GABRIELLA DE OLIVEIRA PASSOS**

**Brasília, DF**  
**Agosto/2012.**

**GABRIELLA DE OLIVEIRA PASSOS**

**CARBONO ORGÂNICO E ELETROQUÍMICA DE  
LATOSSOLO SUBMETIDO A SISTEMAS DE  
MANEJO NO CERRADO**

Monografia apresentada à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília – UnB, como parte das exigências do curso de Graduação em Agronomia, para a obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

Orientador: Prof. Dr. CÍCERO CÉLIO DE FIGUEIREDO

**Brasília, DF  
Agosto/2012**

## FICHA CATALOGRÁFICA

PASSOS, Gabriella de Oliveira

**“CARBONO ORGÂNICO E ELETROQUÍMICA DE LATOSSOLO SUBMETIDO A SISTEMAS DE MANEJO NO CERRADO”** Orientação: Cícero Célio de Figueiredo, Brasília 2012. 46 páginas.

Monografia de Graduação (G) – Universidade de Brasília / Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2012.

1. Ponto de Efeito Salino Nulo 2. Manejo do solo no Cerrado 3. Matéria Orgânica

I. Figueiredo, C.C.de. II. Drº.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

PASSOS, G. O. **CARBONO ORGÂNICO E ELETROQUÍMICA DE LATOSSOLO SUBMETIDO A SISTEMAS DE MANEJO NO CERRADO**. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2012, 46 páginas. Monografia.

## CESSÃO DE DIREITOS

**Nome do Autor:** GABRIELLA DE OLIVEIRA PASSOS

**Título da Monografia de Conclusão de Curso:**

**Grau:** 3º      **Ano:** 2012.

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

GABRIELLA DE OLIVEIRA PASSOS

CPF: 029. 856. 891- 80

SHCES 1309 Bloco B Apartamento 202, Cruzeiro Novo.

CEP: 70. 658- 392 Brasília, DF.

(61) 3234-5731/ (61) 9996-5210 / email: g.oli.passos@hotmail.com

GABRIELLA DE OLIVEIRA PASSOS

# **CARBONO ORGÂNICO E ELETROQUÍMICA DE LATOSSOLO SUBMETIDO A SISTEMAS DE MANEJO NO CERRADO**

Monografia apresentada à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília – UnB, como parte das exigências do curso de Graduação em Agronomia, para a obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

Orientador: Prof. Dr. CÍCERO CÉLIO DE FIGUEIREDO

BANCA EXAMINADORA:

---

Cícero Célio de Figueiredo  
Doutor, Universidade de Brasília – UnB  
Orientador/ email: cicerocf@unb.br

---

Thomaz Adolpho Rein  
PhD, Embrapa Cerrados  
Examinador/ email: thomaz.rein@embrapa.br

---

João de Deus Gomes dos Santos Junior  
DSc, Embrapa Cerrados  
Examinador/ email: joao.jr@embrapa.br

Aos meus pais, José Henrique e Elizabeth e meus irmãos Danielle e Pedro Henrique, que sempre me acompanham nas horas mais difíceis e me guiam para o melhor caminho.

OFEREÇO E DEDICO

## AGRADECIMENTOS

- *A Deus, que nos momentos de fraqueza me segurou em seus braços e nos momentos de alegria a multiplicava por uma eternidade;*
- *Agradeço ao professor Dr. Cícero Célio de Figueiredo pela paciência perante minhas dúvidas, pela confiança e pelos conhecimentos passados;*
- *Aos meus pais - Elizabeth de Oliveira Passos e José Henrique dos Passos - pelo amor, pelo exemplo de vida, pela paciência, e por estar sempre do meu lado e meu irmão – Danielle de Oliveira Passos e Pedro Henrique de Oliveira Passos;*
- *O meu namorado, Hélio Borges de Godoy Junior, que sempre me aconselhou, por ter acreditado em meu potencial, nunca me deixou desanimar na elaboração desta monografia e agradecer pela sua paciência e compreensão;*
- *A família do meu namorado – a sua mãe Maria do Carmo, o seu pai Hélio e seus irmãos e esposas – Lúcio e Luci, Luciano e Ana Cristina, Hygor e a mais recente membro da família Mariana;*
- *A minha prima Luísa Passos, pelas várias horas de conversa na UnB;*
- *Aos amigos da agronomia: Yumi Kamila Fukushi, Roberta Ferreira, Moira Paranaguá, Laura Farias, Carolina Boechat, Geanny Pereira, Diego De Paula, Suelen Braga, Ângela Gorgen, que sempre me incentivaram com palavras animadoras e me fazem acreditar em meus sonhos, acelerando minhas conquistas. Muito obrigado;*
- *Aos amigos: Camila Hirata, Beatriz Araújo, Camila Oliveira, Rodrigo Mendes, Eduardo Bruno e Kamila Batista;*
- *Aos queridos companheiros de trabalho e amigos do laboratório de Estudos da Matéria Orgânica do solo: Sara Dantas Rosa, Larissa Gomes Araújo, Rodrigo Fernandes, Géssica Souza, Juliana Hiromi Sato e do Laboratório de Química do Solo – Luis Eduardo, por terem me ajudado nos experimentos. Minha sincera gratidão.*
- *A todos os amigos que conquistei ao longo da faculdade.*
- *A todos que, de alguma forma, contribuíram para o andamento deste trabalho.*

“O amor é um exercício de jardinagem. Arranque o que faz mal, prepare o terreno, semeie, seja paciente, regue e cuide. Esteja preparado porque haverá pragas, secas ou excesso de chuvas, mas nem por isso abandone o seu jardim. Ame, ou seja, aceite, valorize, respeite, dê afeto, ternura, admire e compreenda.”

(autor desconhecido)

PASSOS, Gabriella de Oliveira. “**CARBONO ORGÂNICO E ELETROQUÍMICA DE LATOSSOLO SUBMETIDO A SISTEMAS DE MANEJO NO CERRADO**”. 2012. Monografia (Bacharelado em Agronomia). Universidade de Brasília – UnB.

## RESUMO

Os atributos eletroquímicos são importantes para caracterizar certas propriedades do solo relacionadas à fertilidade, à nutrição de plantas e à pedogênese. Um desses atributos eletroquímicos é o ponto de efeito salino nulo (PESN) que pode ser definido como o pH no qual o balanço entre as cargas negativas e positivas é igual a zero. Vários constituintes do solo influenciam o PESN. Em solos intemperizados como os do Cerrado predominam argilominerais com caráter anfótero. Nesses solos, a matéria orgânica deixa o PESN mais baixo e os óxidos de ferro e de alumínio deixam o PESN mais elevado. O objetivo deste trabalho foi determinar os efeitos do manejo de um Latossolo, tendo o cerrado nativo como referência, em algumas propriedades eletroquímicas do solo relacionadas à geração de carga (Ponto de Efeito Salino Nulo, Ponto de Carga Zero Estimado e Delta pH) e nos teores de carbono orgânico total, em camada superficial (0,0 a 0,05 m) e profunda (0,80 a 1,00 m) do solo. Os sistemas de manejo do solo utilizados foram plantio direto (PD), plantio convencional com grade pesada (GP), e pastagem (PAST). Para determinar o PESN foi utilizado o método das curvas de titulação potenciométrica e as demais propriedades eletroquímicas foram determinadas com base nos valores do PESN e do pH do solo. Os dados foram submetidos a análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância. Os valores de carbono orgânico total (COT) variaram na camada superficial entre 16,1 (GP) a 22,9 (CER). Nessa camada, o cerrado nativo apresentou os maiores valores de COT, sendo superior aos sistemas manejados, na seguinte ordem: CER>PAST>GP=PD. Na camada subsuperficial (0,80 – 1,00 m) os sistemas não se diferenciaram quanto aos teores de COT. Os valores de PESN variaram na camada superficial entre 3,19 (PAST) a 3,37 (PD) e na camada subsuperficial entre 3,35 (GP) a 3,59 (CER). O valor médio do PESN foi de 3,29 em superfície e de 3,40 em subsuperfície. Ao considerar todos os sistemas em conjunto, na camada superficial, observou-se uma correlação entre os valores de PESN variando inversamente com o teor de COT. No entanto, o aumento dos valores de PESN em profundidade só ocorreu para os sistemas PAST e CER, coerente com os maiores teores de COT verificados na camada superficial destes sistemas. Os valores do ponto de carga zero estimado ( $PCZ_{est}$ ), a partir dos valores de pH determinado em água e em suspensão de HCl 1 mol L<sup>-1</sup>, ficaram próximos aos do PESN, demonstrando a boa correlação entre essas formas de determinação do ponto de equilíbrio de cargas.

**Palavras-chave:** Ponto de Efeito Salino Nulo, Plantio Direto, Matéria Orgânica.



## **ANEXO**

Figura 2 Curvas de titulação potenciométrica do solo sob diferentes manejos na profundidade de 0,0 – 0,05 m. ....	32
Figura 3 Curvas de titulação potenciométrica do solo sob diferentes manejos na profundidade de 0,80 – 1,00 m. ....	34

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Teor de carbono orgânico total ( $\text{g kg}^{-1}$ ) da camada superficial e subsuperficial do solo sob sistemas de manejo e cerrado nativo.....	25
Tabela 2. Ponto de efeito salino nulo do solo, de camadas superficiais e subsuperficiais, sob sistemas de manejo e cerrado nativo. ....	26
Tabela 3. Ponto de carga zero estimado do solo, de camadas superficiais e subsuperficiais, sob sistemas de manejo e cerrado nativo. ....	28
Tabela 4. Valores de pH ( $\text{H}_2\text{O}$ e $\text{KCl}$ ) do solo sob sistemas de manejo e cerrado nativo independente da profundidade. ....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Tabela 5 Delta pH ( $\Delta\text{pH}$ ) do solo, de camadas superficiais e subsuperficiais, sob sistemas de manejo e cerrado nativo.....	29
Tabela 6 Coeficientes de correlação de Pearson ( $r$ ) entre carbono orgânico e atributos eletroquímicos do solo de duas profundidades sob sistemas de manejo e cerrado nativo. ....	29
Tabela 7: Histórico do experimento. ....	30
Figura 1 Correlação entre os teores de carbono orgânico e ponto de efeito salino nulo (PESN) na camada superficial (0,00 a 0,05m) de solo sob sistemas de manejo. *** significativo a 1% de probabilidade ( $P < 0,01$ ). ....	26

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	REVISÃO DE LITERATURA .....	14
2.1	Agricultura no Cerrado .....	14
2.2	Sistemas de Manejo Utilizados em Solos do Cerrado .....	15
2.2.1	Sistema Convencional .....	15
2.2.2	Sistema Plantio Direto.....	16
2.2.3	Pastagem.....	17
2.3	Importância da Matéria Orgânica para Solos do Cerrado .....	17
2.4	Cargas elétricas em solos intemperizados como os do Cerrado: influência da matéria orgânica.....	19
2.5	Ponto de Efeito Salino Nulo .....	20
3	MATERIAIS E MÉTODOS .....	22
3.1	Localização e Caracterização da Área Experimental.....	22
3.2	Sistemas de Manejo Estudados.....	22
3.3	Determinação dos atributos eletroquímicos do solo .....	23
3.4	Determinação do carbono orgânico total do solo .....	24
3.5	Análises Estatísticas.....	24
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	25
4.1	Carbono Orgânico Total.....	25
4.2	Atributos Eletroquímicos .....	26
5	CONCLUSÃO .....	31
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	36

# 1 INTRODUÇÃO

O bioma Cerrado, abrangendo 205 milhões de ha, se transformou, nas últimas três décadas, na principal fronteira agrícola do País e na última grande fronteira agrícola do mundo. É uma das maiores regiões produtoras de grãos do Brasil. Os estudos científicos sobre a dinâmica de nutrientes no solo, aliados às boas características físicas permitiram que o Cerrado se tornasse o ecossistema mais propício para as culturas de grãos. A previsão de produção de grãos na região Centro-Oeste, que está inserida no Cerrado, para a safra 2011/2012 é de 64.447 milhões de toneladas (CONAB, 2012).

