

**Universidade de São Paulo  
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”  
Centro de Energia Nuclear na Agricultura**

**Efeito temporal da cultura da soja nos atributos físico-químicos do solo no  
Estado do Mato Grosso**

**Eduardo Jacusiel Miranda**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em  
Ecologia Aplicada

**Piracicaba  
2007**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**Eduardo Jacusiel Miranda**  
**Engenheiro Agrônomo**

**Efeito temporal da cultura da soja nos atributos físico-químicos do solo no Estado do Mato Grosso**

Orientador:  
Prof. Dr. **PLÍNIO BARBOSA DE CAMARGO**

**Dissertação apresentada para obtenção do título de  
Mestre em Ecologia Aplicada**

**Piracicaba**  
**2007**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Miranda, Eduardo Jacusiel  
Efeito temporal da cultura da soja nos atributos físico-químicos do solo no Estado do  
Mato Grosso / Eduardo Jacusiel Miranda. - - Piracicaba, 2007.  
86 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2007.  
Bibliografia.

1. Carbono 2. Cronossequências 3. Isótopos 4. Soja 5. Solos – Propriedades físico-  
químico I. Título

CDD 633.34

**“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”**



para meus Pais

e

**à Beleza da Vida**

## AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Dr. Plínio Barbosa de Camargo, pela orientação e acompanhamento nesta nova etapa.

À Dr. Janaina Braga do Carmo cuja ajuda possibilitou que esse trabalho fosse mais que uma boa intenção, pela orientação, acolhida em Piracicaba, boa vizinhança e trocas gastronômicas. Ao Paulo e ao Joca pela descontração, companheirismo, alegria e assistência técnica em assuntos aleatórios!

Ao Prof. Dr. Eduardo Guimarães Couto, pela orientação e apoio logístico e a Dra. Marisa de Cássia Piccolo pela ajuda nas análises e orientação.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento do projeto de pesquisa.

À Fundação de Amparo e Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela bolsa de mestrado que permitiu a realização deste trabalho.

Ao Luciano, Pedro e Lorena Maraschin por ter cedido a Fazenda Pejuçara e pela calorosa recepção e ajuda nas coletas de campo.

Ao pessoal do Laboratório; Fabiana, Eloise, Grasielle, Lívia, Diego, Daiana, Simoni e Andréia, sem cuja ajuda esse trabalho ainda estaria na fase de Laboratório. E ao Jadson e Amanda pela ajuda na coleta de campo.

Ao pessoal itinerante da sala, incluindo aí a minha recente coleguinha de baia Cristina, pela companhia, boa convivência e divertimento.

À Xanda com o segundo abraço mais gostoso de todo o Laboratório da Ecologia Isotópica.

À Piracicaba, terra das pamonhas fresquinhas, e as pessoas aqui encontradas, carinhosamente a Isa, pela acolhida que tanto me ensinou.

À Galerinha do Vôlei de areia, em especial a MichelAAA e MichellEEE, Tatiana e Zé Mauro, pelas horas de descontração, divertimento e lembranças da infância em que se podia rolar na areia sem precisar de desculpa.

Aos grandes parceiros, Netão, CV, Vadico e outros irmãos da rocha, fiéis companheiros que guardam a sua vida por um fio de 10,2 mm de espessura.

As “Tias” do Rucas, sempre bem humoradas e prontas para alegrar o almoço com um sorriso verdadeiro.

Aos antigos colegas e amigos da UFMT que cultivam o espírito infantil e “open up” da descoberta!

E a todos aqueles que eu esqueci de mencionar, mas que com toda a certeza foram indispensáveis para que este momento chega-se, fica aqui o meu Muito Grande Obrigado.

À Maria “Caçadora” companheira, amiga e amada perola (bem branquinha) aqui encontrada, palavras adequadas me faltam, mas por sorte, são completamente desnecessárias!

Grande Abraço, Bons Ventos e obrigado por Tudo

Eduardo



## Stages

As every flower fades and as all youth  
Departs, so life at every stage,  
So every virtue, so our grasp of truth,  
Blooms in its day and may not last forever.  
Since life may summon us at every age  
Be ready, heart, for parting, new endeavor,  
Be ready bravely and without remorse  
To find new light that old ties cannot give.  
In all beginnings dwells a magic force  
For guarding us and helping us to live.

Serenely let us move to distant places  
And let no sentiments of home detain us.  
The Cosmic Spirit seeks not to restrain us  
But lifts us stage by stage to wider spaces.  
If we accept a home of our own making,  
Familiar habit makes for indolence.  
We must prepare for parting and leave-taking  
Or else remain the slaves of permanence...

Even the hour of our death may send  
Us speeding on to fresh and newer spaces,  
And life may summon us to newer races.  
So be it, heart: bid farewell without end.

(Magister Ludi)  
Herman Hess

## SUMÁRIO

RESUMO .....	8
ABSTRACT .....	10
1 INTRODUÇÃO .....	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	16
2.1 Área de estudo e a cultura da soja .....	16
2.2 Alterações nas características físicas do solo .....	18
2.3 Alterações nas características químicas do solo .....	19
3 MATERIAL E MÉTODOS .....	26
3.1 Localização e descrição da área .....	26
3.2 Amostragem de solo .....	29
3.3 Análises químicas e físicas .....	30
3.4 Cálculos dos estoques .....	32
3.5 Análise estatística .....	33
4 RESULTADOS .....	34
4.1 Características físicas .....	34
4.2 Características químicas .....	36
5 DISCUSSÃO .....	56
5.1 Características físicas .....	56
5.2 Características químicas .....	58
6 CONCLUSÕES .....	69
REFERÊNCIAS .....	70
APÊNDICE .....	77

## RESUMO

### **Efeito temporal da cultura da soja nos atributos físico-químicos do solo no Estado do Mato Grosso**

A humanidade como conhecemos hoje é totalmente dependente da agricultura de grande escala. Estamos chegando próximo ao esgotamento de novas áreas para ampliação ou substituição de áreas agrícolas. Isso torna premente uma avaliação da sustentabilidade dos agroecossistemas a fim de averiguar se eles estão aptos a continuar sua função de prover alimentos a uma população crescente. Este trabalho tem como foco os aspectos físicos e químicos do solo com visão restrita aos processos internos do sistema produtivo, sem uma avaliação da sustentabilidade de toda a cadeia produtiva. O objetivo do presente projeto foi estudar o efeito temporal da cultura da soja nos atributos físicos e químicos do solo, quando uma vegetação de Cerrado é substituída pela atividade agrícola. Utilizando para tanto uma cronoseqüência de 5 áreas agrícolas com tempo de cultivo de 4 anos (C4D3) 12 anos (C12D5) 13 anos (C13D12) 14 anos de cultivo de grãos e 8 anos de cultivo de pastagem (C14P8) e 23 anos (C23D12) tendo como linha de base para comparação uma área sob Cerrado (CE). Todas as áreas apresentaram relevo plano e mesmo tipo de solo (LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico de textura argilosa) sendo a distância máxima entre elas de 3,4 km e pertencente ao mesmo produtor localizado a 30 km ao sul da cidade de Sorriso MT (12°42'41''S 55°53'38''W). Em cada área foram coletadas amostras para análises física e química do solo em cinco perfis diferentes nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 30, 30 a 50, 50 a 75 e 75 a 100 cm. Foram analisados os teores de macronutrientes, com exceção do enxofre, e de micronutrientes, com exceção do cloro e molibdênio. Ademais foi determinada a textura, densidade e abundância natural do isótopo  $\delta^{13}\text{C}$  que permitiu o cálculo do carbono (C) proveniente de plantas C3 ( $\text{C}_{\text{C3}}$ ) e o C proveniente de plantas C4 ( $\text{C}_{\text{C4}}$ ). Com essas análises foram quantificados os estoques de C,  $\text{C}_{\text{C3}}$ ,  $\text{C}_{\text{C4}}$  e nitrogênio (N). O estoque total de C de 0 a 100 cm aumentou com o tempo de cultivo a uma taxa média de  $0,80 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , sendo que na área que teve o maior acúmulo a taxa foi de  $1,09 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . Grande parte desse aumento no estoque de C se deve ao acúmulo de  $\text{C}_{\text{C4}}$  que apresentou uma taxa de acúmulo médio de  $0,77 \text{ Mg C}_{\text{C4}} \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  na camada de 0 a 50 cm. Quanto ao estoque de  $\text{C}_{\text{C3}}$  de 0 a 100 cm na média não houve alterações com o tempo de cultivo sendo os pontos extremos o C14P8 com variação no estoque a uma taxa de  $-0,41 \text{ Mg C}_{\text{C3}} \text{ ha}^{-1}$

ano<sup>-1</sup> e o C23D12 com aumentou no estoque de 0,52 Mg C<sub>C3</sub> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Ocorreu substituição de C<sub>C3</sub> oriundo do Cerrado por C<sub>C4</sub> proveniente das culturas C4, mas também houve um acúmulo de C<sub>C3</sub> proveniente das culturas C3 (no caso soja). A variação no estoque de N não se correlacionou com o tempo de cultivo. O cultivo do solo aumentou o pH e as concentrações de fósforo, potássio, magnésio, cálcio, boro, zinco e cobre e diminui a concentração de ferro, manganês e alumínio tóxico. No quesito balanço nutricional e de carbono o sistema agrícola adotado não só manteve as qualidades originais do solo como aumentou o teor de grande parte dos elementos essenciais ao crescimento das plantas mostrando ser sustentável dentro de uma visão restrita aos processos de balanço nutricional internos do sistema produtivo.

Palavras-chave: Solo, Soja, Atributos físicos-químicos, Carbono, Isótopos, Mato Grosso

## ABSTRACT

### **Temporal effect of the soybean cultivation in the physical-chemical properties of the Mato Grosso state soil.**

Humanity as we know today is totally dependent in the large scale agriculture. We are getting close to the point where it will no longer be possible to expand or substitute agriculture areas. Making an evaluation of the agriculture system sustainability very important, to verify if they are fit to maintain there function as a food provider for a growing population. This work focus on the soil physical and chemical aspect with a restricted vision on the internal farm process, without an evaluation of the entire production chain. The object off this work was to study the temporal effect of the soybean cultivation in the physical and chemical soil properties when a typical Cerrado vegetation is replaced by agriculture. Five agriculture areas with different cultivation time, i.e. 4 years (C4D3), 12 years (C12D5), 13 years (C13D12), 14 years of grain production and 8 years of pasture (C14P8) and 23 years (C23D12) where compared to a nearby Cerrado plot. All plots had the same soil type (LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico de textura argilosa) and relief, being the maximum distance between plots 3.4 km. They all belong to the same farmer located approximately 30 km south of the city Sorriso in the Mato Grosso state (12° 42' 41" S 55° 53' 38" W). In each plot five soil sampling pits where made, soil sampling was done at the 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-50, 50-75 and 75-100cm depth. All major nutrients, with the exception off hydrogen, oxygen and sulfur and all minor nutrient, with the exception off chlorine and molybdenum where analyzed. Soil texture and <sup>13</sup>C natural abundance, that permitted the calculation off the C3 plants carbon (C<sub>C3</sub>) and the C4 plants carbon (C<sub>C4</sub>), was also determined with this results the carbon (C), C<sub>C3</sub>, C<sub>C4</sub> and nitrogen (N) stocks was calculated. The total C stock from 0 to 100cm increased with the cultivation time at a average rate of 0.8 Mg C ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>, and on plot with the greatest accumulation (C23D12) the rate was 1.09 Mg C ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>. A significant part off this accumulation was due to the C<sub>C4</sub> contribution with an average rate off 0.77 Mg C<sub>C4</sub> ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> in the 0 to 50cm profile. The C<sub>C3</sub> stock in the 0 to 100cm profile did not correlate with the cultivation time, being the extreme points the C14P8 with a depletion off -0.41 Mg C<sub>C3</sub> ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> and the C23D12 with a accumulation off 0.52 Mg C<sub>C3</sub> ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>. This shows that a replacement off the original Cerrado C<sub>C3</sub> by the agriculture C<sub>C4</sub> (maize) occurred, but that in some areas a accumulation off soybean C<sub>C3</sub> also took place. The N stock variation did not correlate with the cultivation time, probably a different variable not measured in

this study is driving this element. Soil cultivation increased the pH and phosphorus, potassium, magnesium, calcium, boron, zinc and copper soil concentration. Other elements such as iron , manganese and aluminum decreased with the soil cultivation. In the carbon and nutritional balance the agriculture system adopted maintained the soil original qualities and even increase the concentration off some elements. Showing that within the internal soil nutritional balance the system is sustainable.

Key words: Soil, Soybean, Physical and chemical properties, Carbon, Mato Grosso, <sup>13</sup>C abundance

## 1 INTRODUÇÃO

O planeta Terra com aproximadamente 5,567 bilhões de anos é o terceiro planeta em relação à órbita do Sol, sendo o maior dos planetas sólidos. A sua superfície total é de aproximadamente 51 Gha (giga hectare) dos quais 36,2 Gha são ocupados pelos oceanos e 14,8 Gha pelos continentes (AHRENS, 1995). A superfície continental coberta por gelo é de 1,4 Gha, a área continental coberta por corpos de água é de 0,4 Gha e 1,5 Gha são impróprias para o uso humano, e.g., desertos e montanhas. Do restante 11,5 Gha de terras secas passíveis de serem utilizadas 2,8 Gha estão em áreas de muito difícil acesso, portanto na prática há 8,7 Gha de terra para ser utilizada pelo homem (BURINGH, 1987 apud SCHERR, 1999; OLDEMAN, 1994 apud SCHERR, 1999).

O *Homo sapiens* surgiu há mais de 90.000 anos como caçador e coletor e assim permaneceu por uns 80.000 anos até o surgimento, há cerca de 10.000 anos, da agricultura que se tornou a principal fonte de alimento (SCHNEEMAN, 2000) para os 1 a 10 milhões de humanos (THOMLINSON, 1975 apud ESTADOS UNIDOS, 2007) que então habitavam a Terra. Esta mudança foi crucial para os avanços tecnológicos e culturais que deu origem à humanidade como a conhecemos hoje (SCHNEEMAN, 2000).