Nessa região, os latossolos representam a classe de solo predominante, abrangendo aproximadamente 46% do Cerrado. São solos que apresentam avançado grau de intemperismo, cuja mineralogia é caracterizada pela presença de materiais com caráter anfótero apresentando cargas dependentes de pH, também conhecidas como cargas variáveis. Além do caráter anfótero desses solos, a predominância de óxidos e hidróxidos de ferro e de alumínio, que apresentam um ponto de carga zero em valores elevados de pH, apresentam como consequência prática a pequena presença de cargas negativas nas superfícies desses colóides, na faixa de pH dos solos, caracterizada pela baixa capacidade de troca de cátions (CTC). Esse cenário é limitante à produção agrícola e intensificado pelos baixos valores de pH que predominam nesses solos. A calagem é uma excelente tecnologia que, entre outras características benéficas, possibilita a geração de cargas negativas nesses solos intemperizados. Mesmo com a prática da calagem, os valores de pH alcançados, por volta de 5,5 a 6,0, conforme as recomendações de correção para a maioria das culturas na região do Cerrado (Sousa & Lobato, 2004), verifica-se que a geração de cargas negativas é pequena e quase totalmente oriunda da dissociação de  $H^+$  de determinados grupos orgânicos da matéria orgânica do solo.

A importância da matéria orgânica para a CTC de solos do Cerrado já é conhecida, principalmente pelos baixos valores de pH do meio exigidos para geração de carga negativa. Esses valores de pH são apresentados por diferentes denominações, conforme o método utilizado na sua determinação. O Ponto de Efeito Salino Nulo (PESN) é uma propriedade do solo que possibilita determinar a distribuição de cargas elétricas. Nos solos com caráter anfótero, os óxidos de ferro e de alumínio contribuem para o aumento de cargas positivas e do PESN do solo, enquanto a matéria orgânica aumenta as cargas negativas nos valores predominantes de pH dos solos ácidos do Cerrado, reduzindo o PESN.

Como o teor matéria orgânica do solo varia conforme o sistema de manejo adotado, espera-se que os sistemas conservacionistas utilizados aumentem os teores de carbono orgânico no solo e possibilitem a diminuição do PESN, com conseqüente aumento da CTC desses solos, nas faixas de pH normalmente recomendada no Cerrado. Há vários tipos de manejo no Cerrado que podem influenciar as cargas do solo. Um exemplo é o Sistema Plantio Direto, que, por obter o acúmulo de matéria orgânica na superfície dos solos, possibilita o decréscimo do PESN nesta camada.

O objetivo deste trabalho foi determinar os efeitos do manejo de um Latossolo, tendo o cerrado nativo como referência, em propriedades eletroquímicas do solo ligadas à geração de carga e nos teores de carbono orgânico total, em camada superficial e subsuperficial do solo.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Agricultura no Cerrado**

O Bioma Cerrado ocupa 204,7 milhões de hectares na região central do Brasil e engloba parte dos estados da Bahia, Goiás, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná, Piauí, Rondônia, Pará, São Paulo, Tocantins e o Distrito Federal.

No Cerrado, os principais cultivos envolvem as culturas da soja, milho, feijão, algodão, cana-de-açúcar, além das pastagens. Na safra de 2010/2011 a produção de grãos no Centro-Oeste foi de 53.817,2 mil toneladas, sendo a soja a cultura que mais se destacou com produção de 32.528,7 mil toneladas e em seguida a cultura do milho com 16.874,5 mil toneladas de produção (Conab, 2012). Esses dados demonstram a grande importância do Cerrado para a agricultura do País.

O clima predominante do Cerrado é o tropical sazonal, de inverno seco. Apresenta uma grande estacionalidade, ou seja, um período chuvoso, que dura de outubro a março e um período seco, de abril a setembro. Nesse período chuvoso pode ocorrer uma estiagem, denominado de veranico, que gera sérios problemas para a agricultura.

Os latossolos, que representam a classe de solo predominantemente ocupada pela agropecuária do Cerrado, apresentam baixa Capacidade de Troca de Cátion (CTC), pois são muito intemperizados, distróficos e em geral, tem grandes problemas de fertilidade (Resende et al., 1995). Essa baixa CTC é um dos fatores limitantes para a produção agrícola, que em conjunto com a alta percolação de água no perfil, causa a lixiviação dos nutrientes catiônicos. Com isso esse solo precisa de sistemas que o preservem e aumentem a sua cobertura com um maior teor de matéria orgânica. Por consequência, aumentam-se as cargas negativas do solo e diminui-se a perda dos nutrientes.

A pobreza dos solos não constitui um obstáculo para a agricultura. Com um manejo correto, com aplicação de calcário – para a correção de acidez –, aumento da matéria orgânica e adubação, o Cerrado torna-se uma região passível de utilização com culturas anuais, perenes e pastagens.

Estima-se que 50% dos solos sob culturas anuais e 80% sob pastagem encontram-se com certo grau de degradação (Kluthcouski & Aidar, 2003). Essa realidade serviu de estímulo à adoção de práticas mais conservacionistas, como o sistema plantio direto, rotação de cultura e o sistema de integração lavoura/pecuária. Esses sistemas contribuem para a manutenção adequada da umidade, temperatura e matéria orgânica e beneficia os microrganismos e a fauna do solo (Campanhola, 2002).

## **2.2 Sistemas de Manejo Utilizados em Solos do Cerrado**

As técnicas de manejo do solo que se dispõem para o plantio nos cerrados são divididas em dois grandes grupos: as que utilizam o completo ou parcial revolvimento do solo nas operações de preparo do solo para o plantio, denominados genericamente de sistema convencional; o segundo grupo é caracterizado pelo não-revolvimento do solo, com mobilização permitida apenas no sulco de semeadura, com várias possibilidades de arranjos culturais, denominado de sistema de plantio direto.

Os sistemas conservacionistas podem ser uma alternativa para diminuir as emissões de CO<sub>2</sub> nos sistemas de produção agropecuária. O sistema plantio direto, associado à rotação de culturas com elevado aporte de resíduos culturais sobre o solo, apresenta o maior potencial de mitigação do CO<sub>2</sub> (Dieckow et al., 2005; Amado et al., 2006).

### **2.2.1 Sistema Convencional**

No plantio convencional o solo é revolvido, normalmente, por meio de aração e gradagem. Quando essas operações são utilizadas com frequência ocorre alteração da estrutura do solo, com quebra de agregados. Como consequência, as partículas do solo ficam gradualmente mais pulverizadas, facilitando o processo erosivo e a perda de matéria orgânica.

O preparo convencional do solo ocorre em duas etapas. O preparo primário é a primeira etapa, na qual se executam uma mobilização mais profunda e grosseira do solo para eliminar ou enterrar as plantas daninhas e restos de culturas e, também, melhorar as condições físicas do solo utilizando-se um arado. Na segunda etapa utilizam-se grades aradoras ou niveladoras, as quais nivelam e destorroam o terreno de forma a permitir um ambiente favorável ao plantio e ao crescimento das plantas (Cruz et. al., 2008).

O uso desses implementos agrícolas no preparo do solo provoca a quebra dos macroagregados, provocando perda da matéria orgânica armazenada no interior dos agregados pela aceleração da decomposição (Resck et al., 2008). O uso do arado de disco, por vários anos, também pode provocar compactação na profundidade de 20-25 cm em decorrência da pressão exercida pela lâmina do implemento (Resck, 1997).

Segundo Kluthcouski (1991), o sistema convencional de cultivo é inviável no Cerrado brasileiro, quando praticado sucessivamente, devido aos danos ambientais proporcionados, como a compactação subsuperficial do solo que favorece a erosão hídrica e eólica.

## 2.2.2 Sistema Plantio Direto

O Sistema Plantio Direto (SPD) surgiu nos Estados Unidos na década de 1960. No Brasil o sistema surgiu com o objetivo de controle da erosão hídrica, no Rio Grande do Sul e no Paraná nos anos de 1970.

No Cerrado, o SPD começa a surgir em 1980, com o plantio de safrinha. Nessa região a adoção do sistema foi mais complicada devido à baixa formação de palhada nos períodos secos do ano. Todavia, esse problema não foi um entrave para o SPD no cerrado. Segundo Sá (2004), o sistema deve ser desenvolvido para cada região, em consonância com o clima e a viabilidade da irrigação.

Atualmente, depois de 42 anos de uso, o Sistema de Plantio Direto é utilizado em mais de 25 milhões de hectares dos 47 milhões cultivados com lavouras anuais.

O SPD é um sistema de produção com interação de várias práticas agrícolas, culturais e biológicas. As principais são o não-revolvimento do solo, a rotação de culturas e a manutenção da palhada no solo.

Com a manutenção da palhada sobre o solo, ocorre o processo de reagregação das partículas do solo, originando estruturas mais estáveis. Dessa forma, aumenta-se o teor de matéria orgânica, a atividade biológica e o armazenamento de nutrientes. Devido ao maior acúmulo da matéria orgânica, altera-se a CTC do solo, a toxidez por alumínio e a dinâmica dos nutrientes.

Os resíduos orgânicos das culturas são os principais componentes de retorno de carbono ao solo, sendo, portanto, de grande relevância na ciclagem de nutrientes e de carbono.

Quanto ao perfil do solo, a camada mais superficial (0 a 0,05 m) passa a apresentar propriedades químicas, bioquímicas e microbiológicas bem distintas das demais camadas do solo. Isso ocorre porque, no SPD, a ausência de incorporação, favorece o acúmulo de restos culturais na camada superficial do solo. Esta camada tem sido utilizada para a geração do índice de estratificação do carbono no solo (Sá & Lal, 2009), já que é pela superfície que todo o carbono das palhadas penetra no solo. Portanto, os sistemas de manejo com e sem incorporação apresentam diferenças nos teores de carbono orgânico superficial.



### 2.2.3 Pastagem

Na década de 1970, houve uma grande expansão da produção pecuária e o surgimento de espécies forrageiras com alta capacidade de adaptação ao clima e à baixa fertilidade.

Atualmente, a pecuária é uma das atividades mais importantes no Brasil. Ocupa uma área de 199 mil hectares, o que equivale a 73% de toda a área ocupada por atividades agropecuárias. O Brasil abriga o segundo maior rebanho bovino do mundo, sendo o primeiro pertencente à Índia. As espécies forrageiras representam uma excelente alternativa para a formação de palhada nas condições tropicais do Cerrado brasileiro. O uso dessas espécies em sistemas integrados com grãos em sucessão ou em consórcio apresenta grande potencial para a sustentabilidade do plantio direto no Cerrado. Como consequência do uso dessas espécies, há um aumento das entradas de carbono no solo de forma equilibrada pela superfície (chamado de carbono ou matéria orgânica epígea) e pela decomposição do grande volume radicular (matéria orgânica endógena). Assim, introdução de espécies forrageiras com alta capacidade de produção de fitomassa, como *Brachiaria decumbens*, contribui para o maior aporte de resíduos culturais no solo (Corazza et. al., 1999).