Essa agricultura mesmo sendo de baixa intensidade e geralmente de curta duração já causava transformações no sistema ecológico como relatam trabalhos sobre os impactos decorrentes da agricultura das populações indígenas pré-colombianas (BUTZER, 1996; BRIGGS et al., 2006).

Em 2002 a população humana era de 6,2 bilhões utilizando 5 Gha para produção de alimentos (FAO, 2004) sendo que 1,5 Gha eram destinadas a agricultura anual (FAO, 2004). O total de áreas degradadas nesta época já alcançava 2,1 Gha (SCHERR, 1999; UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME - UNEP, 2002) sendo que 550 Mha (mega hectares) foram degradados em decorrência da agricultura (UNEP, 2002). O *Homo sapiens* (do latim homem sábio, racional) em um ápice de existência, se comparado à Terra, foi capaz de alterar completamente quase metade das terras secas passíveis de serem utilizadas do planeta e comprometer um quarto das terras de fácil utilização.

A projeção da população humana para o ano 2020 é de 7,5 bilhões com um aumento na demanda de cereais de 39 % em relação a 1995 (WIEBE, 2001), e em 2050 a população será de 9,4 bilhões (ESTADOS UNIDOS, 2007). Se a relação humanos (h) por hectare utilizada para a

produção de alimentos de 2002, que era de  $1,24 \text{ h ha}^{-1}$ , for mantida em 2050 a humanidade terá diretamente alterado 7,6 Gha. Se somarmos 7,6 Gha para a produção de alimentos com 1,6 Gha já degradados (dos 2,1 Gha de área degradada total, 550 Mha estão na agricultura  $2,1 - 0,55 = 1,6$  Gha) e assumindo que a área degradada não aumente até 2050, o resultado será de 9,2Gha. Ou seja, será maior que a área de 8,7 Gha de terras que dispomos para fácil utilização. A FAO (1994) em um documento sobre o manejo dos recursos naturais disse: “A menos que uma abordagem radicalmente e significativamente mais eficaz para o manejo de recursos seja adotada agora, o cenário mais provável é um grande aumento na pobreza, fome, instabilidade social, guerra, ...”.

Butzer (1996) disse: “Cumulative experience should select for more conservationist strategies. (...) subsistence experience is about how to minimize both long-term environmental damage and short-term subsistence risk”<sup>1</sup>. Com uma escassez iminente de solos para o cultivo o ideal a ser almejado é a alta produtividade, para garantir a subsistência no menor espaço possível, e sustentabilidade do agro ecossistema pois não teremos como abandonar áreas improdutivas para abrir novas áreas, simplesmente porque não haverá novas áreas. Resumindo devemos buscar uma agricultura de alta produtividade e que seja sustentável.

O primeiro objetivo sendo de curto prazo, portanto mais visível, está sendo conseguido. Mundialmente ocorreu um aumento da produtividade, decrescendo os incrementos, entre a década de 70 e a de 90 (WIEBE, 2001). A produtividade média de grãos no Brasil na safra 1976/77 foi de  $1.258 \text{ kg ha}^{-1}$  já a previsão para a safra brasileira de 2006/07 é de  $2.852 \text{ kg ha}^{-1}$  sendo que no Mato Grosso (MT) a previsão é de  $3.079 \text{ kg ha}^{-1}$  (COMPANIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2007). A previsão para a produção total de grãos do Brasil nessa safra é de 131 Mt (mega toneladas) sendo que o MT irá contribuir com 23 Mt, ou 18% da safra brasileira (CONAB, 2007). Se considerarmos a produção per capita mundial de grãos de 2004 que foi de 322 kg (WORLDWATCH INSTITUTE 2005) o MT sozinho produziu grãos suficiente para mais de 71 milhões de pessoas, ou aproximadamente 38 % da população brasileira (IBGE, 2007). Tudo isso em um estado cuja área plantada no início da década de 80 era de apenas 1,2 Mha produzindo 1,2 Mt de grãos (CONAB, 2007).

O grande problema é a sustentabilidade desse agroecossistema, como dito anteriormente 550 Mha (área equivalente à soma das regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste mais os

---

<sup>1</sup>O acúmulo de experiência deve selecionar para estratégias mais conservadoras. (...) a experiência de subsistência é sobre como minimizar tanto os danos ambientais de longo prazo assim como o risco de subsistência de curto prazo.



estados de Rondônia, Tocantins e Roraima) do globo já foram degradadas pela agricultura. A principal causa é a erosão do solo seguido da degradação química (WIEBE, 2001). Uma área de 136 Mha já tiveram seu potencial de produtividade prejudicado devido a perda de nutrientes (SCHERR, 1999). Globalmente solos cultivados são em média 13 % mais densos, possuem 24 % a menos de C e 15 % a menos de N, sendo essas perdas mais acentuadas nos primeiros 10 anos de agricultura (MURTY et al., 2002). Ou seja, a agricultura média do planeta está degradando o solo.

Existem casos em que o uso agrícola do solo não alterou os estoques de alguns nutrientes (LILIENFEIN et al., 2000; MURTY et al., 2002; ROSCOE; BUURMAN, 2003) em alguns casos há incremento de certos nutrientes (RHOTON, 2000; MURTY et al., 2002; BAYER et al., 2006). Isso indica que há como a agricultura não promover a degradação do solo, ao menos em termos nutricionais.

Há muitas causas para as variações nos estoques de nutrientes do solo quando este tem sua cobertura natural substituída pela agricultura. Dentre elas as principais são: estoques iniciais de nutrientes, propriedades químicas da serrapilheira, clima, tipo de solo e principalmente o tipo de manejo agrícola (LILIENFEIN et al., 2000; RHOTON, 2000; MURTY et al., 2002; ZINN; LAL; RESCK, 2005; BAYER et al., 2006). Todas essas variáveis são regionais ou locais, como foi dito por Butzer (1996) experiências anteriores em outros ecossistemas não podem ser transplantados para novos lugares sem um dano inicial. Portanto se o objetivo for melhorar a sustentabilidade da agricultura há necessidade de se estudar os agroecossistemas de maneira específica.

A agricultura no Mato Grosso está sendo realizada principalmente em áreas de Cerrado (JASINSKI et al., 2005) sendo que este bioma ainda tem uma grande carência de pesquisa. BERNOUX et al., (2006) realizou uma revisão de 26 estudos comparando plantio convencional com plantio direto e destes apenas 4 foram em regiões de Cerrado. Para o Estado do Mato Grosso foi encontrado apenas um trabalho no município de Sinop (SIQUEIRA et al., 2003).

Zinn, Lal e Resck, (2005) ressaltaram que apesar da importância da região pouco se sabe sobre a magnitude e consistência das mudanças nos estoques de C nos solos altamente intemperizados do Brasil. O que é reforçado por Bayer et al., (2006) que afirmaram o seguinte sobre os solos agrícolas do Cerrado “(...) a influencia do sistema de manejo do solo (...) na dinâmica da matéria orgânica do solo ainda não foi suficientemente investigada.”. Além disso

existem poucas comparações sobre o efeito das áreas agrícolas no C do solo, tendo como linha de base os solos sob vegetação natural (JIMENEZ; LAL, 2006).

Ou seja, apesar do Mato Grosso seguir a risca o papel de garantir a subsistência de curto prazo da espécie humana ficam as seguintes perguntas: Quais são os danos ambientais de longo prazo? Como é a sustentabilidade desse agro ecossistema? Será possível continuar essa produção de grãos por toda uma humanidade? As respostas para essas perguntas ainda estão longe de serem respondidas, e exigem conhecimentos multidisciplinares.

O presente trabalho teve como objetivo estudar o efeito da agricultura comercial de grande escala nas propriedades físicas e químicas do solo no estado do Mato Grosso tendo como linha de base o solo sob Cerrado. Este trabalho visou suprir informações acerca da sustentabilidade do agro ecossistema mato-grossense no aspecto de balanço de nutrientes no solo com uma visão restrita aos processos internos do sistema produtivo, sem uma avaliação da sustentabilidade de toda a cadeia produtiva. Para tanto foram estudadas as características físico-químicas do solo, até a profundidade de 100 cm, de uma cronosequência com cinco áreas agrícolas de 4 a 23 safras cultivadas e uma área intacta com mesmo solo e relevo das áreas agrícolas no município de Sorriso MT no ano 2006.

### **1.1 Hipóteses**

Ocorre uma diminuição nos teores de carbono e nitrogênio nos primeiros anos de uso agrícola do solo devido à queima da biomassa original e intenso revolvimento do solo na implantação do sistema agrícola.

Os teores de carbono e nitrogênio aumentam quando se estabelece o sistema de plantio direto (SPD), podendo se igualar aos teores originais do solo.

Ocorre uma substituição do carbono proveniente do Cerrado pelo carbono proveniente das gramíneas utilizadas no SPD.

Ocorre um incremento de nitrogênio no solo proveniente da fixação biológica realizada pela cultura da soja.

As concentrações de cálcio, magnésio, potássio e fósforo aumentam com o uso agrícola do solo, devido ao grande aporte desses nutrientes via adubação e, com exceção do potássio, apresentam baixa mobilidade deles no solo.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Área de estudo e a cultura da soja

O solo predominante na região é o LATOSSOLO VERMELHO AMARELO DISTRÓFICO (MATO GROSSO, 2001) e a vegetação é de Cerradão (MATO GROSSO, 2002). Os Latossolos ocupam 45,7 % dos solos do Cerrado (CORREIA; REATTO; SPERA, 2004) são solos velhos altamente intemperizados, profundos, porosos, friáveis, com alta estabilidade de agregados, decorrente do grande conteúdo de óxidos de ferro e alumínio, o que permite livre movimentação da água, ar e das raízes (OLIVEIRA et al., 2004). Geralmente de relevo plano a suave ondulado, são solos que tendem a ser fisicamente adequados como substratos para o desenvolvimento das plantas e para a mecanização da agricultura (CORREIA; REATTO; SPERA, 2004; FREITAS et al., 2000; MOTTA; CURI; FRANZMEIER, 2002).

Embora muito bons fisicamente, são pobres quimicamente para o crescimento das plantas. São solos ácidos que apresentam baixa disponibilidade de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), zinco (Zn), boro (B) e cobre (Cu). Possuem ainda alta saturação por alumínio bem como alta capacidade de fixação de fósforo (LOPES; GUILHERME, 1994).

A transformação de uma área nativa em um sistema agrícola geralmente segue as seguintes etapas: primeiramente a vegetação é derrubada e queimada em seguida a biomassa aérea restante é agrupada e queimada novamente. Posteriormente é feito o revolvimento do solo com grade aradora pesada para exposição das raízes que são catadas, agrupadas e queimadas. Essas operações geralmente são repetidas duas ou três vezes até que não haja no solo raízes superficiais que possam comprometer o uso dos implementos agrícolas i.e. raízes de diâmetro superior a 2cm.

É então realizada a calagem, visando neutralizar parte da acidez do solo e precipitar o alumínio e finalmente é feito o primeiro plantio agrícola que geralmente é de arroz. O segundo plantio agrícola muitas vezes já é com a cultura da soja podendo ser precedido de outra aplicação de calcário. Quando a correção da acidez e do alumínio do solo estiver consolidada pode ser implantado o sistema de plantio direto (PD) (LOPES; GUILHERME, 1994).

O MT é o estado que teve as maiores mudanças no uso da terra da Amazônia legal entre os anos 1980 e 1995, com um crescimento impar da área plantada que entre 1999 e 2005 foi de 19,4 % (JASINSKI et al., 2005). O motor desta expansão agrícola foi a cultura da soja

(CARDILLE; FOLEY, 2003) que já foi rotulada internacionalmente como o “inimigo incansável da floresta” (RHOTER, 2003) e que também ganha o título de um artigo de Fearnside (2001) como “O cultivo da soja como uma ameaça ao meio ambiente no Brasil”.

Essa expansão da cultura da soja no estado é relativamente recente tendo iniciado na década de 80, como mostra a Figura 1, e ocorreu predominantemente em áreas de Cerrado. Mas graças à velocidade dessa expansão o município de Sorriso foi classificado como maior produtor de soja do Brasil (TSUNECHIRO, 2006) com uma área de 582.356 ha de soja em 2005 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE 2007).

O estado segue a tendência nacional e global de adoção do PD (SIX et al., 2002). No Brasil na safra 05/06 a área total de PD foi de 25,5 Mha (FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA - FEBRAPDP, 2007). A adoção do PD no Brasil teve seu início em 1972 no Paraná e tinha como objetivo principal o controle de erosão (SIX et al., 2002), porém também resultou em uma significativa economia de combustível (BERNOUX et al., 2006) e menos riscos de quebra de safra (SIX et al., 2002). O PD consiste, basicamente, do mínimo revolvimento do solo que só é perturbado na linha do plantio e manutenção da palhada ou cobertura verde do solo (BERNOUX, et al., 2006; FEBRAP, 2007; NETO, 2003).

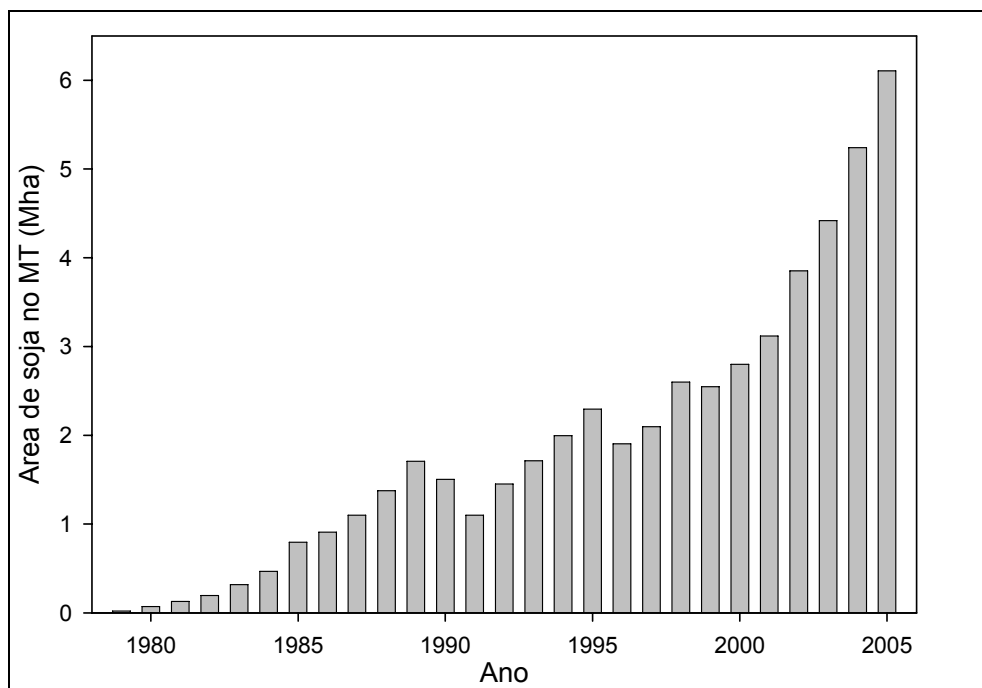


Figura 1 – Evolução da área plantada (Mha) com soja no Mato Grosso. Elaborado com dados da CONAB (2007)

No plantio convencional (PC) ocorre o revolvimento do solo antes do plantio com a finalidade de destruir as plantas daninhas e deixar o solo apto os implementos de semeadura convencional, que requerem solos sem resíduos vegetais e sem compactação superficial. Porém ocorre uma compactação sub superficial onde se forma o “pé de grade”. A operação de revolvimento do solo ocasiona uma grande perda de C ao: 1) destruir os agregados do solo que formam uma proteção física da matéria orgânica do solo (MOS) contra a decomposição; 2) estimular um aumento temporário na atividade microbiana pelo aumento na aeração do solo; 3) incorporar resíduos superficiais ao solo onde as condições para a decomposição são melhores do que na superfície (BERNOUX et al., 2006).

Com a eliminação do revolvimento do solo no PD cessa a existência desses três mecanismos de perda de C acima mencionados, ou seja, ocorre um aumento do tempo de residência do C no solo .

## **2.2 Alterações nas características físicas do solo**

O uso do solo para fins agrícolas promove alterações nas suas propriedades físicas (COSTA et al., 2003). Solos sob vegetação nativa geralmente tem menor densidade aparente do que solos agrícolas, pois o cultivo freqüente tende a quebrar os agregados do solo e causar a compactação do mesmo (MURTY et al., 2002). Essa compactação ocorre de maneira mais intensa no horizonte superficial, geralmente após 40 a 50cm a densidade nos diferentes tipos de manejo não diferem dos solos nativos (LOGSDON; CAMBARDELLA, 2000; SOUZA; ALVES, 2003b).

Se o solo for amostrado e comparado até uma mesma profundidade uma maior massa de solo é amostrada no solo agrícola. Se os resultados forem expressos em massa de carbono (C) por massa de solo, qualquer incremento no carbono do solo agrícola mais compactado pode ser devido a maior massa de solo amostrada, e não devido ao manejo. Se os resultados forem expressos em porcentagem ocorre o contrário. No solo sob condições naturais, menos camadas de solo são amostradas pela mesma profundidade. Como o carbono tende a diminuir com a profundidade, as camadas mais profundas diluem a concentração média de carbono encontrado no solo agrícola mais compactado. É como comparar o horizonte A do solo nativo com o horizonte A misturado com parte do horizonte B no solo agrícola, na média o solo agrícola vai tender a ter menos carbono, mesmo que não tenha ocorrido saída de carbono. Quando os solos são amostrados e comparados pela mesma profundidade, uma mudança na densidade do solo

pode levar tanto a um incremento aparente, no primeiro caso, como a uma perda de carbono, no segundo caso apenas alterando a unidade em que o carbono é expresso (MURTY et al., 2002).

Para contornar esse problema Ellert, Gregorich (1996 apud MURTY et al., 2002) primeiro mediram a densidade aparente nos vários tratamentos e depois calcularam até que profundidade eles deveriam amostrar para se ter uma amostra representativa de 350 kg (base seca) m<sup>-2</sup> em cada tipo manejo. Essa profundidade variou de 23,7 cm, nos solos mais compactados, até 39,5 cm nos solos menos compactados.

A profundidade total até a qual se comparam os diferentes tratamentos também pode influenciar significativamente os resultados. Solos sob florestas geralmente tem a maioria da matéria orgânica nas camadas superficiais oriundas da serrapilheira. Quando o solo é revolvido a MOS é distribuída por toda a camada revolvida, que geralmente é de 0 a 20 cm. Assim se amostrarmos apenas até 10 cm estaríamos amostrando proporcionalmente mais MOS no solo florestal do que no solo agrícola. Na revisão de Murty et al. (2002) a alteração absoluta nos trabalhos que amostraram até 15cm foi de  $45,3 \pm 5,9$  % (n=35) e essa diferença caiu para  $19,2 \pm 2,6$  % (n=27) em trabalhos que amostraram mais que 45 cm.

Outro problema de amostragens superficiais é que alterações nos estoques de C e N ocorrem até camadas onde não ocorrem revolvimentos. Mikhailova et al. (2000) fizeram um estudo para determinar até que profundidade existem alterações nos estoques de C e N em função do cultivo e encontrou variações significativas até 100 cm, concluindo que amostragens superficiais subestimam as variações totais dos nutrientes no perfil. Diekow et al. (2005) em um estudo no Rio Grande do Sul afirmaram que 100 cm são suficientes para estudos de estoques de C na maioria dos solos.

### **2.3 Alterações nas características químicas do solo**

A biomassa aérea do Cerrado *stricto sensu* varia de 21,4 a 39,8 Mg C ha<sup>-1</sup> (BUSTAMANTE; NARDOTO, MARTINELLI, 2004) e a biomassa subterrânea chega a 23Mg C ha<sup>-1</sup> (GRACE et al., 2006). Dada a baixa concentração de nutrientes no solo do ecossistema Cerrado, os maiores reservatórios de nutrientes estão na biomassa (BUSTAMANTE; NARDOTO, MARTINELLI, 2004). Solos sob vegetação nativa estão em um equilíbrio onde não ocorrem grandes perdas ou entradas de nutrientes, ocorrendo uma intensa ciclagem interna (BEGON; TOWNSEND; HARPER, 2006). Isso também acontece no Cerrado, tornando possível uma produtividade primária líquida média de 7,2 Mg C ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (GRACE, 2006), mesmo num

solo extremamente pobre. Já a produtividade primária líquida do ecossistema ficou entre 0,14 e 0,39 Mg C ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (GRACE, 2006), indicando a presença de uma ciclagem bem “fechada” de nutrientes.

Quando se implanta um sistema agrícola grande parte dessa biomassa é queimada o que acarreta uma grande perda de nutrientes do ecossistema, principalmente C, N e S, porém no solo ocorre um incremento de Ca, Mg, K e N devido a incorporação de parte dos nutrientes mineralizados pelo fogo (BUSTAMANTE; NARDOTO, MARTINELLI, 2004).

Nas culturas anuais o maior estoque de nutrientes se encontra no solo, não havendo uma ciclagem fechada. Nutrientes entram no solo via adubação e são exportados do sistema com a retirada dos grãos.

#### **a) Carbono**

A matéria orgânica do solo (MOS) é considerada elemento chave para a sustentabilidade dos solos altamente intemperizados, pois está associada tanto as características químicas como físicas (THOMAS; AYARZA, 1999; LARDY et al., 2002; JIMENEZ; LAL, 2006). Afirmção também feita por Six et al. (2002) também afirmaram que a manutenção da MOS é crucial para as propriedades biológicas, químicas e físicas do solo. Silva et al. (1994) em estudo sobre a relação entre a MOS e a capacidade de troca catiônica (CTC) em vários tipos de solo apontaram que em solos altamente intemperizados 74 a 80 % da CTC total foi devido à matéria orgânica. Fato também comprovado por Raji (1981) em solos do estado de São Paulo onde a MOS contribuiu com 56 a 82 % da CTC total do solo. Essas características da MOS fazem do manejo de latossolos (ou solos altamente intemperizados) essencialmente o manejo da MOS (LARDY et al., 2002; ZINN; LAL; RESCK, 2005).

A MOS também é muito importante como estoque de C, referindo-se ao estoque até 100 cm de profundidade Bernoux et al. (2005) citaram que: “excluídas as rochas carbonatadas, os solos constituem o maior reservatório superficial de C, com aproximadamente 1.500 Pg C, o equivalente a cerca de três vezes o estoque na biomassa continental e a duas vezes o da atmosfera.” Se considerado até a profundidade de 3m o estoque global de C no solo chega a 2.344 Pg C sendo o solo o terceiro maior reservatório global, perdendo somente para os oceanos e litosfera (JOBÁGGY; JACKSON, 2000 apud JIMENEZ; LAL, 2006). Os biomas com os maiores estoques de C no solo são as florestas tropicais, com 158 Pg C, e as savanas tropicais,

onde o Cerrado se inclui, com 146 Pg C (JOBÁGGY; JACKSON, 2000 apud JIMENEZ; LAL, 2006).

Práticas ou usos do solo que causem alterações no estoque de C do solo podem gerar grandes sumidouros ou fontes de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, contribuindo ou mitigando o efeito estufa (CORBEELS et al., 2006; JIMENEZ; LAL, 2006).

Devido a essa grande importância da MOS ela é um bom indicador quando se comparam diferentes manejos de solo. No entanto é difícil precisar diretamente o conteúdo de MOS devido a grande variabilidade química da mesma. Como a MOS é composta essencialmente de C existe uma relação direta entre C do solo e MOS e como o C do solo é mais fácil de determinar é conveniente utilizar esse elemento como indicador.

Riezebos e Loerts (1998) afirmaram que a derrubada da mata para a produção de culturas anuais invariavelmente resulta em perda da MOS devido a remoção de grande parte da biomassa durante a derrubada, redução na qualidade e quantidade de entradas de material orgânico no solo e aumento na taxa de decomposição da matéria orgânica. A maior taxa de decomposição dos solos agrícolas é devido a maior atividade microbiana causada pelo revolvimento do solo e temperaturas mais altas causada pela maior exposição solar (RIEZEBOS; LOERTS, 1998; BAYER et al., 2000b) bem como a quebra dos macroagregados que expõem solos anteriormente protegidos à ação microbiana (ZINN; LAL; RESCK, 2005). Outro fator que pode ser importante é a erosão do solo que leva junto grande parte da MOS superficial (BAYER et al., 2006).

Em resumo, o balanço de C no solo depende das entradas de C através da biomassa e das perdas de C que ocorrem através da erosão e pelos microorganismos do solo, sendo estes influenciados principalmente pela umidade, temperatura, e aeração do solo.

Está bem divulgada na literatura a importância dos agregados e das argilas, principalmente dos óxidos de Ferro e Alumínio, na proteção da MOS de solos tropicais (SIX et al., 2002; BAYER et al., 2006; JIMENEZ; LAL, 2006). São dois os mecanismos, o primeiro é através da interação entre a MOS e a superfície das partículas de argila (pontes de cátions, ligações de hidrogênio, interações eletrostática e de van der Waals) e o segundo é pela oclusão da MOS nos agregados do solo (HASSINK; WHITMORE, 1997 apud ROSCOE; BUURMAN 2003).

Murty et al. (2002) em uma revisão de literatura internacional chegaram a uma variação de C de  $-22,1 \pm 4,1\%$  na média de 33 trabalhos comparando solos nativos com solos agrícolas.



Até 75 % do estoque de C orgânico do solo pode ser perdido na conversão entre o ecossistema nativo e agricultura (LAL, 2004).

Zinn, Lal e Resck (2005) determinaram as alterações no estoque de C, quando comparado o solo sob vegetação nativa e o cultivado, de 37 estudos realizados no Brasil para as profundidades de 0 a 20 e 0 a 40 cm. Na camada de 0 a 20cm ocorreu uma perda média de C no PD e no PC de 5,4 e 10,3 % respectivamente. Quando o perfil analisado foi de 0 a 40 cm a perda média de C foi menor, sendo 0,3 e 6,2 % respectivamente para o PD e PC. Estatisticamente a única perda significativa foi a de 10,3 % na conversão de vegetação nativa para PC no perfil de 0 a 20 cm.

Segundo Diekow et al. (2005) a redução na MOS devido ao cultivo convencional é um fenômeno bem conhecido, sendo essa redução mais pronunciada nas regiões tropicais úmidas e subtropicais do que nas regiões temperadas.

Quando se passa do plantio convencional para o PD, vários autores apontaram um incremento do C que as vezes se iguala com o solo nativo, bem como uma melhoria na qualidade do solo (ZINN; LAL; RESCK, 2005). Six et al, (2002) em uma revisão de literatura internacional constataram um acúmulo médio de C de  $0,33 \pm 0,11 \text{ Mg C ha}^{-1}$  na conversão do plantio convencional para o PD. A explicação é que no PD a decomposição da MOS é mais lenta. Diekow et al. (2005) em um trabalho com cronosequência no sul do Brasil afirmaram que: “o PD minimiza a perda da MOS e é uma estratégia promissora para manter e até mesmo aumentar os estoques de C e N”. A média das variações nos estoques de C na conversão de PC para PD de 44 trabalhos nacionais apresentados por Bernoux et al. (2006) foi positiva, porém estatisticamente não difere de zero, i.e.  $0,48 \pm 0,51 \text{ Mg C ha}^{-1}$ .

Quando se implanta um sistema agrícola a produção primária líquida aumenta (BERNACCHI; HOLLINGER; MEYERS, 2005), ou seja, ocorre uma maior entrada de MO, isso aliado à proteção da MOS pelas argilas e agregados as quais podem superar as condições mais propicias de decomposição causadas pela agricultura, podem resultar num aumento do estoque de C do solo. Existem casos onde isto ocorre, mas ainda faltam mais estudos para averiguar se estes são apenas *outliers* ou se apontam uma tendência a ser comprovada (ZINN; LAL; RESCK, 2005).