No estudo da dinâmica da matéria orgânica em solos sob pastagem, Cerri (1989) observou que o solo recuperou os teores totais de carbono, após oito anos da derrubada da floresta, sendo 45,8% do total representado pelo carbono oriundo da pastagem. Em sistema de integração pastagem com culturas em plantio direto, com intensidades de pastejo moderado, também verificou-se aumento nos estoques de carbono orgânico total, carbono orgânico particulado, nitrogênio total e nitrogênio na matéria orgânica particulada no solo, semelhante ao plantio direto sem pastejo (Souza et al.. 2009).

### 2.3 Importância da Matéria Orgânica para Solos do Cerrado

Há vários modelos utilizados para definir as diferentes frações que compõem a matéria orgânica do solo.

Segundo Roscoe (2005), a MOS é formada por três reservatórios de carbono:

1. MOS composta por resíduos de plantas de fácil decomposição;
2. Biomassa que é formada pela fauna e pela microbiota do solo;
3. MOS humificada, composta por matérias que passaram por um processo intensivo de transformação, que resulta frações como os ácidos húmicos, fúlvicos e humina.

A imobilização acontece quando as raízes e os microrganismos utilizam o carbono orgânico como nutriente. Com a senescência das raízes e a morte dos microrganismos, o carbono retorna ao solo, compondo a MOS morta. O material orgânico sofre a ação de microrganismo no processo de decomposição e mineralização e no decorrer desse processo ocorre a formação de substâncias húmicas.

Inúmeros trabalhos detectaram que as frações particulada da MOS representaram pequena porcentagem do carbono total, enquanto a fração humificada contribuiu com mais de 70 % da MOS (Chistensen, 1992; Stevenson, 1994; Feller & Beare, 1997; Freixo et. al, 2002).

O carbono orgânico total (COT) e seus estoques têm sido utilizados como indicadores de qualidade do solo. Nesse sentido, verificou-se que o carbono orgânico particulado foi mais sensível em detectar as alterações promovidas no solo por diferentes sistemas de manejo (Bayer et al., 2004; Conceição et. al., 2005).

A biomassa viva, os resíduos vegetais, as raízes e os exudados atuam protegendo o solo contra a erosão e como fonte de alimento para a atividade biológica. Os resíduos vegetais que entram no solo podem também interagir com a fração mineral no processo de agregação do solo. A interação da fração mineral com MOS humificada forma complexos organo-minerais. Ao longo do tempo, com a incorporação de mais MOS humificada tem-se a formação de microagregados. Com o crescimento de raízes, de hifas fúngicas (Beare et al., 1994) e com a ação da macrofauna nos microagregados formam-se macroagregados do solo.

A formação de macroagregados no solo promove melhor infiltração e armazenamento de água, maior aeração, menor resistência ao crescimento de raízes e melhores condições para o desenvolvimento da biota do solo e das plantas (Bayer, 2004). O macroagregado também está relacionado com a proteção do carbono oriundo do fluxo contínuo da decomposição dos resíduos culturais (Sá et. al., 2001). Os sistemas de manejo, que usam o preparo do solo para a produção vegetal, constituem-se no principal fator da perda de carbono para a atmosfera (Santos, 2010).

A Matéria orgânica tem um papel fundamental na capacidade de troca catiônica (CTC) em solos do Cerrado, contribui com 80 a 90 % da CTC das camadas superficiais de solos minerais (Oorts et al., 2003).

Em solos intemperizados, com cargas variáveis e fração argila dominada por caulinita e oxihidróxidos de Fe e Al, a contribuição da MOS é maior. Ao promover o aumento da CTC-dependente de pH, a matéria orgânica promove a adsorção de cátions trocáveis mediante neutralização do  $H^+$  dos grupos funcionais orgânicos proporcionada pela calagem, e aumentando a saturação por base no complexo coloidal.

## 2.4 Cargas elétricas em solos intemperizados como os do Cerrado: influência da matéria orgânica

Os solos tropicais apresentam elevado grau de intemperismo, com mineralogia da fração argila dominada por minerais silicatados tipo 1:1 e óxidos insolúveis de ferro e de alumínio (Resende et al., 1995).

Em relação às cargas originadas nas argilas, observa-se uma diferenciação entre cargas variáveis e cargas permanentes. Por ação do intemperismo ocorrem o decréscimo das cargas permanentes e o aumento das cargas variáveis. As cargas variáveis representam mais de 70% das cargas totais em amostras da superfície de Latossolos (Weber et al., 2005).

As cargas permanentes desenvolvem-se na superfície da partícula sólida do solo por substituição iônica, e as variáveis, por meio de dissociação e associação de prótons ( $H^+$ ) e adsorção específica de cátions e ânions.

Em solos intemperizados, as cargas positivas podem exceder as negativas. A fonte dessas cargas positivas é a protonação dos grupos superficiais  $OH^-$ . Esse fenômeno que ocorre em camadas mais profundas desses solos ( $> 0,5$  m) é conhecido por “reversão de cargas” e está normalmente associado aos baixos teores de matéria orgânica nas camadas mais profundas do solo (Alleoni et al., 2009). Ainda de acordo com esses autores, elevados teores de MO proporcionam valores mais altos de carga elétrica negativa no horizonte superficial do que no subsuperficial de solos altamente intemperizados.

As cargas negativas da matéria orgânica são provenientes da dissociação de íons  $H^+$  de grupos orgânicos diversos e que apresentam constantes de dissociação diferenciadas. Estima-se que mais de 55% da CTC das substâncias húmicas seja devida à desprotonação dos grupos carboxílicos, que ocorre em baixos valores de pH ( $pK_a < 5$ ). Acima de pH 7,0, os grupos quinona, fenólicos e enólicos contribuem para cerca de 30% da CTC das substâncias húmicas (Sposito, 1989).

O efeito da matéria orgânica na geração de cargas negativas do solo é complexo e depende não só da quantidade, mas também da qualidade da matéria orgânica predominante numa determinada camada do solo. Dessa forma, sistemas conservacionistas podem elevar os teores de MOS e, conseqüentemente, contribuir com a diminuição do ponto de equilíbrio de cargas no solo ou ponto de carga zero, gerando cargas negativas na faixa de acidez dos solos intemperizados do Cerrado.

## 2.5 Ponto de Efeito Salino Nulo

Há várias denominações para expressar o ponto de equilíbrio entre cargas negativas e positivas superficiais do solo. O ponto de carga zero (PCZ) foi primeiramente definido por Schofield (1949) como o pH em que a carga líquida de um solo é igual a zero. O PCZ é uma propriedade do solo que possibilita determinar o potencial da dupla camada elétrica e com esse potencial é possível determinar a distribuição de cargas elétricas dos solos (Raij, 1973; Sakurai et al., 1989).

O ponto de efeito salino nulo (PESN) foi proposto como sendo o valor de pH obtido no cruzamento de curvas de titulação potenciométrica, realizadas sobre diferentes concentrações de eletrólitos (Alleoni & Camargo, 1992). Alguns autores diferenciam o PCZ como sendo o ponto no qual o balanço entre todas as cargas, inclusive as permanentes, seriam igual a zero, e o PESN estaria relacionado somente com as cargas variáveis. Todavia, em solos que não apresentam argila de atividade alta, o PESN tem seu valor próximo ao PCZ e, portanto, o PESN torna-se um bom parâmetro eletroquímico (Benites & Mendonça, 1998). Essa condição é observada em solos tropicais, sobretudo em Latossolos, compostos quase que exclusivamente por cargas variáveis (Uehara & Gillman, 1980). O PESN é, portanto, um dos parâmetros mais importantes para a descrição dos fenômenos eletroquímicos de solos com cargas variáveis (Alleoni et al., 2009).

O valor do PESN é influenciado pelos constituintes do solo como as argilas silicatadas, a matéria orgânica, os óxidos de ferro e alumínio e os materiais amorfos (Raij, 1973). Os óxidos de ferro e de alumínio têm PESN mais elevado, enquanto as argilas silicatadas e a matéria orgânica têm PESN mais baixo. Isso indica que solos mais intemperizados apresentam maiores valores de PESN em decorrência de sua mineralogia mais oxídica (Alves et al., 2002). A matéria orgânica, pelo fato de apresentar naturalmente PESN com valores baixos, faz com que o horizonte A frequentemente apresente PESN mais baixo que o horizonte B dos solos (Chaves & Trajano, 1992).

O estudo da diferença entre o PESN e o pH do solo determina o sinal da carga variável presente. Quando o pH do solo for menor que o PESN, os sítios de carga variável carregam-se positivamente, facilitando a retenção aniônica. Inversamente, se o pH do solo for maior que o PESN, desenvolvem-se cargas negativas e favorece a troca catiônica.

Alguns trabalhos concluem que em solos intemperizados o aumento do teor de óxidos em decorrência do intemperismo resulta em alterações similares nos valores de PESN e pH. Isso é destacado por Hendershot & Lavkulich (1978) que concluem que existe uma diminuição

progressiva na diferença entre os valores desses atributos à medida que os solos tornam-se mais evoluídos.

Estudos com Latossolos revelam que a matéria orgânica, principal fonte de cargas negativas no solo, teve grande influência sobre os valores do PESN. Segundo Siqueira et al. (1990) a matéria orgânica provoca o abaixamento do PESN. Correlações negativas foram obtidas entre os valores de PESN e carbono orgânico (Iglesias et al., 2007).

Os teores de matéria orgânica nem sempre estão correlacionados com os valores de PESN no perfil do solo. Embora haja consenso em relação ao abaixamento do PESN do solo promovido pela matéria orgânica, segundo Dynia & Camargo (1998), essa correlação pode não ser detectada.

Casagrande et al. (2003), estudando a adsorção de fosfato e sulfato em solos com cargas elétricas variáveis constataram que o menor teor de matéria orgânica em camadas mais profundas, com PESN mais elevado, proporcionou maior capacidade de adsorção de ânions. No PESN do solo os óxidos apresentam carga positiva, enquanto a matéria orgânica e parte das argilas silicatadas apresentam carga negativa. A ação da matéria orgânica está associada ao recobrimento dos óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, bloqueando os sítios de adsorção de sua superfície e reduzindo sua capacidade de adsorver ânions (Couto et. al. 1979). O conhecimento sobre as cargas que predominam em solos intemperizados é de grande importância para o manejo da fertilidade do solo. Esse conhecimento pode contribuir com a redução das perdas de cátions e de anions por lixiviação.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Localização e Caracterização da Área Experimental

Foram utilizadas amostras de um experimento instalado em um Latossolo Vermelho de textura argilosa no campo experimental da Embrapa Cerrados, localizada em Planaltina-DF (15°35'30"S e 47°42'00"W e altitude de 1.014 m). Trata-se de um experimento de longa duração iniciado em 1996.

O clima da região corresponde ao tipo Aw (tropical chuvoso), segundo classificação de Köppen, com presença de invernos secos e verões chuvosos.

#### 3.2 Sistemas de Manejo Estudados

Do experimento composto por dezesseis tratamentos, foram selecionados três sistemas de manejo do solo e um sob vegetação nativa de cerrado, contígua a área experimental, tida como ambiente de referência. O experimento foi projetado para estudar a dinâmica de sistemas de preparo do solo e rotação de culturas.