Uma ferramenta interessante para um melhor entendimento das alterações do C do solo é o uso da técnica isotópica que permite diferenciar a MOS proveniente de plantas do ciclo

fotossintético C3 das de ciclo fotossintético C4 (SMITH; EPSTEIN, 1971; WILCKE; LILIENFEIN, 2004). Isso é possível graças a diferença na composição isotópica, que é a proporções entre os isótopos estáveis  $^{13}\text{C}$  e o  $^{12}\text{C}$ . Para facilitar a determinação da composição isotópica mede-se o desvio da proporção  $^{13}\text{C}$  e  $^{12}\text{C}$  em relação a uma composição padrão, surgindo assim a notação  $\delta$  que geralmente é multiplicado por mil (‰) (OMETTO; MARTINELLI; CAMARGO, 2003). Assim um valor de -10 ‰ de uma amostra qualquer quer dizer que a razão  $^{13}\text{C} / ^{12}\text{C}$  dessa amostra é menor que a do padrão por uma diferença de 10 por mil ou de 1 %.

Plantas do ciclo fotossintético C3, doravante denominadas plantas C3, possuem valores de  $\delta^{13}\text{C}$  de sua biomassa entre -32 ‰ a -22 ‰ com uma média de -27 ‰ e plantas do ciclo fotossintético C4, doravante denominadas plantas C4, possuem valores entre -17‰ e -9‰ com uma média de -13‰ (BOUTTON, 1996). A proporção isotópica da MOS nas camadas superficiais é maior que a da biomassa que fornece essa entrada de matéria orgânica em aproximadamente 1 ‰ e em profundidade essa diferença pode ficar entre 3 a 4,5‰ (BOUTTON, 1996). Essa discriminação isotópica, que é a diferença na composição isotópica entre o substrato (no caso biomassa) e o produto (no caso MOS), pode ocorrer devido à decomposição da MO ou às mudanças na composição isotópica do C atmosférico que nos últimos 200 anos, que passou de -6,5 para -8 ‰ (BOUTTON, 1996). Se em profundidade forem encontrados valores isotópicos com uma discriminação maior que 4,5 ‰ provavelmente isso é devido a diferenças na origem da MO.

Essa técnica já foi largamente utilizada em situações onde ocorreu uma mudança drástica na composição florística de um ecossistema, passando de uma dominância de plantas C3 para uma dominância de plantas C4 ou vice versa (BOUTTON, 1996; ROSCOE et al., 2001; NEUFELDT, 2006). Caso da conversão de um solo sob vegetação nativa de Cerrado ou floresta, predominantemente plantas C3, em solo agrícola onde haja uma cultura C4 que pode ser o milho, milheto ou cana de açúcar.

## **b) Nitrogênio**

O N é um dos elementos que mais frequentemente está em deficiência em culturas não leguminosas (HAVLIN, 2005) e também no Cerrado sob Latossolos (BUSTAMANTE; NARDOTO; MARTINELLI, 2004; LOPES; GUILHERME, 1994). Aproximadamente 95 % do

N do solo se encontra ligada a MOS (DA SILVA; MENDONÇA, 2007) cujo teor de N varia de 0,05 a 0,5% (NETO, 2003).

Murty et al. (2002) encontraram uma perda média de N na conversão da vegetação nativa para a agricultura de 15 % com uma correlação positiva e significativa entre o C e o N. Sua ciclagem é complexa, mesmo nos sistemas agrícolas, com várias entradas e saídas tornando o manejo do N complexo para os agricultores, que em geral não o fazem adequadamente. Nos sistemas produtores de soja do Cerrado as aplicações de N são baixas, quase nunca ultrapassando 10 kg ha<sup>-1</sup>. Na região sul do Brasil até 80 % do N necessário a cultura da soja ocorre via fixação biológica, mas esse N é quase que todo exportado via grãos (ALVES et al., 2002 apud SISTI et al., 2004).

De maneira mais ou menos análoga ao C, é possível utilizar a técnica isotópica no estudo do N. Os isótopos estáveis de N são o <sup>15</sup>N e o <sup>14</sup>N, sendo que a relação isotópica fornece informações sobre a origem e ciclagem desse nutriente no ecossistema. O padrão para o N é a relação isotópica do N atmosférico, tendo ele valor zero. O N atmosférico consiste no maior reservatório de N, porém poucas plantas têm acesso a esse reservatório, pois o N se encontra na forma química de N<sub>2</sub>. As leguminosas por meio da simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium* e *Bradyrhizobium* fixadoras de N são capazes de utilizar esse N atmosférico. As leguminosas fornecem amidos para as bactérias que liberam para a planta N na forma orgânica ou na forma inorgânica como NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Nesse processo de fixação biológica de N (FBN) ocorre apenas um pequeno fracionamento isotópico, portanto leguminosas que estão fixando N possuem um sinal isotópico próximo de zero.

### **c) Fósforo Potássio e Micronutrientes**

Como já mencionado os solos de Cerrado são em geral muito pobres quimicamente, portanto para a implantação do sistema agrícola, onde não ocorre intensa ciclagem interna, é preciso elevar os teores de nutrientes no solo. A ciclagem desses elementos tais como: potássio (K), fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e micronutrientes no sistema agrícola é relativamente simples e aberta com apenas uma entrada significativa, via adubação, e uma saída significativa via exportação dos grãos. A saída de nutrientes via erosão do solo, na área de estudo, é praticamente desprezíveis devido ao relevo plano (Figura 3) e textura argilosa dos solos. O manejo desses nutrientes torna-se fácil de ser feito pelo agricultor bastando que ele forneça a adubação necessária para a produção de grãos esperada. Assim os teores desses elementos estarão

quase sempre superiores nas áreas agrícolas do que nos solos sob Cerrado. A seguir uma breve descrição sobre alguns elementos.

O K é o segundo elemento do solo mais absorvido pelas plantas, sendo sua reserva mineral nos solos de Cerrado muito baixas. Seus sais apresentam alta solubilidade no solo, o que faz do seu manejo um pouco mais trabalhoso, exigindo adubações parceladas para minimizar as perdas por lixiviação.

O P é um elemento pouco móvel no solo, cuja baixa disponibilidade nos solos altamente intemperizados é um fator agrônômico limitante bem conhecido (SOUSA; LOBATO; REIN 2004). Os teores de P na solução dos solos da região do Cerrado são geralmente muito baixos, e existe uma alta capacidade de adsorção do fosfato pela fração argila, principalmente os óxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al). Para a prática da agricultura de larga escala é imprescindível tanto adubações fosfatadas de correção como de manutenção (SOUSA; LOBATO; REIN 2004).

Quanto aos micronutrientes nos solos do Cerrado, existem alguns que geralmente apresentam carência, como o zinco, e outros que dificilmente estarão em deficiência como o ferro (Fe). A aplicação de micronutrientes é baixa, dificilmente ultrapassando  $6 \text{ kg ha}^{-1}$  por nutriente, geralmente para fornecer zinco, boro, manganês, molibdênio e cobre.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Localização e descrição da área

A área de estudo está localizada no município de Sorriso – Mato Grosso 400 km a norte da capital do estado (Figura 2). O clima da região é do tipo Aw (Koppen) – tropical, com chuvas concentradas no verão (outubro a abril) e um período seco bem definido nos meses de inverno (maio a setembro). A temperatura anual média é de 24°C com uma precipitação de 1700 a 1900 mm. O tipo de solo é LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico de textura argilosa, classificado de acordo com o sistema brasileiro de classificação de solo (EMBRAPA, 1999) (descrição dos perfis encontra-se no apêndice A), e a vegetação é de Savana Florestada ou Cerradão (MATO GROSSO, 2002).

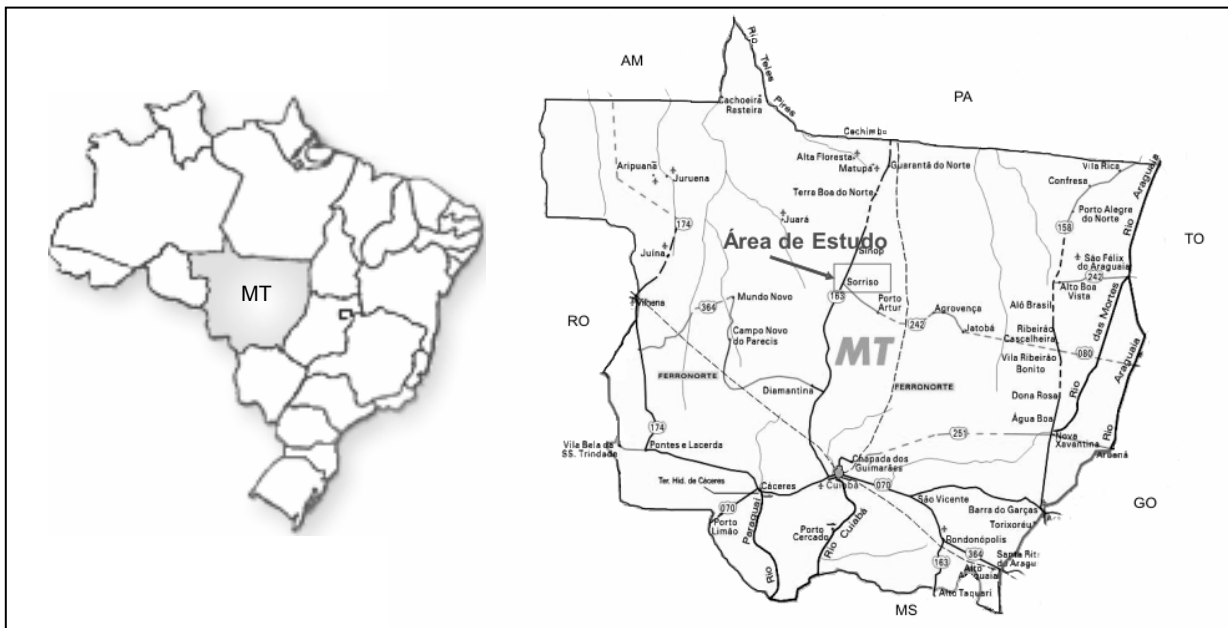


Figura 2 – localização da área de estudo

As coletas foram realizadas na Fazenda Pejuçara, propriedade de Pedro Maraschin, (12°42'41''S 55°53'38''W) localizada aproximadamente a 30km ao sul da cidade de Sorriso. A fazenda possui áreas com vários tempos de cultivo e uma reserva de Cerrado em topografia plana, ou seja, nas mesmas condições da lavoura. O que pode ser observado pela ausência de terraços em nível nas áreas amostradas (Figura 3).

Foram amostrados solos sob vegetação nativa de Cerrado (CE); área agrícola aberta em 2003 sob pivô com 4 safras cultivadas sendo 3 com plantio direto (C4D3); área agrícola aberta em 1994 com 12 safras cultivadas sendo 5 com plantio direto contínuo (C12D5); área agrícola aberta em 1993 com 13 safras cultivadas sendo 12 com plantio direto contínuo (C13D12); área agrícola aberta em 1983 com 14 safras cultivadas sendo 7 com plantio direto contínuo e 8 anos de pastagem anteriores ao início do plantio direto (C14P8); área agrícola aberta em 1983 com 23 safras cultivadas sendo 12 com plantio direto contínuo (C23D12). A maior distância entre as áreas amostradas foi de 3,4 km entre o C4D3 e o C12D5. O histórico simplificado das áreas agrícolas se encontra na Tabela 1 e o completo no Apêndice B.

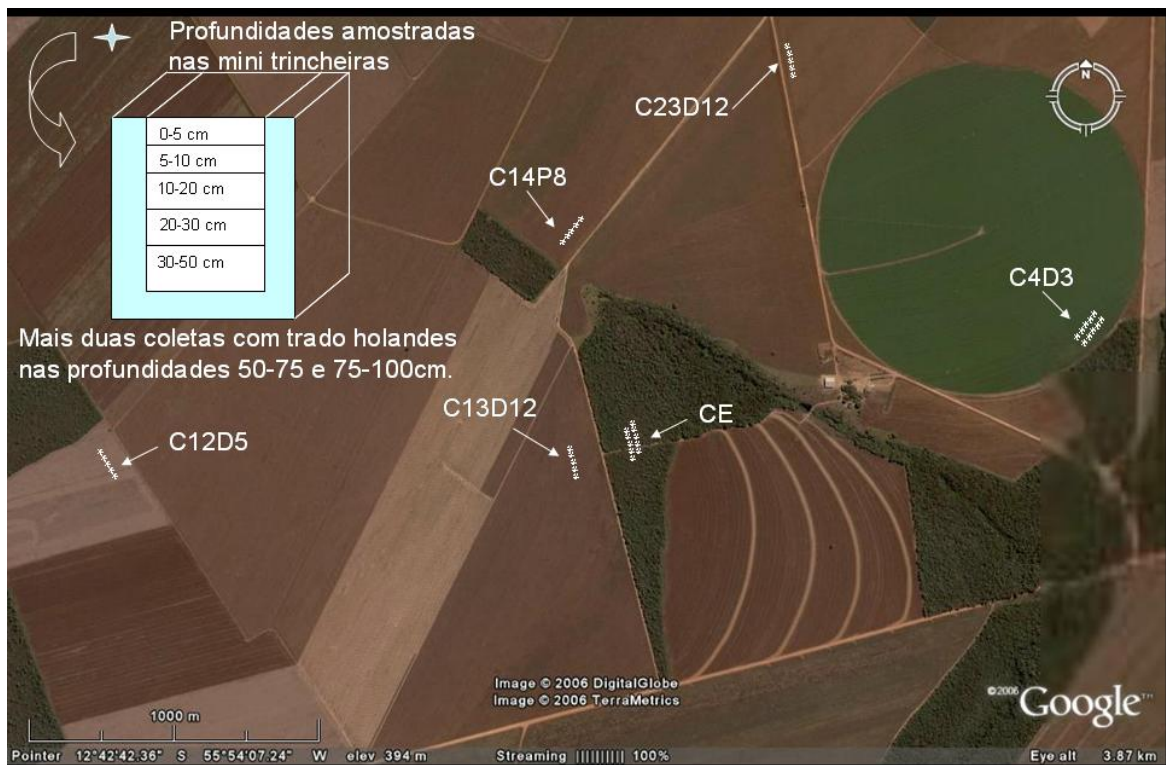


Figura 3 – Imagem da Fazenda Pejuçara com as áreas amostradas, CE, C4D3, C12D5, C13D12, C14P8 e C23D12 e esquema de coleta em cada ponto. Imagem do Google Earth