Os tratamentos selecionados foram:

1) Grade pesada – preparo do solo anualmente com grade pesada e cultivo de leguminosas há dezesseis anos.

2) Sistema plantio direto com rotação anual – a área foi preparada com arado de discos nos dois primeiros anos e arado de aivecas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se o plantio direto, com alternância anual de gramíneas e leguminosas.

3) Pastagem – a área foi preparada com arado de discos nos dois primeiros anos (e utilização de gramínea) e arado de aivecas nos dois anos seguintes (com uso de leguminosa). A partir do quinto ano, implantou-se pastagem *Brachiaria brizantha*.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com três repetições. Cada parcela experimental ocupa uma área de 22 m de comprimento e 18 m de largura. O histórico do experimento está resumidamente apresentado na Tabela 7.

A leguminosa e a gramínea utilizadas, respectivamente, foram soja e milho. A soja foi plantada no espaçamento de 45 cm entre linhas e 15 plantas por metro. As sementes foram inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum*, utilizando-se as estirpes SEMIA 5080 e SEMIA 5079,

na concentração de 0,5 kg de inoculante para cada 40 kg de sementes. A adubação de plantio, comum a todos os tratamentos com soja, foi de 400 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 0-20-20.

O milho foi plantado no espaçamento de 90 cm entre linhas. A adubação de plantio foi de 350 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 04-30-16 e a adubação de cobertura ocorreu em duas etapas: quando o milho apresentava 4 a 6 folhas e 10 a 12 folhas definidas, aplicando 63 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio em cada etapa.

A pastagem utilizada foi a *Brachiaria brizantha*, plantada com espaçamento de 45 cm entre linhas e 25 kg de sementes por hectare. A adubação utilizada é 20 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, cuja fonte foi o superfosfato simples, 50 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, tendo como fonte o cloreto de potássio e 50 kg ha<sup>-1</sup> de N (sulfato de amônio). A pastagem não é submetida a pastejo animal. São realizados dois cortes manuais por ano, sendo um em fevereiro/março e outro em julho/agosto.

A amostragem do solo foi realizada em fevereiro de 2012, no décimo sexto ano do experimento, em duas profundidades: 0,0-0,05 m e 0,80-1,00 m. Em cada parcela, cinco subamostras deformadas coletadas aleatoriamente formaram uma amostra composta, que se constituiu na repetição do tratamento.

### 3.3 Determinação dos atributos eletroquímicos do solo

As amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas na peneira de 2 mm, obtendo terra fina seca ao ar (TFSA).

Os valores do PESN foram determinados em duplicatas, adotando-se o procedimento descrito por Raij & Peech (1972) para a obtenção dos dados de titulação potenciométrica. Subamostras de quatro gramas de TFSA foram transferidas para tubos plásticos de 50 ml de capacidade, obtendo um total de 45 tubos. Dividiram-se os recipientes em três grupos, sendo que, cada grupo recebeu 10 mL de solução de cloreto de potássio (KCl) nas concentrações 0,1 mol L<sup>-1</sup>, 0,01 mol L<sup>-1</sup> e 0,001 mol L<sup>-1</sup>. Adicionaram-se aos recipientes de cada série, volumes de HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup> e NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup>, que variaram entre 0,2 a 3 mL. Em seguida, adicionou-se água destilada para completar o volume de 20 ml.

As suspensões permaneceram em repouso por 48 horas e durante esse tempo foram agitadas ocasionalmente. Após esse período, realizou-se a determinação do pH das suspensões.

O valor do PESN foi considerado o valor de pH do ponto de interseção das curvas de titulação obtidas para cada concentração do eletrólito. Para construção das curvas de titulação

potenciométrica e tratamento dos dados obtidos, foi utilizado o programa computacional PESN 1.0, desenvolvido por Alves et al. (2002).

Para um dado pH maior que o PESN, a quantidade de OH<sup>-</sup> adsorvido aumenta com a concentração do KCl, com predomínio de cargas negativas, enquanto que para valores de pH abaixo do PESN, a quantidade de H<sup>+</sup> adsorvido aumenta com a concentração do KCl, com predomínio de cargas positivas (Rajj & Peech, 1972; Lavardiere & Weaver, 1977; Alleoni, 1992; Coringa, 2005)

Foram determinados, ainda, o pH em H<sub>2</sub>O e em solução de KCl 1 mol L<sup>-1</sup>, utilizando a proporção 1:2,5 v/v de solo: extrator. A partir desses valores, foi estimado o ponto de carga zero estimado (PCZ<sub>est</sub>), conforme a equação proposta por Keng & Uehara (1974):

$$PCZ_{est} = 2 \text{ pH}_{KCl} - \text{pH}_{H_2O}$$

O Delta pH ( $\Delta\text{pH}$ ) foi calculado pela diferença entre o pH do solo em KCl e em H<sub>2</sub>O, pela equação:

$$\Delta\text{pH} = \text{pH}_{KCl} - \text{pH}_{H_2O}$$

em que o  $\text{pH}_{KCl}$  é valor do pH do solo em solução de KCl 1 mol L<sup>-1</sup>.

### **3.4 Determinação do carbono orgânico total do solo**

O carbono orgânico do solo foi determinado por combustão úmida. Foi utilizado 0,5 grama de amostras de terra passadas em peneira de 0,5 mm. Estas amostras foram submetidas à oxidação com dicromato de potássio (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) em meio ácido, sem aquecimento externo, e posteriormente tituladas com sulfato ferroso amoniacal.

### **3.5 Análises Estatísticas**

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Também foram utilizadas análises de regressão e determinados os coeficientes de correção linear para as relações entre atributos.



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Carbono Orgânico Total

Os valores de carbono orgânico total (COT) do solo nas duas profundidades sob diferentes sistemas de manejo estão apresentados na tabela 1.

**Tabela 1.** Teor de carbono orgânico total ( $\text{g kg}^{-1}$ ) da camada superficial e subsuperficial do solo sob sistemas de manejo e cerrado nativo.

Sistema	Profundidade (m)	
	0,0 – 0,05	0,80 – 1,00
GP	16,1 Ac <sup>1</sup>	6,1 Ba
PD	15,6 Ac	6,0 Ba
PAST	17,6 Ab	5,8 Ba
CER	22,9 Aa	6,1 Ba

<sup>1</sup> valores seguidos por letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não apresentam diferenças estatísticas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ( $P < 0,05$ ). GP: grade pesada, PD: plantio direto, PAST: pastagem e CER: cerrado.

Na camada superficial, o cerrado nativo apresentou os maiores valores de COT, sendo superior aos sistemas manejados, na seguinte ordem: CER > PAST > GP = PD. Essas diferenças demonstram o efeito das alterações promovidas pelo manejo nos teores de carbono em camadas superficiais do solo no Cerrado. A diminuição dos teores de COT de camadas superficiais decorrente da transformação do Cerrado nativo para sistemas manejados já é bem demonstrada em vários trabalhos realizados na região (Carneiro et al., 2009; Santos, 2010; Figueiredo et al., 2010; Cunha et al., 2012). Ainda na camada superficial, entre os sistemas manejados, a PAST apresentou teores de COT superiores ao PD e a GP. Isso se deve ao fato de as plantas forrageiras depositarem grandes quantidades de material orgânico de maior relação C:N oriundo tanto da parte aérea quanto do sistema radicular (Carneiro et al., 2009). O PD não apresentou maiores teores de COT quando comparado com o sistema convencional, como é verificado em alguns estudos (Carneiro et al., 2009; Freixo et al., 2002).

As condições climáticas que predominam no Cerrado são uma limitação para a manutenção de palhadas nas áreas sob plantio direto não irrigado da região.

Na camada subsuperficial (0,8 – 1,0 m) os sistemas não se diferenciaram quanto aos teores de COT. Isso demonstra que as alterações promovidas pelos sistemas de manejo não afetam as camadas subsuperficiais de Latossolo do Cerrado com relação ao carbono orgânico.

## 4.2 Atributos Eletroquímicos

Os valores do ponto de efeito salino nulo (PESN) do solo em profundidade e em diferentes sistemas de manejo estão apresentados na Tabela 2.

As curvas de titulação potenciométrica dos solos estudados, em três concentrações de KCl (0,1; 0,01; 0,001 mol L<sup>-1</sup>), de onde foram obtidos os valores de PESN, são apresentadas nas Figuras 2 e 3 (Anexo).

**Tabela 2.** Ponto de efeito salino nulo do solo, de camadas superficiais e subsuperficiais, sob sistemas de manejo e cerrado nativo.

Sistema	Profundidade (m)	
	0,0 – 0,05	0,80 – 1,00
GP	3,33 aA <sup>1</sup>	3,35 bA
PD	3,37 aA	3,39 abA
PAST	3,19 bB	3,37 abA
CER	3,29 abB	3,59 aA
Média	3,29 B	3,40 A

<sup>1</sup> valores seguidos por letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não apresentam diferenças estatísticas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (P<0,05). GP: grade pesada, PD: plantio direto, PAST: pastagem e CER: cerrado.

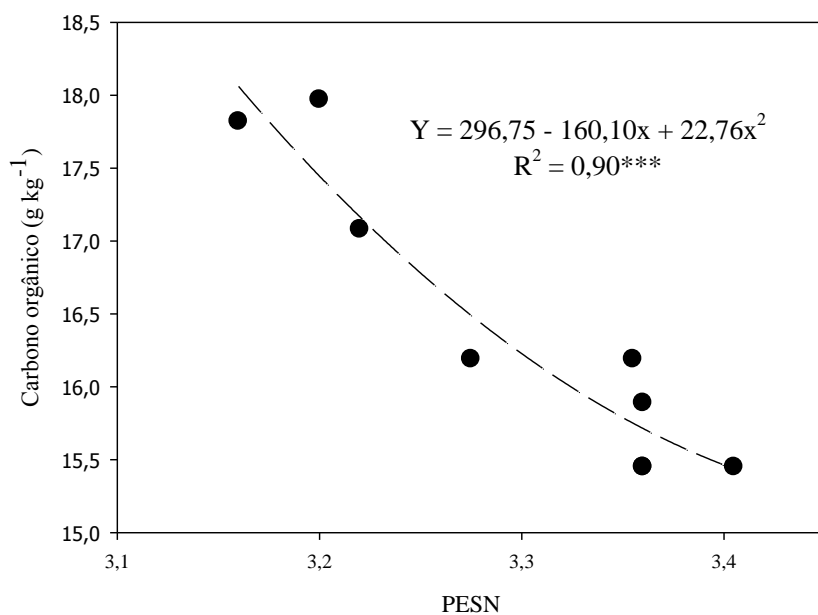
Os valores de PESN variaram na camada superficial entre 3,19 (PAST) a 3,37 (PD) e na camada subsuperficial entre 3,35 (GP) a 3,59 (CER). O valor médio do PESN foi de 3,29 em superfície e de 3,40 em subsuperfície. Essa diferença entre profundidades deve-se possivelmente à redução dos teores de matéria orgânica em profundidade.

Observa-se uma sutil correlação entre os valores de PESN variando inversamente com o teor de carbono. Esses resultados estão de acordo com aqueles encontrados em pesquisas, que salientam que com o teor de carbono orgânico tende a haver diminuição do valor do PESN do solo (Albuquerque et al., 2003; Casagrande et al., 2004 e Iglesias et al., 2007).

O aumento dos valores de PESN em profundidade só ocorreu para os sistemas PAST e CER, coerente com os maiores teores de COT verificados na camada superficial destes sistemas. Para os demais sistemas, além dos menores teores de COT na camada superficial, menores valores de pH (Tabela 4), decorrentes do uso de sulfato de amônio nessa camada, podem ter contribuído para a elevação do PESN. De maneira geral, o pequeno efeito do COT no abaixamento do PESN pode ser resultado da qualidade da MOS dos resíduos culturais que se depositam na superfície do solo. Silva et al. (1996) sugerem que o tipo e o grau de decomposição têm mais efeito, em interações no solo, do que o próprio teor de matéria orgânica. Dessa forma, os altos valores de carbono na fração

particulada da matéria orgânica do solo encontrados nas camadas superficiais desses sistemas (Figueiredo et al., 2010) pode ser a explicação para a pequena contribuição da matéria orgânica no abaixamento dos valores de PESN de camadas superficiais. Outros autores também não verificaram correlação entre os teores de matéria orgânica e os valores de PESN (Dynia & Camargo, 1998; Alves, 2002). Além da qualidade da MOS, o efeito da mineralogia pode ter sido maior do que a influência do COT.

Não obstante essa pequena alteração nos valores de PESN decorrentes de maiores teores de COT, ao se considerar apenas os sistemas manejados, na camada superficial, verificou-se correlação entre aumento dos teores de COT e diminuição do PESN (Figura 1 e Tabela 6). Também em camadas superficiais (0 a 0,2 m) de Latossolos de diversas regiões do Brasil, Dobbss et al. (2008) encontraram forte relação entre os teores de carbono na forma de substâncias húmicas solúveis e o abaixamento do PESN.



**Figura 1** Correlação entre os teores de carbono orgânico e ponto de efeito salino nulo (PESN) na camada superficial (0,00 a 0,05m) de solo sob sistemas de manejo. \*\*\* significativo a 1% de probabilidade ( $P < 0,01$ ).

Os valores do ponto de carga zero estimado ( $PCZ_{est}$ ) (Tabela 3) ficaram próximos aos do PESN. Valores de  $PCZ_{est}$  próximos aos do PESN caracterizam solos altamente intemperizados, cujas cargas elétricas são quase todas dependentes do pH (Benites & Mendonça, 1998). Além disso, como o delta pH foi obtido apenas pelas relações entre pHs, sem a utilização de curvas

potenciométricas, a proximidade com o PESN mostra a boa relação que existe entre essas duas formas de se obter o ponto de “equilíbrio” entre cargas positivas e negativas do solo.

Os efeitos dos sistemas de manejo no  $PCZ_{est}$  só foram verificados na camada superficial, não havendo diferenças entre sistemas na camada subsuperficial. Assim como ocorreu com o PESN, os sistemas com maiores teores de COT (PAST e CER) apresentaram menores valores de  $PCZ_{est}$ . Nestes sistemas, a diminuição dos valores de COT em subsuperfície foi acompanhada de elevação dos valores de  $PCZ_{est}$ .

**Tabela 3.** Valores de pH ( $H_2O$  e KCl) do solo sob sistemas de manejo e cerrado nativo independente da profundidade.

Sistema	pH	
	pH ( $H_2O$ )	pH (KCl)
GP	4,9 a <sup>1</sup>	4,2 ab
PD	5,1 a	4,3 a
PAST	4,9 a	4,0 ba
CER	4,5 b	3,9 c

<sup>1</sup> valores seguidos por letras iguais na coluna não apresentam diferenças estatísticas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ( $P < 0,05$ ). GP: grade pesada, PD: plantio direto, PAST: pastagem e CER: cerrado.

**Tabela 4.** Ponto de carga zero estimado do solo, de camadas superficiais e subsuperficiais, sob sistemas de manejo e cerrado nativo.

Sistema	Profundidade (m)	
	0,0 – 0,05	0,80 – 1,00
GP	3,73 aA <sup>1</sup>	3,31 aA
PD	3,69 aA	3,47 aA
PAST	3,04 bB	3,39 aA
CER	3,08 bB	3,48 aA

<sup>1</sup> valores seguidos por letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não apresentam diferenças estatísticas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ( $P < 0,05$ ). GP: grade pesada, PD: plantio direto, PAST: pastagem e CER: cerrado.

Os valores de delta pH foram semelhantes em ambas as profundidades (Tabela 5). Todos os sistemas apresentaram valores negativos, indicando a predominância de cargas negativas. Entre sistemas de manejo, houve diferença apenas na camada superficial com a PAST apresentando menores valores do que a GP, coerente com os menores valores de PESN encontrados na PAST. O valor do delta pH ( $\Delta pH$ ) é um indicativo da carga líquida no solo (Alleoni, 1992), especialmente em solos de carga variável (Uehara e Gillman, 1981; Tessens e Shamshuddin, 1982), é usado para

caracterização e classificação dos solos e pode exercer grande influência no movimento de cátions e ânions ao longo do perfil pela sua relação com o balanço de cargas (Coringa, 2005).

**Tabela 5** Delta pH ( $\Delta$ pH) do solo, de camadas superficiais e subsuperficiais, sob sistemas de manejo e cerrado nativo.

Sistema	Profundidade (m)	
	0,0 – 0,05	0,80 – 1,00
GP	-0,54 bA <sup>1</sup>	-0,74 aA
PD	-0,63 abA	-0,83 aA
PAST	-0,86 aA	-0,80 aA
CER	-0,82 abA	-0,65 aA

<sup>1</sup> valores seguidos por letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não apresentam diferenças estatísticas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ( $P < 0,05$ ). GP: grade pesada, PD: plantio direto, PAST: pastagem e CER: cerrado.

Correlações negativas foram verificadas entre os teores de COT e o PESN. Porém a correlação negativa do COT foi mais forte com o PCZest (Tabela 6). Este atributo também apresentou forte interação negativa com o Delta pH. Estes resultados reforçam que o PCZest representa um bom atributo para expressar o comportamento das cargas de Latossolo sob sistema de manejo no Cerrado, apresentando a vantagem de sua fácil determinação.

**Tabela 6** Coeficientes de correlação de Pearson (r) entre carbono orgânico e atributos eletroquímicos do solo de duas profundidades sob sistemas de manejo e cerrado nativo.

Atributo do solo	COT <sup>1</sup>	PESN	pH (H <sub>2</sub> O)	pH (KCl)	PCZ <sub>est</sub>
PESN	-0,28				
pH (H <sub>2</sub> O)	-0,86	0,22			
pH (KCl)	-0,83	0,38	0,78		
PCZ <sub>est</sub>	-0,59	0,40	0,41	0,89	
Delta pH	0,47	-0,34	-0,18	-0,68	-0,86

<sup>1</sup>COT: carbono orgânico total; PESN: ponto de efeito salino nulo; PCZ<sub>est</sub>: ponto de carga zero estimado; Delta pH: diferença entre o pH<sub>KCl</sub> e pH<sub>H<sub>2</sub>O</sub>. Todos os coeficientes foram significativo pelo teste F ( $P < 0,05$ ).

**Tabela 7:** Histórico do experimento.

SISTEMA	Ano Agrícola															
	1996/ 1997	1997/ 1998	1998/ 1999	1999/ 2000	2000/ 2001	2001/ 2002	2002/ 2003	2003/ 2004	2004/ 2005	2005/ 2006	2006/ 2007	2007/ 2008	2008/ 2009	2009/ 2010	2010/ 2011	2011/ 2012
GP	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
PD	AD-L	AD-G	AV-L	AV-G	PD-L	PD-G	PD-L	PD-G	PD-L	PD-G	PD-L	PD-G	PD-L	PD-G	PD-L	PD-G
PAST	AD-G	AD-G	AV-L	AV-L	PAST	PAST	PAST	PAST	PAST	PAST	PAST	PAST	PAST	PAST	PAST	PAST
CER	CER	CER	CER	CER	CER	CER	CER	CER	CER	CER	CER	CER	CER	CER	CER	CER

GP: Grade pesada. PD: Plantio direto. PAST: pastagem. CER: cerrado.

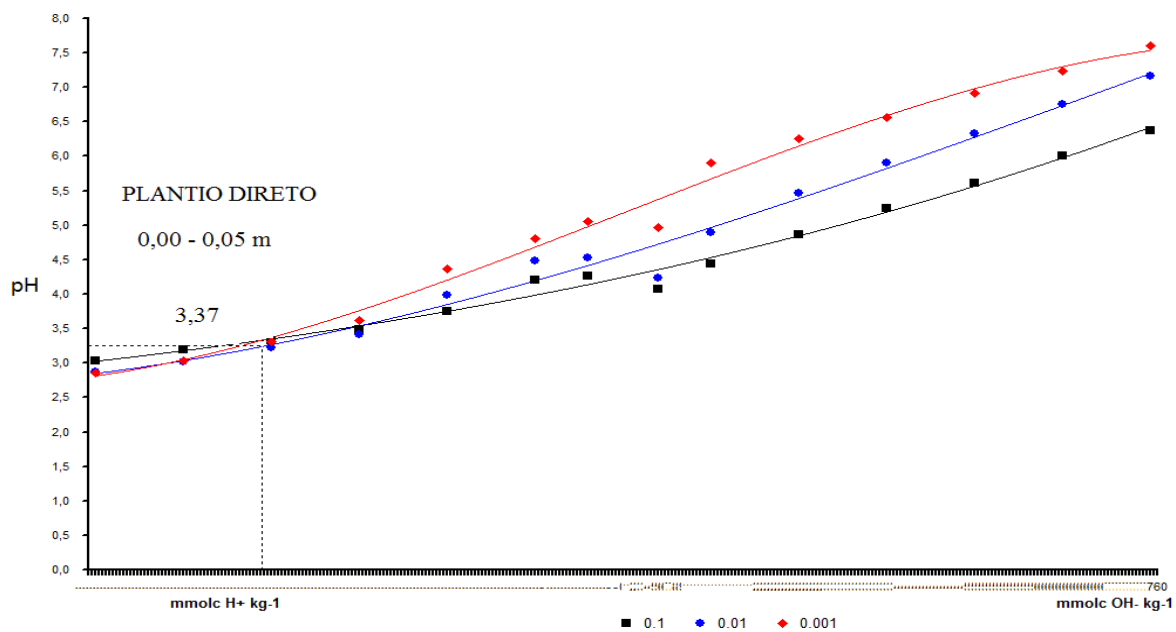
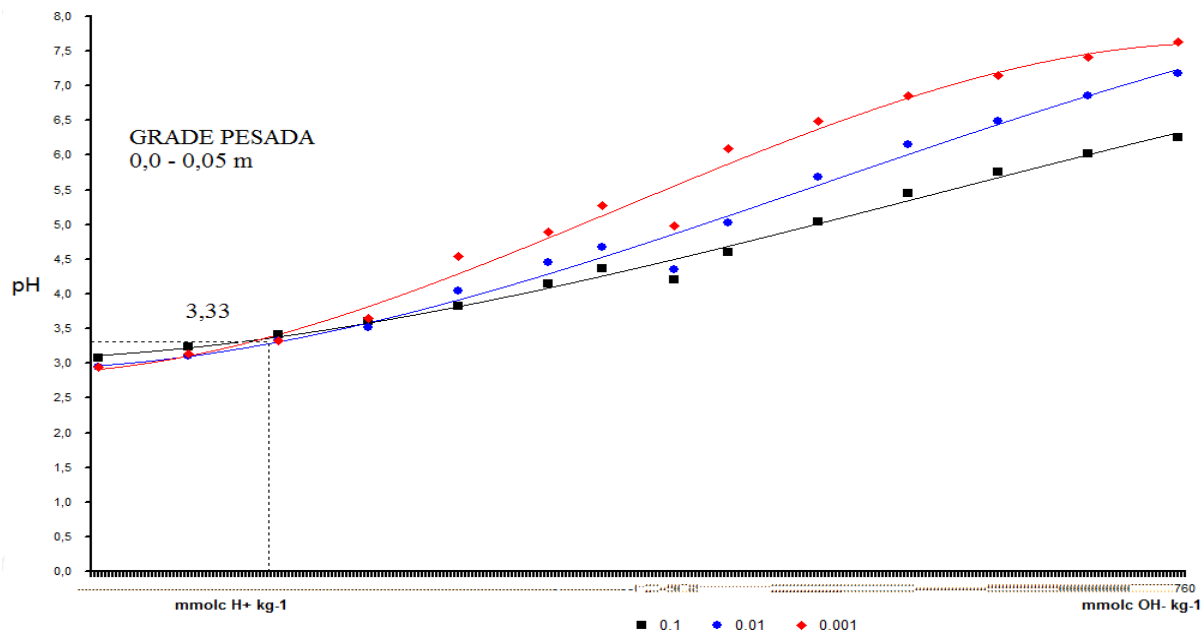
L: leguminosa (soja). G: gramínea (milho). AD: arado de disco. AV: arado de aiveca.