Tabela 1 – Histórico das áreas agrícolas

Ano	C23D12		C14P8		C13D12		C12D5		C4D3	
	Safra	E. Saf.	Safra	E. Saf.	Safra	E. Saf.	Safra	E. Saf.	Safra	E. Saf.
1983	AC	P	AC	P	CE	CE	CE	CE	CE	CE
1984	AC	P	AC	P	CE	CE	CE	CE	CE	CE
1985	SC	P	P	P	CE	CE	CE	CE	CE	CE
1986	SC	P	SC	P	CE	CE	CE	CE	CE	CE
1987	SC	P	SC	P	CE	CE	CE	CE	CE	CE
1988	SC	P	SC	P	CE	CE	CE	CE	CE	CE
1989	SC	P	SC	P	CE	CE	CE	CE	CE	CE
1990	SC	P	Pastagem		CE	CE	CE	CE	CE	CE
1991	SC	P	Pastagem		CE	CE	CE	CE	CE	CE
1992	SC	P	Pastagem		CE	CE	CE	CE	CE	CE
1993	SC	P	Pastagem		AC	MT	CE	CE	CE	CE
1994	SD	P	Pastagem		SD	P	AC	P	CE	CE
1995	SD	P	Pastagem		SD	P	SC	MT	CE	CE
1996	SD	P	Pastagem		SD	P	SD	ML	CE	CE
1997	SD	P	Pastagem		SD	P	SD	P	CE	CE
1998	SD	P	AC	P	SD	P	SD	P	CE	CE
1999	SD	P	SD	P	SD	P	SD	P	CE	CE
2000	SD	P	SD	ML	SD	P	SC	P	CE	CE
2001	SD	P	SD	ML	SD	P	SD	P	CE	CE
2002	SD	P	SD	ML	SD	P	SD	ML	CE	CE
2003	SD	P	SD	ML	SD	P	SD	MT	SC	FD
2004	SD	P	SD	MT	SD	P	SD	P	AD	P
2005	SD	P	SD	P	SD	MT	SD	P	SD	P

AC: plantio convencional de arroz. AD: plantio direto de arroz  
 SC: plantio convencional de soja. SD: plantio direto de soja  
 ML: plantio direto de milho  
 MT: plantio direto de milheto  
 FD: plantio direto de feijão  
 CE: solo sob Cerrado  
 P: pousio



Figura 4 – Foto da área C23D12 em setembro de 2006, mostrando a biomassa de gramíneas que crescem espontaneamente durante o pousio de entressafra. Foto Miranda E.J.

### 3.2 Amostragem de solo

A primeira coleta, realizada em outubro de 2005, foi feita nas áreas CE, C4D3, C12D5 e C14P8. Em cada área foram feitos 5 pontos de amostragem simples, distribuídos em linha e distantes aproximadamente 50 m um do outro, como proposto por Neill et. al. (1997) (Figura 3). Essa metodologia foi adotada por aliar agilidade de amostragem com o fornecimento de informações mais detalhadas sobre as variações espaciais das características físicas e químicas do solo. Uma coleta de 5 pontos por tratamento também foi realizada por (CARVALHO et al., 2007).

Em cada ponto foi aberta uma mini-trincheira, com dimensões aproximadas de 80 x 80 cm de largura e 60 cm de profundidade, na qual foram coletadas amostras deformadas de solo nas camadas 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 30 e 30 a 50 cm de profundidade. Com um trado holandês foram feitas coletas deformadas nas camadas 50 a 75 e 75 a 100 cm de profundidade. Nos três pontos centrais da linha de amostragem foram coletadas amostras indeformadas, com cilindro volumétrico de 100 cm<sup>3</sup>, no centro das camadas 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 30 e 30 a 50 cm e com um trado de densidade foram coletadas amostras indeformadas nas profundidades 60 e 85 cm.

Na segunda coleta, realizada em setembro de 2006, foram re-amostradas as áreas CE e C4D3 e amostrados duas novas áreas, C13D12 e C23D12 (Figura 3). Essa re-amostragem foi realizada pelo fato de que nas áreas CE e C4D3 a variabilidade química foi bem maior que nas áreas agrícolas mais velhas. Fato esse evidenciado na análise preliminar dos dados obtidos com a primeira coleta. Os desvios padrões foram quase sempre superiores, sendo muitas vezes o dobro,



quando comparados o CE e C4D3 com o C12D5 e C14P8 em especial na variável C, nas camadas até 50 cm de profundidade.

Essa segunda amostragem do CE e C4D3 foi realizada de maneira similar a primeira, 5 pontos de amostragem simples em linha, distantes aproximadamente 50 m uma da outra, porém com a diferença de que não foi preciso re-amostrar as camadas 50 a 75 e 75 a 100 cm de profundidade.

As amostragens das áreas C13D12 e C23D12 foram realizadas de maneira idêntica à primeira coleta.

Nesta segunda coleta de solo também foi acrescida uma amostragem extra na camada de 0 a 5 cm destinada a determinação das taxas de mineralização e nitrificação de todas as áreas. Consistiu de oito coletas por área para determinar a umidade do solo, e oito coletas de amostra deformada de aproximadamente 300 g para extração de nitrato e amônia.

### 3.3 Análises químicas e físicas

#### a) Determinação do $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ e teores de C e N totais

A relação  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ( $\delta^{13}\text{C}$ ) e  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  e os conteúdos de carbono e nitrogênio totais foram determinados a partir de uma subamostra de aproximadamente 20 a 50 g. Nessa subamostra foram retiradas manualmente todas as raízes e carvões e posteriormente o solo foi moído até passar em uma peneira de malha de 0,250 mm. Esse solo assim preparado foi analisado em Carlo Erba acoplado em Finnigan Delta-E, analisador elementar acoplado a um espectrômetro de massas, que fornece os conteúdos de carbono e nitrogênio totais e a relação  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ( $\delta^{13}\text{C}$ ) e  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  ( $\delta^{15}\text{N}$ ).

A relação  $\delta^{13}\text{C}$  ou  $\delta^{15}\text{N}$  da amostra foi expressa pela notação por mil em relação ao padrão internacional, assim definido:

$$\delta^{13}\text{C}(\text{‰}) \text{ ou } \delta^{15}\text{N}(\text{‰}) = [R \text{ amostra} \cdot (R \text{ padrão} - 1)^{-1}] \cdot 1000 \quad (1)$$

Onde: R amostra = relação  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ou  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  da amostra;

R padrão = relação  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ou  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  do padrão.

Com os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  da MOS é possível calcular a porcentagem de carbono oriundo de plantas de ciclo fotossintético C3, doravante denominado  $\text{C}_{\text{C3}}$ , e o carbono oriundo de plantas C4, doravante denominado  $\text{C}_{\text{C4}}$ , através do seguinte modelo de mistura:

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{solo}} = (\delta^{13}\text{C}_{\text{C4}} \cdot x) + [\delta^{13}\text{C}_{\text{C3}} \cdot (1 - x)] \quad (2)$$

Onde:  $\delta^{13}\text{C}_{\text{solo}} = \delta^{13}\text{C}$  do solo amostrado;

$\delta^{13}\text{C}_{\text{C4}} = \delta^{13}\text{C}$  médio das plantas C4 utilizadas nas entressafras que foi coletado e analisado resultando em -12,96‰;

x = a porcentagem de C proveniente de plantas C4;

$\delta^{13}\text{C}_{\text{C3}} = \delta^{13}\text{C}$  do solo sob Cerrado da mesma camada que se determinou o  $\delta^{13}\text{C}_{\text{solo}}$  sendo o CE portanto o padrão de  $\delta^{13}\text{C}$  proveniente de plantas C3;

(1 - x) = a porcentagem de C proveniente de plantas C3.

#### **b) Determinação do pH e acidez total**

Foi determinado o pH em solução de  $\text{CaCl}_2$  0,01 mol L<sup>-1</sup>, conforme descrito por Raij et al. (2001). A acidez total foi determinada com solução-tampão SMP (RAIJ, 2001).

#### **c) Cátions básicos trocáveis e P disponível**

Os cátions básicos trocáveis ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$ ) e o P disponível foram extraídos pelo método da resina (RAIJ, et al., 2001). Os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  foram determinados em espectrômetro de absorção atômica; o  $\text{K}^+$  e o  $\text{Na}^+$  por fotometria de chama de emissão; e o P por colorimetria em um espectrofotômetro a 660 nm, após reação com molibdato de amônio e cloreto de estrôncio.

#### **d) Micronutriente ( $\text{Fe}^{2+}$ , $\text{Cu}^{2+}$ , $\text{Mn}^{2+}$ , $\text{Zn}^{2+}$ e $\text{B}^{3+}$ ) e $\text{Al}^{3+}$ trocável**

Os micronutrientes  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  foram extraídos utilizando-se 10 g de TFSA com 20 mL da solução DTPA (ácido dietileno triamino pentaacético-trietanolamina) tamponado a pH 7,3, segundo a metodologia proposta por Lindsay e Norvell (1978 apud RAIJ et al. 2001). A determinação foi realizada por espectrometria de absorção atômica. O  $\text{B}^{3+}$  foi determinado pelo método de água quente, usando aquecimento com microondas (RAIJ et al. 2001). O  $\text{Al}^{3+}$  foi determinado por titulometria, usando-se azul de bromotimol como indicador após extração com KCl 1 mol L<sup>-1</sup>

#### **e) Análise granulométrica, densidade e umidade do solo**

A análise granulométrica foi realizada pelo método do hidrômetro, tendo como princípio a Lei de Stokes sobre a sedimentação de partículas, utilizando-se uma solução de hexametáfosfato de sódio, tamponada com carbonato de sódio para dispersão total das partículas (EMBRAPA, 1979).

A densidade aparente do solo foi determinada pelo método do cilindro volumétrico, descrito por EMBRAPA (1979), utilizando-se cilindros de aço inox com volume interno de 100 cm<sup>3</sup>.

Para determinar a umidade do solo foi feita uma adaptação de EMBRAPA (1979). Uma amostra de aproximadamente 100 g foi coletada e acondicionada em um saco plástico, de peso conhecido, hermeticamente fechado. O conjunto foi pesado e o solo transferido para um vidro relógio de peso conhecido. O solo foi seco em estufa a 105 C° até peso constante para determinação do peso do solo seco. A umidade do solo foi calculada de acordo com EMBRAPA (1979).

### 3.4 Cálculos dos estoques

Os estoques de nutrientes foram calculados em todas as camadas amostradas (0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 30, 30 a 50, 50 a 75 e 75 a 100 cm) e ao longo de todo o perfil nas profundidades 0 a 5, 0 a 10, 0 a 20, 0 a 30, 0 a 50, 0 a 75 e 0 a 100cm pela soma dos estoques das camadas amostradas. Os estoques das camadas amostradas foram calculados através da equação:

$$Es = [n] \cdot Ds \cdot E \cdot A \quad (3)$$

Onde: Es = estoque (Mg ha<sup>-1</sup>) na camada;

[n] = é a concentração ou porcentagem do elemento na camada;

Ds = densidade aparente da camada (t m<sup>-3</sup>);

E = espessura da camada (m);

A = área de 1 ha (m<sup>2</sup>)

Foi realizada uma correção para a mesma massa de solo considerando como base àquela encontrada na camada do solo sob Cerrado (Murty et. al., 2002). Portanto quando a Ds variou, a E também foi alterada. Essa correção foi feita para possibilitar uma comparação equilibrada entre os tratamentos, corrigindo as possíveis variações no estoque originárias apenas devido a compactação do solo sob cultivo.

Na soma dos estoques de cada camada a correção foi sempre realizada apenas na última camada amostrada e.g.: no cálculo do estoque de 0 a 100 cm foi calculada a massa de solo até esta profundidade em um ha no CE e nas áreas agrícolas foi utilizada a mesma massa alterando a E da camada de 75 a 100cm. De maneira idêntica foi realizado o cálculo dos estoques de 0 a 5, 0 a 10, 0 a 20 cm etc. sempre corrigindo apenas na última camada amostrada. Essa correção foi expressa matematicamente por Sisti et al. (2004) como:

$$EC = \sum_{i=1}^{n-1} CTi + \left[ MTn - \left( \sum_{i=1}^n MTi - \sum_{i=1}^n MSi \right) \right] CTn \quad (4)$$

Onde: EC=estoque total de C (Mg C ha<sup>-1</sup>) no perfil agrícola em uma profundidade equivalente ao do CE;

$\sum_{i=1}^{n-1} CTi$  = soma total de C (Mg C ha<sup>-1</sup>) nas camadas 1 (superficial) até a n-1 (penúltima) no perfil agrícola calculado de acordo com a eq. (3);

$MTn$  = massa do solo (Mg ha<sup>-1</sup>) da ultima camada do perfil agrícola;

$\sum_{i=1}^n MTi$  = soma da massa do solo (Mg ha<sup>-1</sup>) da camada 1 até a n (ultima) do perfil agrícola;

$\sum_{i=1}^n MSi$  = soma da massa do solo (Mg ha<sup>-1</sup>) da camada 1 até a n (ultima) do perfil CE;

$CTn$  = concentração de C (Mg C por Mg solo) na camada n do perfil agrícola

As taxas de acúmulo ou perda de nutrientes foram sempre calculadas tendo como linha de base o Cerrado.

### 3.5 Análise estatística

Os dados obtidos foram testados para a normalidade, igualdade de variância e kurtose. Aqueles que apresentaram alguma irregularidade foram transformados pelo quadrado, raiz quadrada, inverso ou logaritmo na base 10. Todos os dados expostos foram normais ou foi possível corrigir os dados através da transformação.