## 5 CONCLUSÃO

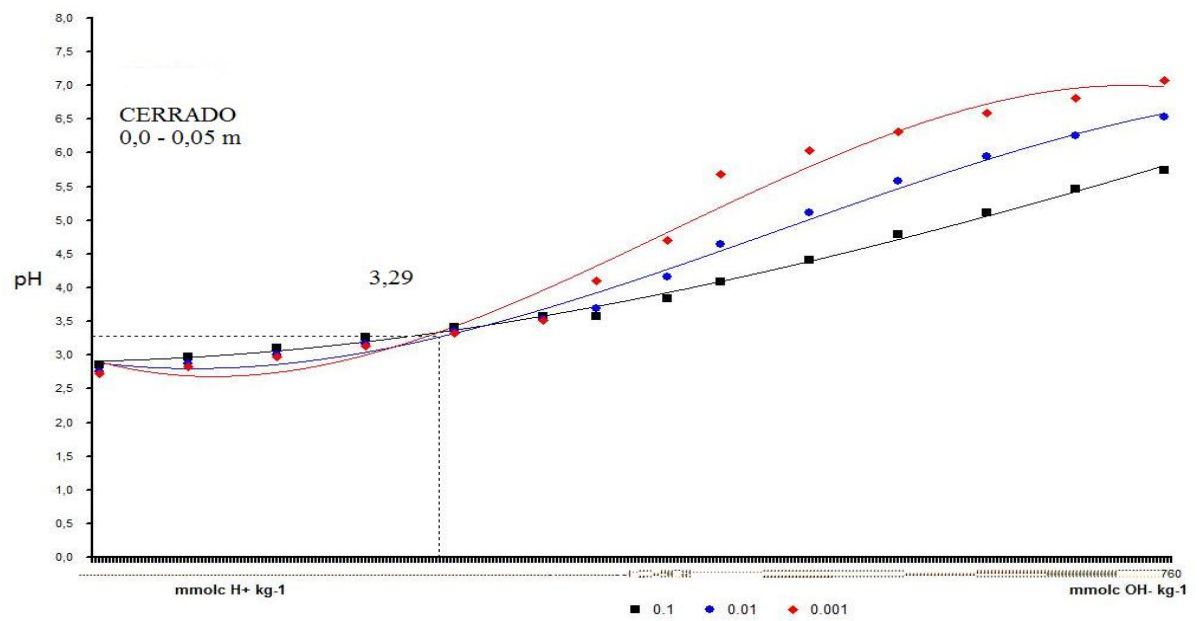
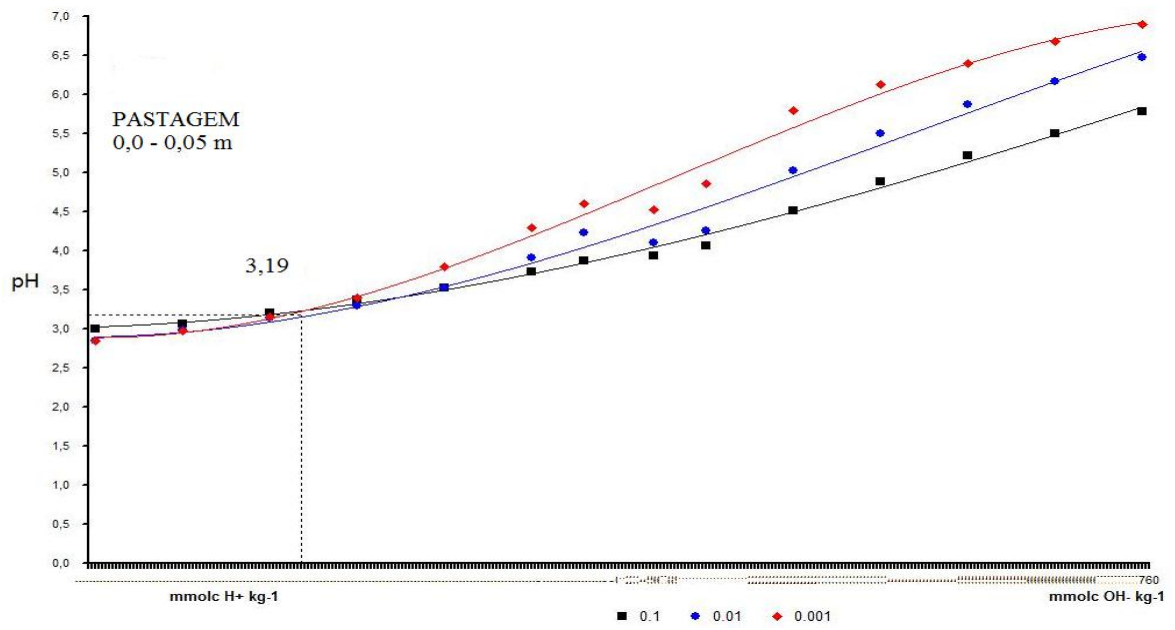
- A matéria orgânica influenciou os atributos eletroquímicos do solo sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado.
- As melhores relações entre matéria orgânica e atributos eletroquímicos foram provenientes do uso do solo por pastagem e do solo sob vegetação natural do cerrado, principalmente nas camadas superficiais.
- Em geral, o ponto de efeito salino nulo variou inversamente com o teor de carbono orgânico.
- As cargas elétricas dos solos estudados são quase todas dependentes do pH e predominantemente negativas

## ANEXO

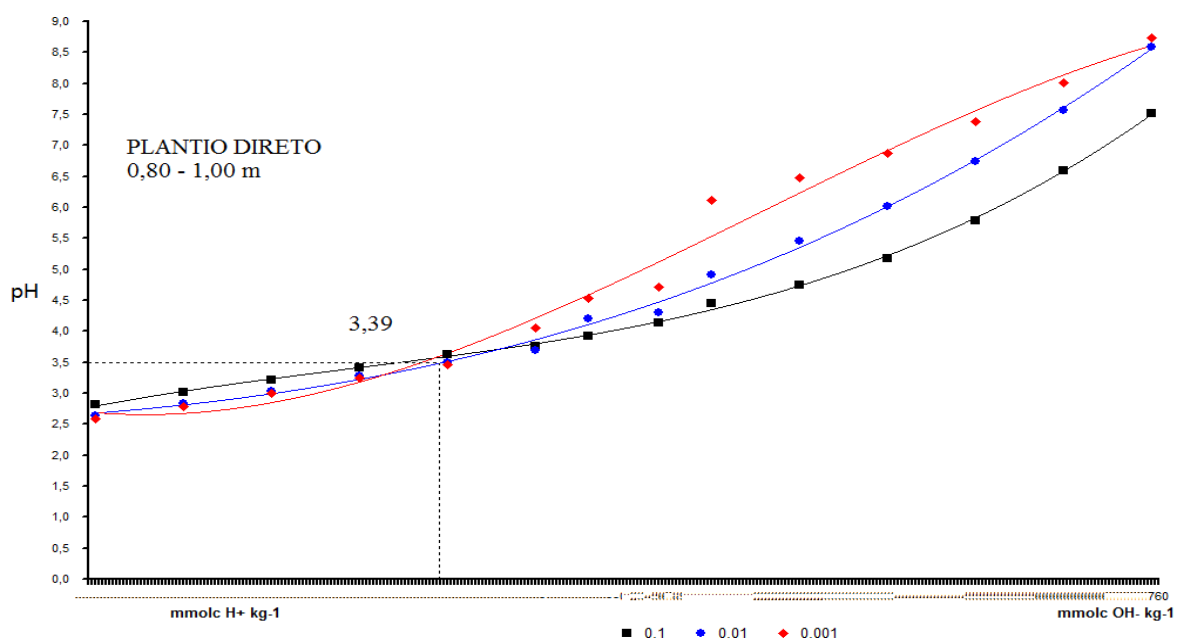
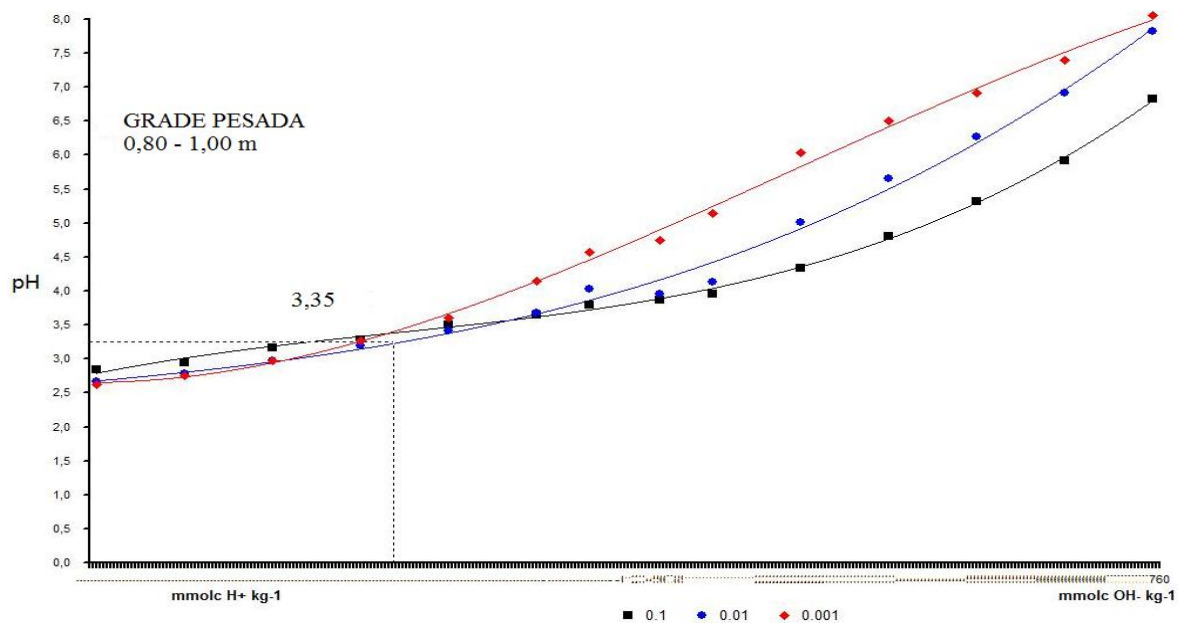
**Figura 2** Curvas de titulação potenciométrica do solo sob diferentes manejos na profundidade de 0,0 – 0,05 m.

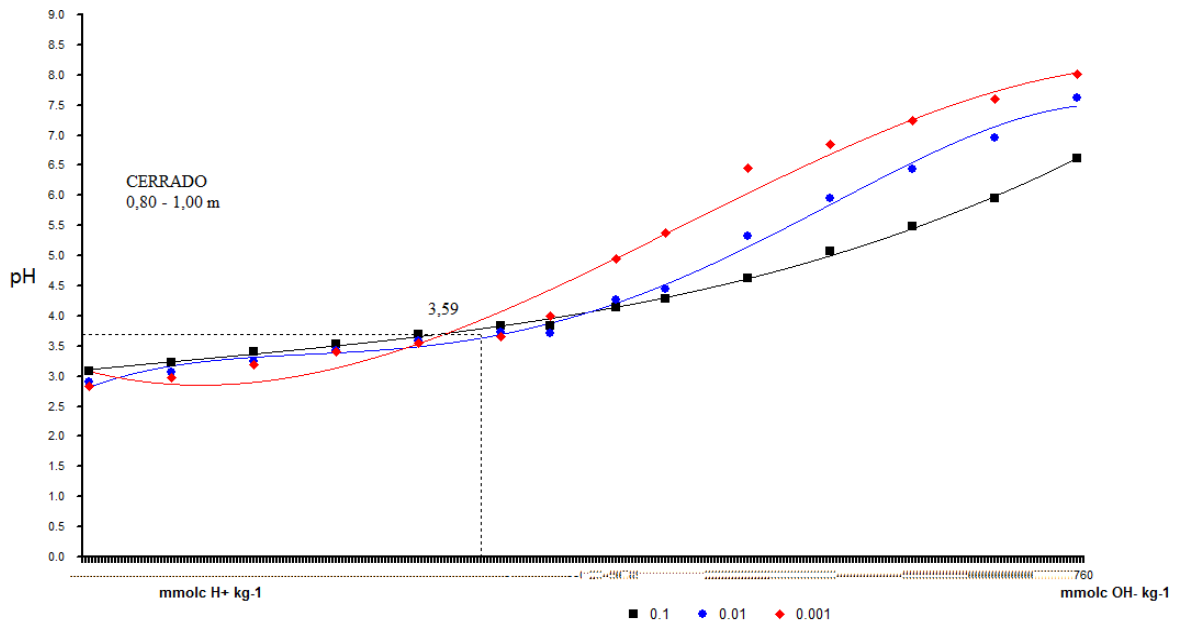
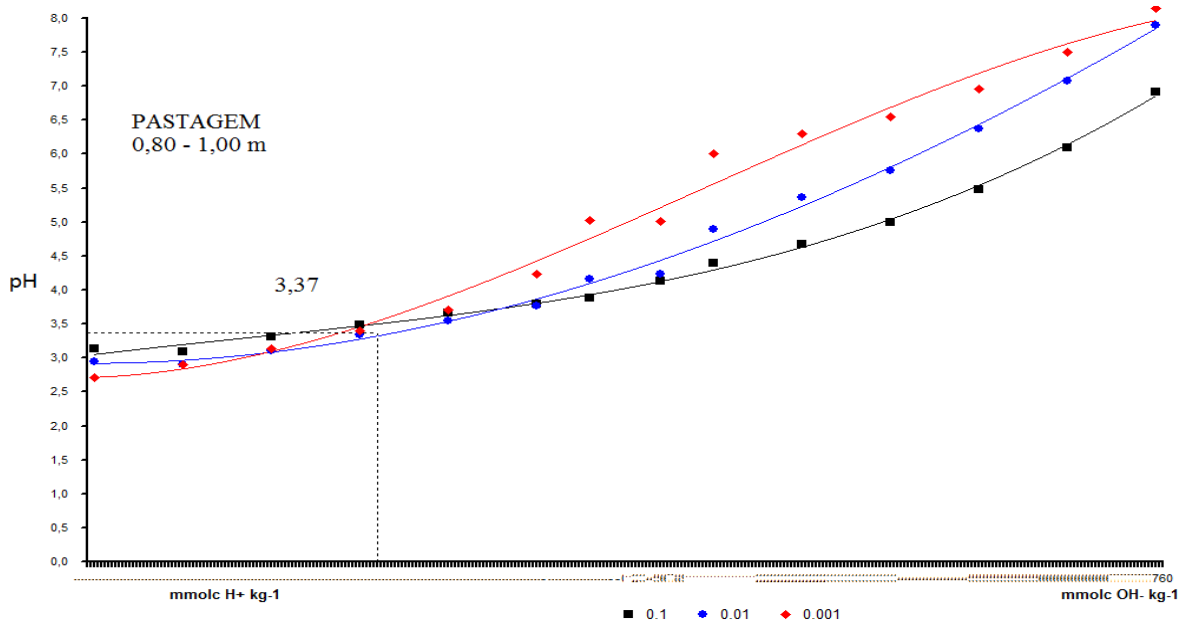






**Figura 3** Curvas de titulação potenciométrica do solo sob diferentes manejos na profundidade de 0,80 – 1,00 m.





## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, L. B.; CARVALHO, G. S.; CURI, N.; GUILHERME, L. R. G.; MARQUES, J. J. G. S. M. (2011). Sorção de selênio em solos do bioma cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 35:1995-2003.

ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; MAFRA, A. L.; FONTANA, E. C. (2003). Aplicação de calcário e fósforo e estabilidade da estrutura de um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 27:799-806.

ALLEONI, L. R. F. (1992). **Atributos eletroquímicos de solos ácidos do norte paulista**. Tese de mestrado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 121 f.

ALLEONI, L. R. F.; CAMARGO, O. A. (1993). Ponto de efeito salino nulo: proposição da nomenclatura. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. 18:5-10.

ALLEONI, L. R. F.; CAMARGO, O. A.; CASAGRANDE, J. C.; SOARES, M. R. (2009). Química dos solos altamente intemperizados. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. Química e mineralogia do solo. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. 2:381-447.

ALVES, M. E.; MACEDONIO, C. R.; LAVORENTI, A. (2002). Ponto de efeito salino nulo: Determinação analítico-computacional a partir de dados de titulação potenciométrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 26:553-559.

AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; CONCEIÇÃO, P. C.; SPAGNOLLO, E.; CAMPOS, B. C.; VEIGA, M. (2006). Potential of carbon accumulation in no-till soils with intensive use and cover crops in Southern Brazil. **Journal of Environmental Quality**. 35:1599–1607.

ATANÁZIO, R. R.; SCHIAVO, J. A.; ROSSET, J. S. (2001). Dinâmica da matéria orgânica em diferentes sistemas de manejo de cana-de-açúcar em solo de cerrado, MS. **Periódicos...**

Disponível em: <periodicos.uems.br/novo/index.php/enic/article/view/743/455> Acesso em: 23 Abr. 2012.

BAERA, M. H.; HENDRIX, P.; COLEMAN, D. (1994). Water stable aggregates and organic matter fractions in conventional and no-tillage soils. **Soil Science Society of America Journal**. 58:777-786.

BAYER, C.; BERTOL, I. (1990). Características químicas de um cambissolo húmico afetadas por sistemas de preparo, com ênfase à matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 23:687-694.

BAYER, C. (2004). Manejando os solos agrícolas para alta qualidade em ambientes tropicais. in.: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 26., Reunião Brasileira sobre Micorrizas, 10., Simpósio Brasileiro de Microbiologia do Solo, 8., Reunião Brasileira de Biologia do Solo, 5., Lages. Fertbio: [avaliação das conquistas: base para estratégias futuras: anais]. Lages: SBCS: UDESC Lages, Departamento de Solos. 1CD-ROM.

BENITES, V. M.; MENDONÇA, E. S. (1998). Propriedades eletroquímicas de um solo eletropositivo influenciadas pela adição de diferentes fontes de matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 22:215-221.

CALONEGO, J. C.; SANTOS, C. H.; TIRITAN, C. S.; CUNHA JÚNIOR, J. R. (2011). Estoques de carbono e propriedades físicas de solos submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Caatinga**. 25:128-135.

CAMPANHOLA, C. (2002). Compromissos internacionais: convenção sobre diversidade biológica. In: MANZATTO, C. V.; FREITAS JUNIOR, E.; PERES, J. R. R. (Ed.). **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Embrapa Solos. p.135-144.

CASAGRANDE, J. C.; ALLEONI, L. R. F.; CAMARGO, O. A.; BORGES, M. (2003). Adsorção de fosfato e sulfato em solos com cargas elétricas variáveis. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 27:51-59.

CASAGRANDE, J. C.; JORDÃO, C. B.; ALLEONI, L. R. F.; CAMARGO, O. A. (2004). Copper desorption in a soil with variable charge. **Scientia Agrícola**. 61:196- 202.

CERRI, C. C. (1989). Dinâmica da matéria orgânica em solos de pastagens. In: simpósio sobre ecossistema de pastagem, Jaboticabal. **Anais... FUNEP, UNESP**. p.135-147.

CHAVES, L. H. G.; TRAJANO, M. D. M. (1992). Determinação do ponto de carga zero e das cargas elétricas do horizonte AP de solos do Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 16:415-418.

CHRISTENSEN, B. T. (1992). Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. **Advances in Soil Sciences**. 20:1-90.

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

Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB. (2011). **Acompanhamento de safra brasileira:** grãos, Quarto levantamento. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11\\_01\\_06\\_08\\_41\\_56\\_boletim\\_graos\\_4\\_o\\_lev\\_safra\\_2010\\_2011..pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_01_06_08_41_56_boletim_graos_4_o_lev_safra_2010_2011..pdf)> Acesso em: 23 Abr. 2012.

Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB. (2012). **Acompanhamento de safra brasileira:** grãos, Sétimo levantamento. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12\\_04\\_11\\_15\\_04\\_18\\_boletim\\_abril\\_2012.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_04_11_15_04_18_boletim_abril_2012.pdf)> Acesso em: 08 Mai. 2012.

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

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

CORAZZA, E. J.; SILVA, J. E. D.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. (1999). Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 23:425-432.

CORINGA, E. A. O. (2005). **Atributos eletroquímicos dos solos de uma topossequência na Microbacia Chico Nunes, Mato Grosso**. Tese de mestrado em agricultura tropical. Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá. 176p.

CORINGA, E. A. O.; WEBER, O. L. S. (2008). Ponto de efeito salino nulo de latossolos da microbacia Chico Nunes, Mato Grosso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 32:441-448.

COSTA, A. C. S.; TORINO, C. A. T.; RAK, J. G. (1999). Capacidade de troca catiônica dos colóides orgânicos e inorgânicos de latossolos do Estado do Paraná. **Acta Scientiarum**. 21:491-496.

COUTO, W.; LATHWELL, D. J.; BOULDIN, D. R. (1979). Sulfate sorption by two Oxisols and one Alfisol of the tropics. **Soil Science**. 127:108-116.