As comparações foram feitas entre áreas utilizando uma análise fatorial onde os blocos foram associados às profundidades e os tratamentos foram constituídos pela cronosequência, com seis níveis (Cerrado nativo e 5 áreas com diferentes idades). E também foi realizada comparações entre camadas e.g. camada de 0 a 5cm do CE versos camada de 0 a 5cm do C4D3, considerando um delineamento inteiramente ao acaso com dez repetições nas áreas CE e C4D3 e cinco repetições para as demais áreas. As análises estatísticas foram realizadas com o programa SAS (SAS Institute, 1987) utilizando o teste de Tukey a 5% (P<0,05) para comparar médias. O resultado da análise fatorial em blocos refere-se à média geral.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Características físicas

A densidade do solo aumentou com o uso agrícola, o CE apresentou os menores valores de densidade até a profundidade de 50 cm após a qual não houve diferença entre as áreas. No CE a densidade aumentou consideravelmente com a profundidade, passando de  $0,73 \text{ g cm}^{-3}$  na camada superficial para  $0,97 \text{ g cm}^{-3}$  na camada de 30 a 50 cm, um aumento de 33,5 %, após a qual a densidade apresentou uma tendência de diminuição (Figura 5). Nas áreas C4D3, C14P8 e C23D12 ocorreram um aumento da densidade até a camada de 10 a 20 cm com redução a partir dessa profundidade (Figura 5). A maior densidade foi observada no C4D3 na camada de 10 a 20 cm com  $1,24 \text{ g cm}^{-3}$ . No C12D5 a densidade aumentou da camada de 0 a 5cm para 5 a 10cm e diminuiu na camada de 10 a 20 cm a partir da qual seguiu o comportamento do CE com aumento até a camada de 30 a 50 cm e tendência de redução até a ultima camada. No C13D12 a densidade diminuiu da primeira camada para a segunda e aumentou na camada de 10 a 20 cm, a partir da qual seguiu a tendência de redução com a profundidade (Figura 5).

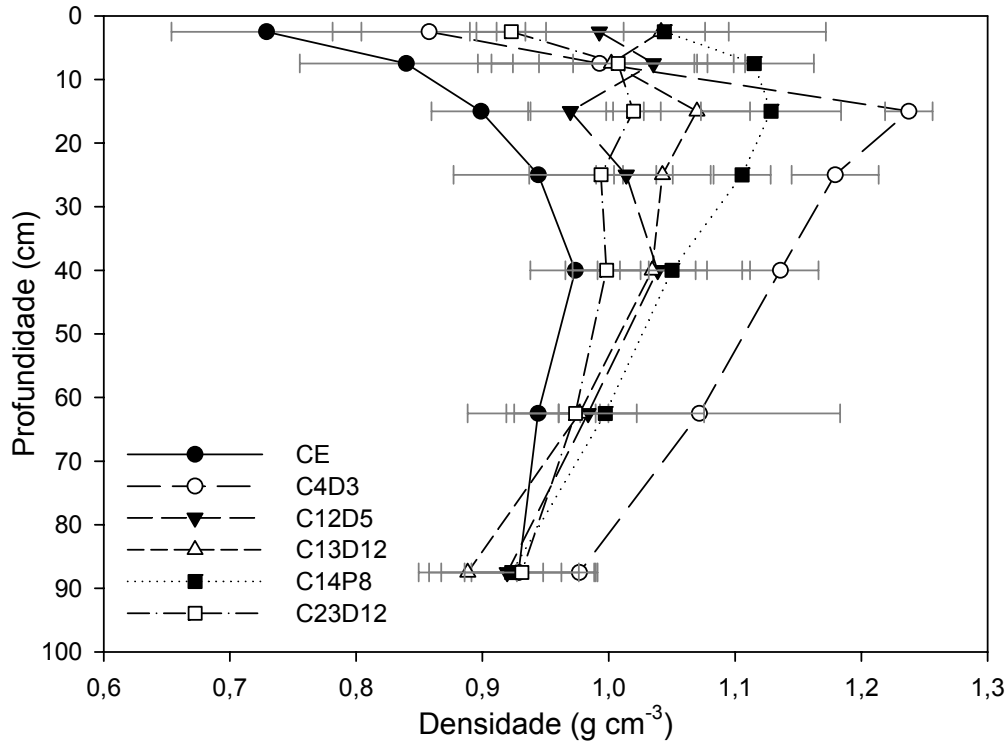


Figura 5 – Densidade ( $\text{g cm}^{-3}$ ) ao longo do perfil para as áreas estudadas

Na comparação geral entre as áreas utilizando todo o perfil e tratando as profundidades como blocos o C4D3 ( $1,06 \text{ g cm}^{-3}$ ) teve a maior média geral, o C12D5, C13D12 e C14P8 não diferiram, e o CE ( $0,89 \text{ g cm}^{-3}$ ) teve a menor densidade seguido do C23D12 com a segunda menor densidade ( $0,98 \text{ g cm}^{-3}$ ).

A textura do solo variou entre as áreas, quanto ao teor de argila é possível separar em 3 grupos: o C13D12, C23D12 e C12D5 com maior quantidade de argila; o CE e C14P8 com quantidades de argila intermediária; e o C4D3 com a menor quantidade de argila. A diferença máxima entre os teores de argila foi de  $176 \text{ g kg}^{-1}$  ou de 24 % entre as médias da camada 20 a 30 cm do C23D12 e o C4D3 (Figura 6). O teor de argila médio de todas as camadas de cada área foi de: 706; 617; 758; 762; 696 e 761  $\text{g kg}^{-1}$  respectivamente para o CE, C4D3, C12D5, C13D12, C14P8 e C23D12 sendo a diferença máxima entre eles de 19 %, excluindo o C4D3 a diferença máxima cai para 9 %. Não foi possível observar distinção de grupos para o silte cujos valores só foram diferentes nas camadas de 0 a 5 e de 20 a 30 cm.

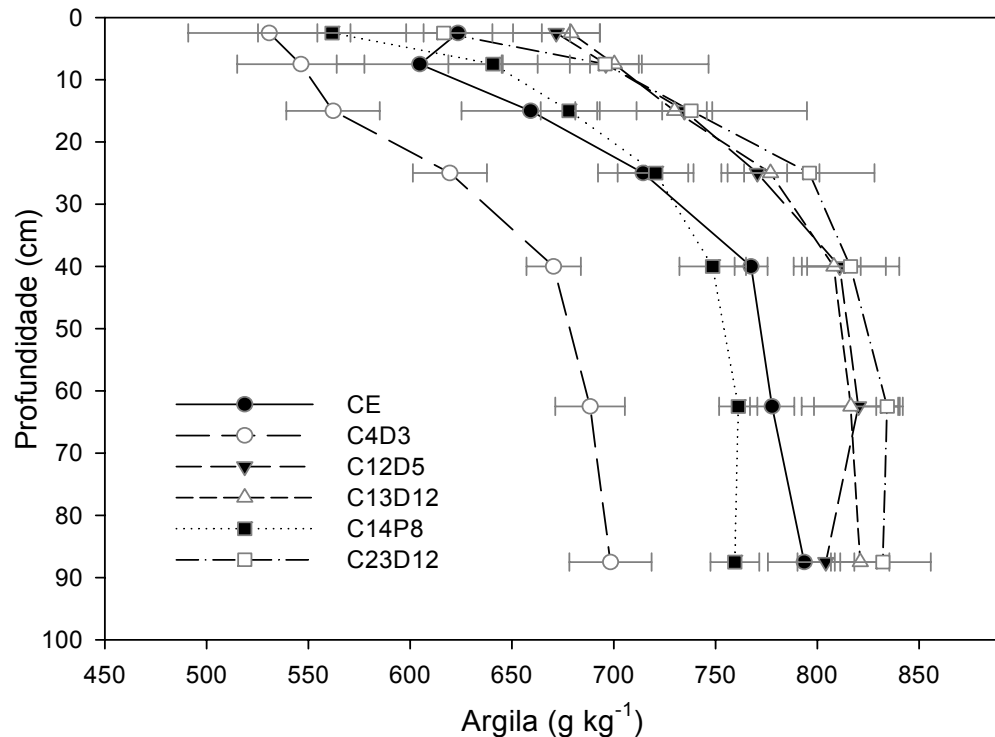


Figura 6 – Argila ( $\text{g kg}^{-1}$ ) ao longo do perfil para as áreas estudadas

Embora existam diferenças significativas nos teores de argila, e conseqüentemente nos de areia, não houve uma correlação significativa entre os teores de argila e de C nas camadas superficiais. O que pode ser observado na Tabela 2 nas camadas superficiais (até 20 cm) houve

uma tendência de correlação negativa não significativa entre argila e carbono enquanto que nas últimas camadas a correlação foi positiva. Desconsiderando a separação por camadas ocorre uma correlação negativa e significativa entre os teores de argila e carbono.

Tabela 2 – Correlação entre concentração de argila ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e C (%) separado por camada em todas as áreas e com o conjunto total de dados

	Profundidade (cm)							
	0 – 5	5 – 10	10 – 20	20 – 30	30 – 50	50 – 75	75 – 100	0 – 100
Incli.	-0,0023	-0,0012	-0,0002	0,0017	0,0016	0,002	0,0019	-0,0084
R <sup>2</sup>	0,06	0,03	0,0015	0,14	0,31	0,51	0,43	0,47
P	0,17	0,36	0,84	0,039	0,0016	0,001	0,0001	0,0001

## 4.2 Características químicas

### a) Carbono

As concentrações do carbono ao longo dos perfis decresceram igualmente em todas as áreas. A diferença foi na taxa de decréscimo, no CE os teores de C das camadas 5 a 10, 10 a 20 e 75 a 100 foram 29,2, 46,7 e 79,5 % menores que a camada superficial. Nas áreas agrícolas, a redução entre a primeira camada e a segunda foi de 6,5, 6,0, 8,6, 9,8 2 e 10,6 % respectivamente para o C4D3, C12D5, C13D12, C14P8 e C23D12. Na comparação entre a primeira camada e a última o C4D3 teve uma redução igual ao CE de 79,3 % e as outras áreas tiveram uma redução de  $70 \pm 1$  % com exceção do C23D12 com um menor decréscimo de 67,4 % (Tabela 3).

Essa diferença nas taxas de redução do C ao longo do perfil provocou uma inversão na ordenação das áreas com maior e menor concentração entre as camadas superiores e inferiores. Na camada superior o CE apresentou a maior concentração não diferindo do C4D3 e C23D12. Na camada de 20 a 30 cm o C23D12 passa a ter a maior concentração, porém sem diferença em relação ao CE. Já nas duas últimas camadas o C4D3 e o CE ficaram com as menores concentrações (Tabela 3).

Tabela 3 – Carbono médio (%) ao longo do perfil, letras diferentes na coluna indicam diferenças estatística a 5% entre as áreas estudadas

Área	Carbono médio (%) / Profundidade						
	0 – 5	5 – 10	10 – 20	20 – 30	30 – 50	50 – 75	75 – 100
CE	4,39 a	3,11 a	2,34 a	1,78 ab	1,35 a	0,99 cd	0,90 c
C4D3	3,72 ab	3,48 a	2,44 a	1,56 b	1,12 b	0,87 d	0,77 d
C12D5	3,52 b	3,31 a	2,38 a	1,68 ab	1,31 a	1,16 ab	1,08 ab
C13D12	3,48 b	3,18 a	2,39 a	1,75 ab	1,31 ab	1,08 bc	0,99 bc
C14P8	3,46 b	3,12 a	2,30 a	1,55 b	1,26 ab	1,15 ab	1,05 b
C23D12	3,59 ab	3,21 a	2,68 a	2,06 a	1,48 a	1,26 a	1,17 a

Com a concentração de C e a densidade de cada camada foi possível calcular o estoque de C por camada e para todo o perfil. Na Figura 7 estão os estoques de cada camada formando o estoque total do perfil. Na primeira camada o maior estoque foi no CE com  $16,0 \text{ Mg ha}^{-1}$  seguido do C4D3, C23D12, C12D5, C13D12 e C14P8 com os respectivos valores: 13,6; 13,1; 12,8; 12,7 e  $12,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Nas duas camadas subsequentes não há diferença estatísticas entre os tratamentos. A partir da camada 20 a 30 cm as diferenças voltam a aparecer ocorrendo uma inversão da ordenação dos estoques, acompanhando o comportamento da concentração de C.

A diferença entre os estoques acumulados de cada camada só aparece quando se contabiliza o estoque de 0 a 75 cm onde o C23D12 ( $134,8 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ) foi maior que o C4D3 ( $118,6 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ) e o CE ( $116,5 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ). No estoque total de 0 a 100cm o C23D12 apresentou o maior estoque de  $162,4 \text{ Mg C ha}^{-1}$ , 18,2% superior ao CE, enquanto que o C12D5, C13D12 e C14P8 ficaram com estoques em média 7,8% superiores ao CE, porém sem diferença estatística (Figura 7).

Na camada de 0 a 20 cm (profundidade até a qual a maioria dos estudos se limita) os estoques de C foram todos iguais estatisticamente, o CE teve estoque de  $50,1 \text{ Mg C ha}^{-1}$  e nas áreas agrícolas o mínimo foi  $49,3 \text{ Mg C ha}^{-1}$  no C14P8 e o máximo  $51,9 \text{ Mg C ha}^{-1}$  no C23D12.



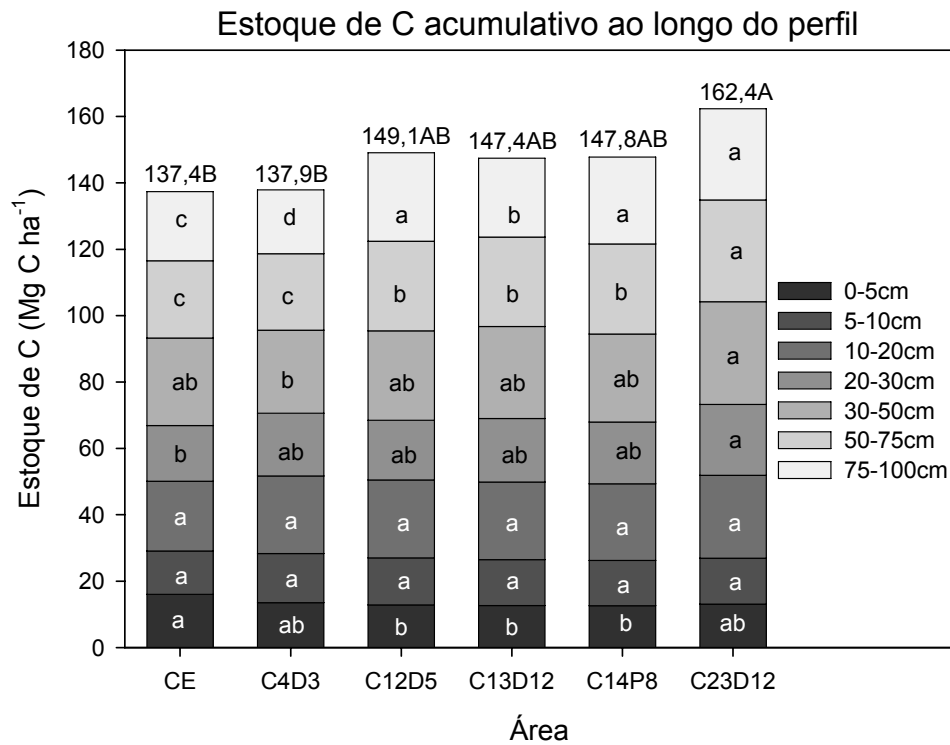


Figura 7 – Estoques de C (Mg C ha<sup>-1</sup>) de cada camada para formar o estoque total em todas as áreas, letras minúsculas diferentes indicam estoques médios das camadas individuais diferentes, letras maiúsculas indicam diferenças entre os estoques médios totais, números se referem aos estoques totais

O estoque de C correlacionou-se positivamente e significativamente com o tempo de cultivo total, incluindo grãos e pastagem (Figura 8). A inclinação da reta foi de 0,80 com um intercepto de 135,30 Mg C ha<sup>-1</sup>, ou seja para cada ano de cultivo o estoque de carbono aumentou 0,80 Mg C ha<sup>-1</sup> (Figura 8).

O  $\delta^{13}\text{C}$  aumentou com a profundidade no CE e no C4D3, nas outras áreas ele diminuiu na segunda camada e na terceira seguiu o comportamento do CE e C4D3. Na camada superficial o CE e o C4D3 apresentaram os menores  $\delta^{13}\text{C}$  (-27,6 e -27,7 ‰ respectivamente) o C12D5 (-25,6 ‰) e C13D12 (25,7 ‰) ficaram com valores intermediários seguido do C23D12 (-24,2 ‰) e do C14P8 (-23,4 ‰) que apresentou o maior valor. Na segunda camada os valores foram de: -26,7; -27,4; -26,0; -25,9; -24,0 e -25,0 ‰ respectivamente para o CE, C4D3, C12D5, C13D12, C14P8 e C23D12 (Figura 9).

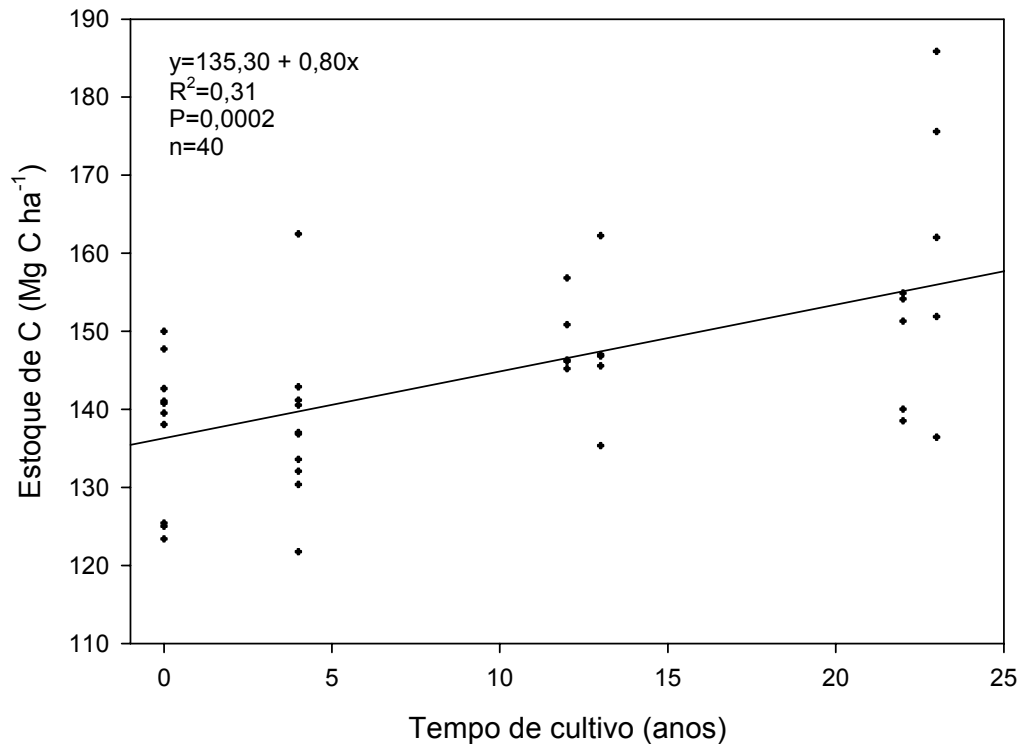


Figura 8 – Correlação entre o tempo de cultivo e o estoque de C de 0 a 100cm (Mg C ha<sup>-1</sup>)

O aumento do  $\delta^{13}\text{C}$  ao longo do perfil do CE é superior ao esperado devido a decomposição da MOS e mudanças históricas na composição atmosférica indicando que ocorreram mudança na composição florística na área de estudo (Figura 9).

Quando se compara os valores médios de  $\delta^{13}\text{C}$  ao longo do perfil do CE com o C4D3, observa-se apenas diferenças estatísticas nas camadas de 5 a 10 cm, onde o CE tem  $\delta^{13}\text{C}$  0,7 ‰ maior, e nas camadas de 50 a 75 e 75 a 100 cm, onde o C4D3 tem  $\delta^{13}\text{C}$  0,5 e 0,7 ‰ maior que o CE.

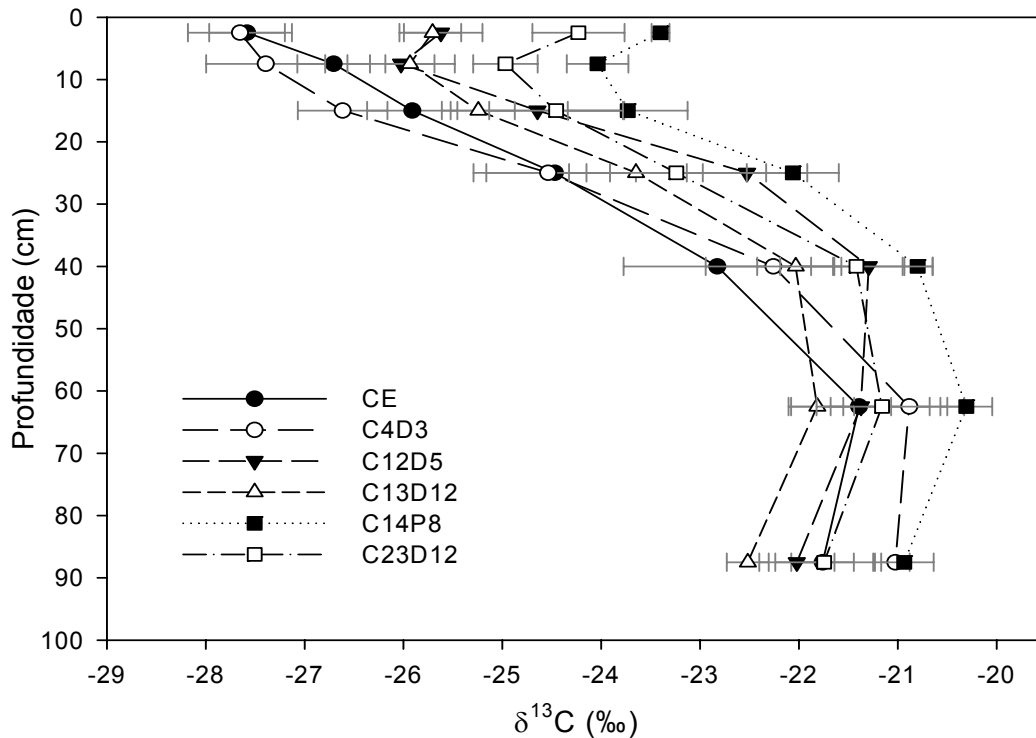


Figura 9 –  $\delta^{13}\text{C}$  ao longo do perfil para as áreas estudadas

Com a informação da composição isotópica do C dos solos obteve-se a porcentagem de C proveniente de plantas do ciclo fotossintético C3 e C4. Na Figura 10 A estão os estoques totais de C na camada 0 a 5 cm e os estoques de  $C_{C3}$  e  $C_{C4}$ , mostrando a tendência de substituição do C ao longo da cronosequência, a medida que o C4 aumenta ocorre uma diminuição do C3.

Essa substituição pode ser observada até a camada de 30 a 50 cm após a qual não se pode inferir se as mudanças são devido ao manejo atual ou devido a alterações anteriores da composição da vegetação (Figura 9).

O estoque de  $C_{C4}$  de 0 a 50 cm foi maior no C14P8, contribuindo com 20,5 % do carbono total, seguido do C23D12 e do C12D5 onde o  $C_{C4}$  contribuiu respectivamente com 12,5 % e 12,3 % do C total, o C13D12 foi o que teve o menor acúmulo de C de planta C4 com 7,2 % (Figura 10 B).

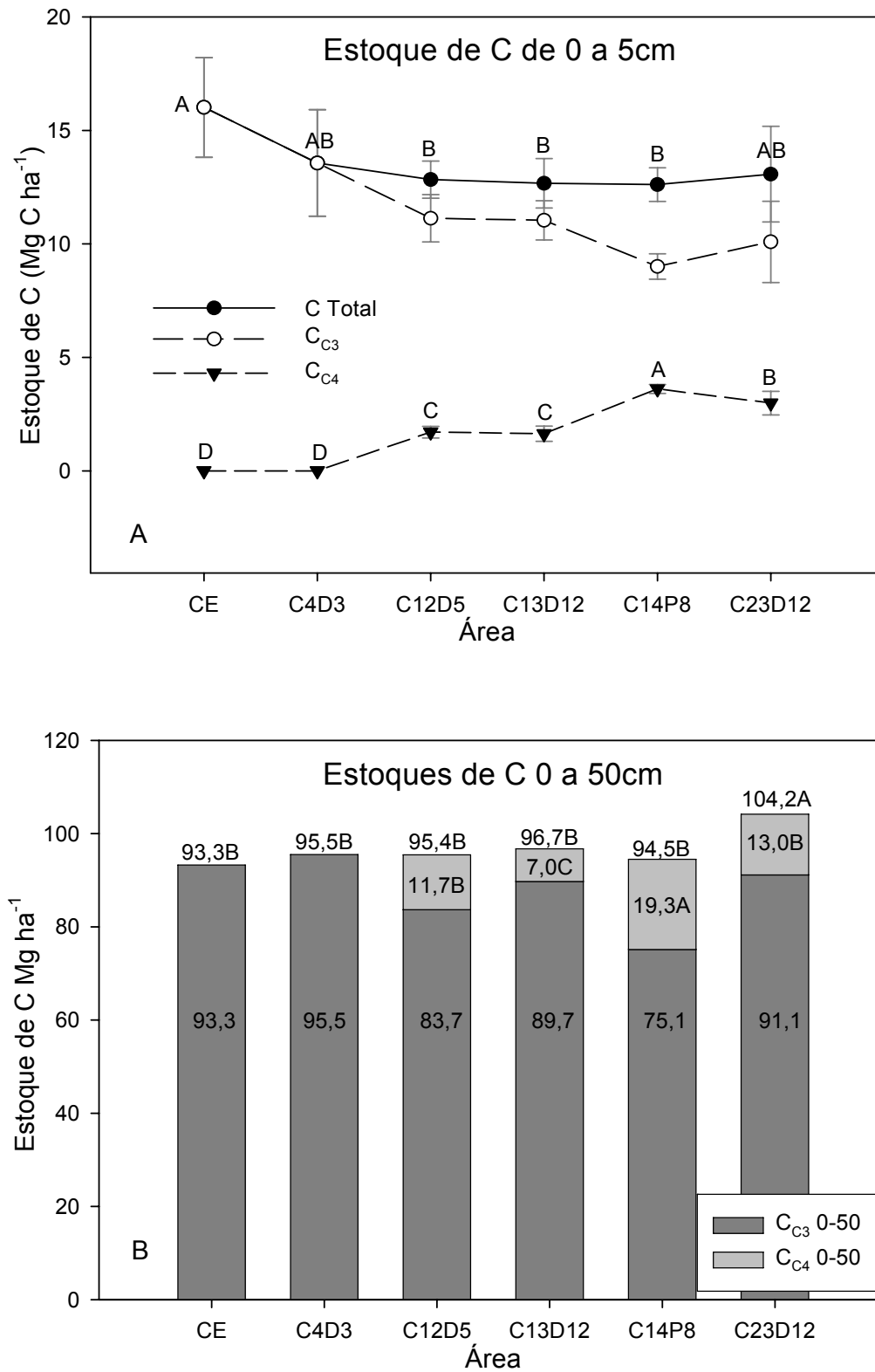


Figura 10 – (A) Estoque de C na camada 0 a 5 cm dividido em estoque C total, estoque de C<sub>C3</sub> e estoque de C<sub>C4</sub> em Mg C ha<sup>-1</sup>, letras diferentes indicam diferenças ao longo do eixo da abscissa. (B) Estoque total de C de 0 a 50 cm dividido em C<sub>C3</sub> e C<sub>C4</sub> em Mg C ha<sup>-1</sup>, letras diferentes indicam diferenças ao longo do eixo da abscissa

Em relação ao estoque de C de 0 a 100 cm a contribuição do C de plantas C4 é de 7,9; 4,8; 13,1 e 8,0 % respectivamente para o C12D5, C13D12, C14P8 e C23D12.