CRUZ, J. C.; KARAM, D.; MONTEIRO, M. A. R.; MAGALHÃES, P. C. A. (2008). **Cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. 517p.

CUNHA, E. Q.; STONE, L. F.; FERREIRA, E. P. B.; DIDONET, A. D.; MOREIRA, J. A. A. (2012). Atributos físicos, químicos e biológicos de solo sob produção orgânica impactados por sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. 16:56-63.

DALMOLIN, R. S. D. (2002). **Matéria orgânica e características físicas, químicas e mineralógicas e espectrais de latossolos de diferentes ambientes**. Tese de doutorado em ciência do solo. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 151p.

DIECKOW, J.; MIELNICZUK, J.; KNICKER, H.; BAYER, C.; DICK, D. P.; KOGELKNABNER, I. (2005). Carbon and nitrogen stocks in physical fractions of a subtropical Acrisol as influence by long-term no-till cropping systems and N fertilization and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilization. **Plant and Soil**. 268: 319-328.

DOBBSS, L. B.; CANELLAS, L. P.; ALLEONI, L. R. F.; REZENDE, C. E.; FONTES, M. P. F.; VELLOSO, A. C. X. (2008). Eletroquímica de latossolos brasileiros após a remoção da matéria orgânica humificada solúvel. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 32:985-996.

DYNIA, J. F.; CAMARGO, O. A. (1998). Effects of liming, green manuring, and phosphate addition on electrochemical attributes of an Oxisol from Central Brazil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. 29:755-762.

FELLER, C.; BEARE, M. H. (1997). Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. **Geoderma**. 79:69-116.

FERNANDES, J. D.; CHAVES, L. H. G.; OLIVEIRA, F. H. T.; FARIAS, D. R. (2008). Ponto de efeito salino nulo e cargas elétricas de solos do estado da Paraíba. **Revista Caatinga**. 21:147-155.

FERREIRA, R. R. M.; FILHO, J. T.; FERREIRA, V. M.; RALISCH, R. (2010). Estabilidade física de solo sob diferentes manejos de pastagem extensiva em cambissolo. **Semina: Ciências Agrárias**. 31:531-538.

FIGUEIREDO, C. C. (2009). **Compartimentos da matéria orgânica do solo sob sistemas de manejo e vegetação natural de cerrado**. Tese de doutorado em Agronomia, área de concentração: solo e água. Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 100p.



FOCUS/Visão Brasil: Pecuária Bovina no Brasil: Maior Produtividade com Menor Impacto Socioambiental. (2010). Disponível em: < [http://www.visaobrasil.org/wp-content/uploads/2010/09/focus\\_julho2010\\_pecuaria1.pdf](http://www.visaobrasil.org/wp-content/uploads/2010/09/focus_julho2010_pecuaria1.pdf)> Acesso em: 08 Mai. 2012.

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

FREIXO, A. A.; MACHADO, P. L. O. A.; GUIMARAES, C. M.; SILVA, C. A.; FADIGAS, F. S. (2002). 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**. 26:425-434.

HENDERSHOT, W. H.; LAVKULICH, L. M. (1978). The use of zero point of charge (ZPC) to assess pedogenic development. **Soil Society of America Journal**. 42:468-472.

HICKMANN, C.; COSTA, L. M.; SCHAEFER, C. E. G. R.; FERNANDES, R. B. A.; ANDRADE, C. L. T. (2012). Atributos físico-hídricos e carbono orgânico de um argissolo após 23 anos de diferentes manejos. **Revista Caatinga**. 25:128-136.

IGLESIAS, C. S. M.; CASAGRANDE, J. C.; ALLEONI, L. R. F. (2007). Efeito da natureza do eletrólito e da força iônica na energia livre da reação de adsorção de níquel em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 31:897-903.

KENG, J. C. W.; UEHARA, G. (1974). Chemistry, mineralogy and taxonomy of Oxisols and Ultisols. **Proceedings of Soil and Crop Science Society**. 33:119-126.

KLUTHCOUSKI, J.; AIDAR, H. (2003). Uso da integração lavoura-pecuária na recuperação de pastagens degradadas. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. (Ed.). **Integração lavoura-pecuária**. Embrapa Arroz e Feijão. p.185-223.

KLUTHCOUSKI, J.; PACHECO, A. R.; TEIXEIRA, S. M.; OLIVEIRA, E. T. (1991). Renovação de pastagens de cerrado com arroz. I – Sistema Barreirão **Documentos** n. 33/Embrapa – CNPAF. ISSN 0101 – 9716.

LANDERS, J. N. (2005). Histórico, característica e benefícios do plantio direto. **Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior**. Brasília, DF: Universidade de Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 113p.

LAVERDIERE, M. R.; WEAVER, R. M. (1977). Charge characteristics of spodic horizons. **Soil Society of America Journal**. 41:505-510.

MARTHA JÚNIOR, G. B.; VILELA, L. (2002). Pastagens no cerrado: baixa produtividade pelo uso limitado de fertilizantes. **Documentos** n. 50/ Embrapa Cerrados. ISSN 1517-5111.

MENDES, I. C.; SOUZA, L. V.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. (2002). Propriedades biológicas em agregados de um LE sob Plantio Convencional e Direto no Cerrado. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento** n. 33/Embrapa Cerrados. ISSN 1676-918X.

MUZILLI, O. (2002) Manejo da matéria orgânica no sistema plantio direto: a experiência no Estado do Paraná. **Informações Agrônomicas**. 100:6-10.

NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (2007). Fertilidade do solo. **Sociedade Brasileira de Ciência do solo**. Viçosa, MG.

NUNES, R. S.; DE SOUSA, D. M. G.; GOEDERT, W. J.; SOARES, J. R. R. (2008). Impacto dos sistemas plantio direto e preparo convencional nas interações da matéria orgânica e fertilidade do solo. In: **II Simpósio Internacional Savanas Tropicais e IX Simpósio**

**Nacional Cerrado.** Disponível em: <[www.cpac.embrapa.br/download/503/t](http://www.cpac.embrapa.br/download/503/t)> Acesso em: 23 Abr. 2012.

OORTS, K.; VANLAUWE, B.; MERCKX, R. (2003). Cation exchange capacities of soil organic matter fractions in a Ferri Lixisol with different organic matter inputs. **Agriculture, Ecosystems & Environment.** 100:161-171.

RAIJ, B. VAN (1973). Determinação do Ponto de Carga Zero em solos. **Bragantia.** 32:337-347.

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

RESCK, D. V. (1997). O Plantio Direto como alternativa de sistemas de manejo e conservação do solo e da água na Região dos Cerrados. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 26. **Anais...** Rio de Janeiro: Embrapa Solos: CBCS. 1 CD-ROM.

RESCK, D. V. S.; FERREIRA, E. A. B.; SANTOS JÚNIOR, J. D. G.; SÁ, M. A. C.; FIGUEIREDO, C. C. In: FALEIRO, F. G.; FARIAS NETO, A. L.(2008). **Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais.** Embrapa Cerrados.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B.; CORRÊA, G. F. (1995). Pedologia: base para a distinção de ambientes. **Revista Brasileira de Ciências do Solo.** 31:897-903.

RIBEIRO, B. T.; LIMA, J. M. L.; CURI, N.; OLIVEIRA, G. C.; LIMA, P. L. T. (2011). Cargas superficiais da fração argila de solos influenciadas pela vinhaça e fósforo. **Química Nova.** 34:5-10.

RONQUIM, C. C. (2010). Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento** n. 8/ Embrapa Monitoramento por Satélite, ISSN 1806-3322.

SÁ, J. C. M.; LAL, R. (2009). Stratification ratio of soil organic matter pools as an indicator of carbon sequestration in a tillage chronosequence on a Brazilian Oxisol. **Soil and Tillage Research**. 103:46-56.

SÁ, J. C. M.; CERRI, C. C.; LAL, R.; DICK, W. A.; VENZKE FILHO, S. P.; PICCOLO, M.; FEIGL, B. (2001). Organic matter dynamics and sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society of America Journal**. 65:1486-1499.

SAKURAI, K.; OHDATE, Y.; KYUMA, K. (1989). Factors affecting zero point of charge (ZPC) of variable charge soils. **Soil Science and Plant Nutrition**. 35:21-31.

SANTOS JUNIOR, J. D. G.; DE SÁ, M. A. C.; REIN, T. A. (2006). Qualidade física do solo em sistema de preparo convencional e plantio direto em Latossolo do Cerrado. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento** n. 171/ Embrapa Cerrados. ISSN 1676-918X.

SANTOS, J. B. (2010). **Carbono e nitrogênio em classes de solos com diferentes texturas e tempo de adoção do sistema plantio direto - espacialização e contribuição do sistema**. Tese de doutorado em produção vegetal. Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 145p.

SCHOFIELD, R. K. (1949). Effect of pH on electric charges carried by clay particles. **Soil Science**. 1:1-8.

SILVA, M. L. N.; CURI, N.; MARQUES, J. J. G. S. M.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M. (1996). Ponto de Efeito Salino nulo e suas relações com propriedades mineralógicas e químicas de latossolos brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 31:663-671.

SIQUEIRA, C.; LEAL, J. R.; VELLOSO, A. C. X.; SANTOS, G. A. (1990). Eletroquímica de solos tropicais de carga variável: II. Quantificação do efeito da matéria orgânica sobre o ponto de carga zero. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**.14:13-17.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (2004). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2ª edição. Embrapa Informação Tecnológica. Brasília, 416p.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E.; REIN, T. A. (2005). Uso de gesso agrícola nos solos do cerrado. **Circular técnica** n. 32/Embrapa Cerrados. ISSN 1517-0187.

SOUZA, E. D.; COSTA, S. E. V. G. A.; ANGHINONI, I.; CARVANHO, P. C. F.; ANDRIGUETI, M.; CAO, E. (2009). Estoques de carbono orgânico e de nitrogênio no solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 33:1829-1836.

SOUZA, E. D.; COSTA, S. E. V. G. A.; LIMA, C. V. S.; ANGHINONI, I.; MEURER, E. J.; CARVALHO, P. C. F. (2008). Carbono orgânico e fósforo microbiano em sistema de integração agricultura-pecuária submetido a diferentes intensidades de pastejo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 32:1273-1282.

SPOSITO, G. (1989). **The chemistry of soils**. New York, Oxford University Press. 277p.

STEVENSON, F. J. (1994). **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. 2.ed. New York, **John Wiley & Sons**. 496p.

TESSENS, E.; SHAMSHUDDIN, J. (1982). Characteristics related to charges in Oxisols of Peninsular Malaysia. **Pedologie**. 32:85-100.

TRECENTI, R. (2009). **Sistema plantio direto**. Disponível em: <  
<http://www.diadecampo.com.br/zpublisher/materias/Materia.asp?id=20779&secao=Colunas%20Assinadas>> Acesso em: 08 Mai. 2012.

UEHARA, G.; GILLMAN, G. P. (1980). Charge characteristics of soils with variable and permanent charge minerals: I Theory. **Soil Science Society of America Journal**. 44:250-252.

UEHARA, G.; GILLMAN, G. P. (1981). **The mineralogy, chemistry and physics of tropical soils with variable charge clays**. Westview Press. 170p.

VENDRAME, P. R. S.; BRITO, O. R.; QUANTIN, C.; BECQUER, T. (2007). Disponibilidade de cobre, ferro, manganês e zinco em solos sob pastagens na região do cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 42:859-864.

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