A taxa de acúmulo de  $C_{C4}$  foi maior no C12D5 (Tabela 4). Embora o C14P8 tenha o maior acúmulo de  $C_{C4}$  isso foi diluído devido ao longo tempo de cultivo, 14 de cultivo de grãos e 8 de pastagens (Tabela 1). A partir das taxas de incremento de  $C_{C4}$  foi possível estimar as taxas para  $C_{C3}$  pela diferença entre as taxas totais e as taxas de  $C_{C4}$  (Tabela 4). Esse cálculo peca por subtrair taxas de acúmulo total de C de 0 a 100 cm por taxas de acúmulo de  $C_{C4}$  de 0 a 50 cm, mas parece ser a melhor aproximação do que acontece na realidade.

Tabela 4 – Taxas de acúmulo de carbono ( $\text{Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) proveniente de plantas C4, plantas C3, taxa de acúmulo total de C ( $C_{C4} + C_{C3}$ ) e taxa de acúmulo total de N ( $\text{Mg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) de 0 a 100 cm

Elemento	Área				
	C4D3	C12D5	C13D12	C14P8	C23D12
$C_{C4}$	0,00	0,98	0,54	0,88	0,57
$C_{C3}$	0,13	0,00	0,23	-0,41	0,52
Carbono total	0,13	0,98	0,77	0,47	1,09
Nitrogênio	0,07	0,04	-0,03	0,03	0,01

A Tabela 4 indica que todos os incrementos de C das áreas C12D5 e C14P8 foram devido às entradas de MOS proveniente das gramíneas. No C14P8 ocorreu uma perda de C oriundo da vegetação nativa de pelo menos  $9,02 \text{ Mg C ha}^{-1}$  ( $-0,41 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1} \times 22 \text{ ano}$ ) sendo que provavelmente essa perda deve ter sido maior, devido a entrada de C proveniente das culturas C3. O C12D5, C13D12 e C14D5 tiveram o mesmo estoque final de C (Figura 7) com taxas de acúmulo de C total,  $C_{C3}$  e  $C_{C4}$  diferentes (Tabela 4).

Realizando a integração dos dados de estoque de  $C_{C3}$  e  $C_{C4}$  de todas as áreas, na camada de 0 a 50 cm, o resultado é um acúmulo anual de  $C_{C4}$  de  $0,77 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  altamente significativo e com um bom coeficiente de determinação e uma perda de  $C_{C3}$  de  $0,44 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  significativo, porém com um baixo coeficiente de determinação (Figura 11 A e B). Quando a regressão é feita com os estoques de  $C_{C3}$  de 0 a 100 cm não existe nenhuma tendência significativa na variação do estoque com o tempo.

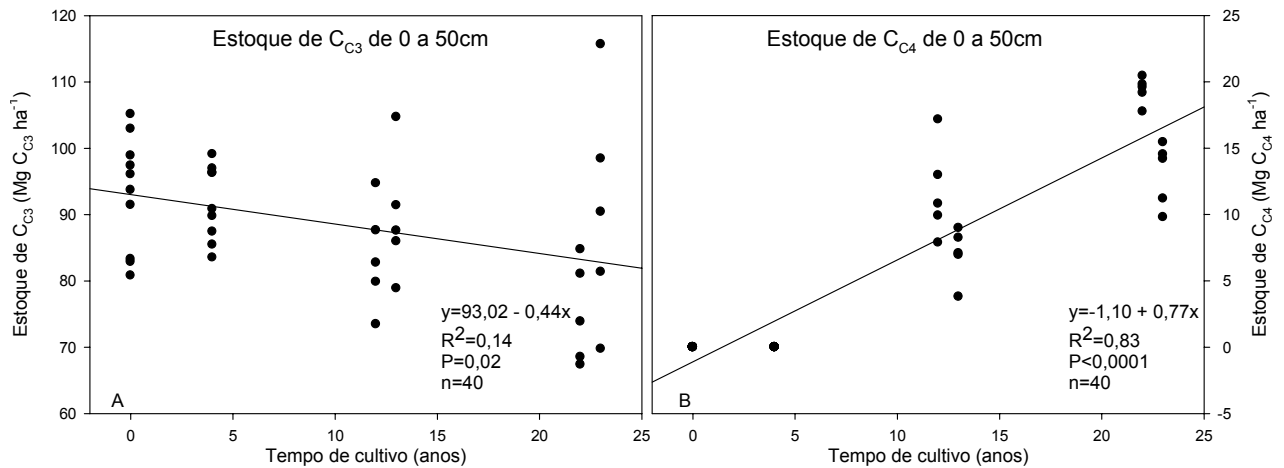


Figura 11 – Correlação entre o tempo de cultivo e o estoque de C<sub>C3</sub> (gráfico A) e C<sub>C4</sub> (gráfico B) de 0 a 50 cm (Mg C ha<sup>-1</sup>)

## b) Nitrogênio

Não foi possível detectar muitas variações no teor de nitrogênio entre as áreas, só houve diferença estatística nas duas primeiras profundidades em apenas duas áreas. Na camada 0 a 5 cm o CE apresentou maior teor de N e o C13D12 o menor com respectivamente 0,20 e 0,15 %, na camada seguinte o C4D3 com 0,17 % teve o maior teor e o C13D5 com 0,13 % o menor (Figura 12). Embora estatisticamente a diferença entre as áreas seja pequena, em termos percentuais as diferenças são grandes. Na primeira camada o CE possui 33 % mais N que o C13D5 enquanto que na segunda camada o C4D3 teve 31 % mais N que o C13D12.

Analisando o estoque de N em cada camada, observou-se três camadas onde não houve diferença entre as áreas (5 a 10, 10 a 20 e 30 a 50 cm). Nas camadas onde houve diferença só foi possível distinguir entre áreas com maior e menor estoque, não havendo classes intermediárias (Figura 13).

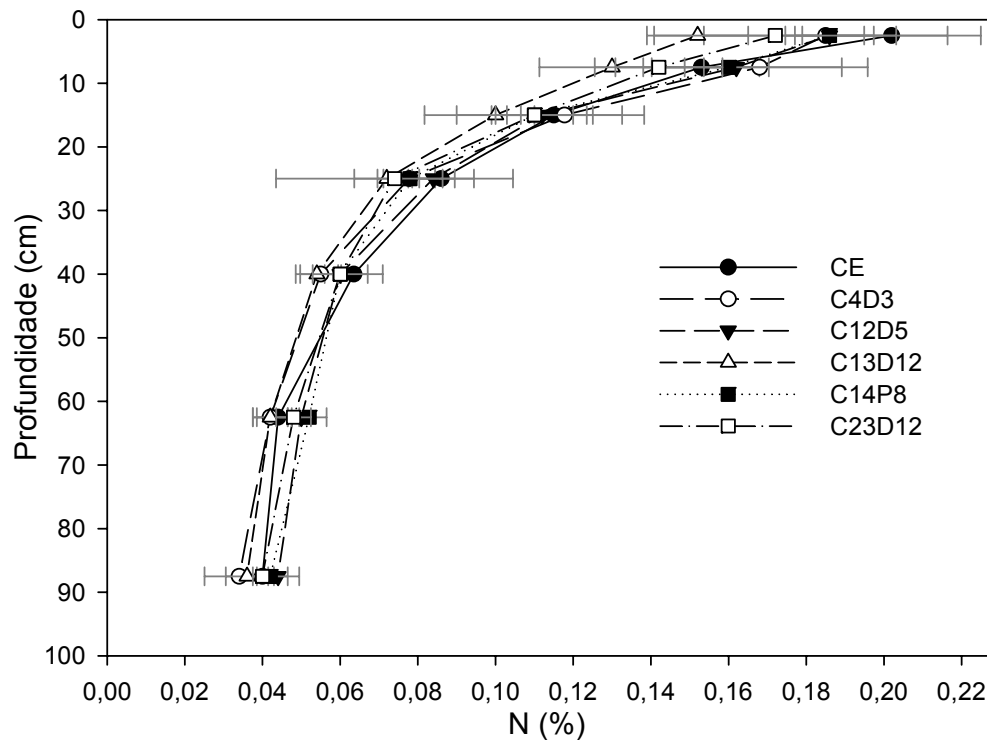


Figura 12 – N (%) ao longo do perfil das áreas estudadas

Nos estoques de N acumulativos foi possível observar diferença a partir dos estoques de 0 a 30 cm onde o C4D3 ( $3,45 \text{ Mg N ha}^{-1}$ ) apresentou o maior estoque e o C13D12 ( $2,90 \text{ Mg N ha}^{-1}$ ) o menor, o que se repetiu no estoque de 0 a 50 cm onde o C4D3 estocou  $4,68 \text{ Mg N ha}^{-1}$  e o C13D12  $4,04 \text{ Mg N ha}^{-1}$ . No estoque de 0 a 75 cm o C14P8 passa a ter o maior estoque com  $5,98 \text{ Mg N ha}^{-1}$  e o C13D12 ( $5,11 \text{ Mg N ha}^{-1}$ ) o menor.

No estoque total de 0 a 100 cm (Figura 13) o CE não diferiu estatisticamente de nenhuma área agrícola, e foi maior no C14P8 ( $7,1 \text{ Mg N ha}^{-1}$ ) e no C12D5 ( $6,9 \text{ Mg N ha}^{-1}$ ) e menor no C13D12 ( $6,04 \text{ Mg N ha}^{-1}$ ). As taxas de acúmulo de N foram de  $67,5$ ;  $41,7$ ;  $-33,8$ ;  $30,0$  e  $1,7 \text{ Kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  respectivamente para o C4D3, C12D5, C13D12, C14P8 e C23D12.

O  $\delta^{15}\text{N}$  aumentou com a profundidade em todas as áreas. Só foi observado diferença na camada de 0 a 5 cm onde o CE e o C4D3 apresentaram menor  $\delta^{15}\text{N}$  e nas duas camadas subsequentes onde apenas o C4D3 apresentou menor relação isotópica (Figura 14).

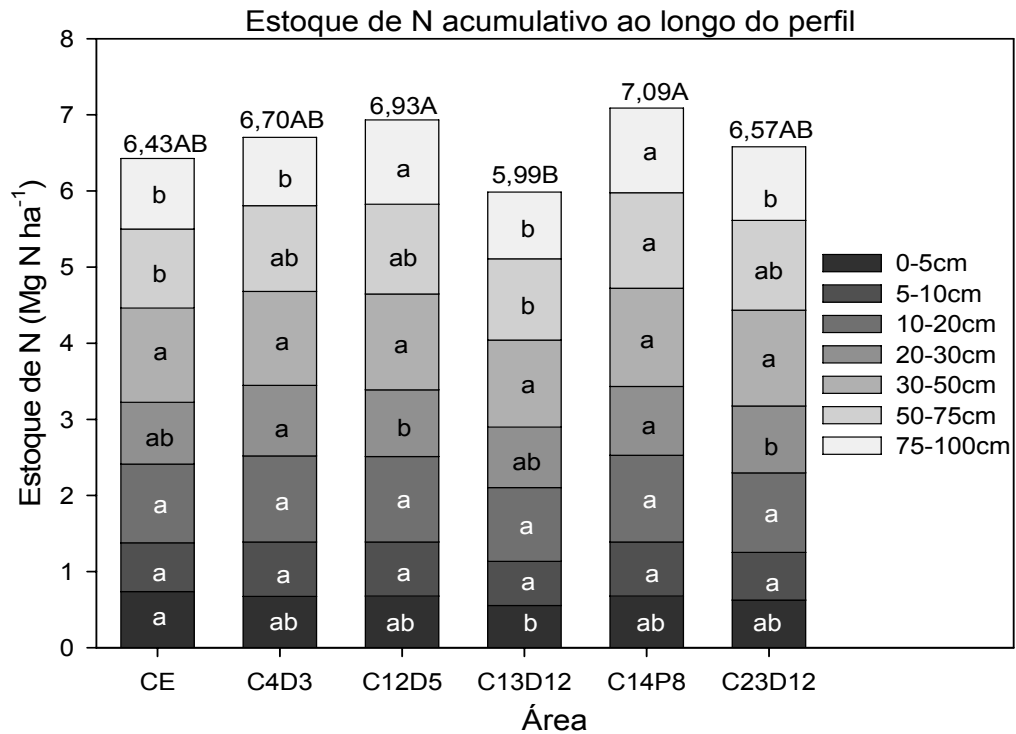


Figura 13 – Estoques de N (Mg N ha<sup>-1</sup>) de cada camada empilhados para formar o estoque total em todas as áreas, letras minúsculas diferentes indicam estoques médios das camadas individuais diferentes, letras maiúsculas indicam diferenças entre os estoques médios totais

### c) Relação Carbono e Nitrogênio

A relação C/N foi maior no C13D12 (média geral de 24,8) e no C23D12 (média geral de 24,5) do que as outras áreas, com relações C/N de 21,4; 21,3; 21,1 e 20,8 respectivamente para o C12D5, CE, C14P8 e C4D3.

Na camada superficial o C13D12 teve a maior relação C/N de 22,8 o CE, C23D12 e C4D3 ficaram com os respectivos valores intermediários 21,9; 20,8 e 20,2 e o C12D5 e C14P8 tiveram a menor relação de 19,0 e 18,5. Nas duas ultimas camadas é possível distinguir 3 grupos sendo eles o C23D12 e C13D12 (28,4 e 28,3) com maior relação C/N, o C12D5 e C14P8 (24,3 e 24,3) com relação C/N intermediários e o CE e C4D3 (22,6 e 19,8) com a menor relação C/N (Figura 15).

No CE não houve uma tendência clara na relação C/N ao longo do perfil, o que também não foi observado no C4D3. Nas outras áreas agrícolas houve um aumento da relação C/N com a profundidade, o maior aumento ocorreu no C23D12 onde a relação C/N passou de 20,8 para 28,4 (Figura 15).



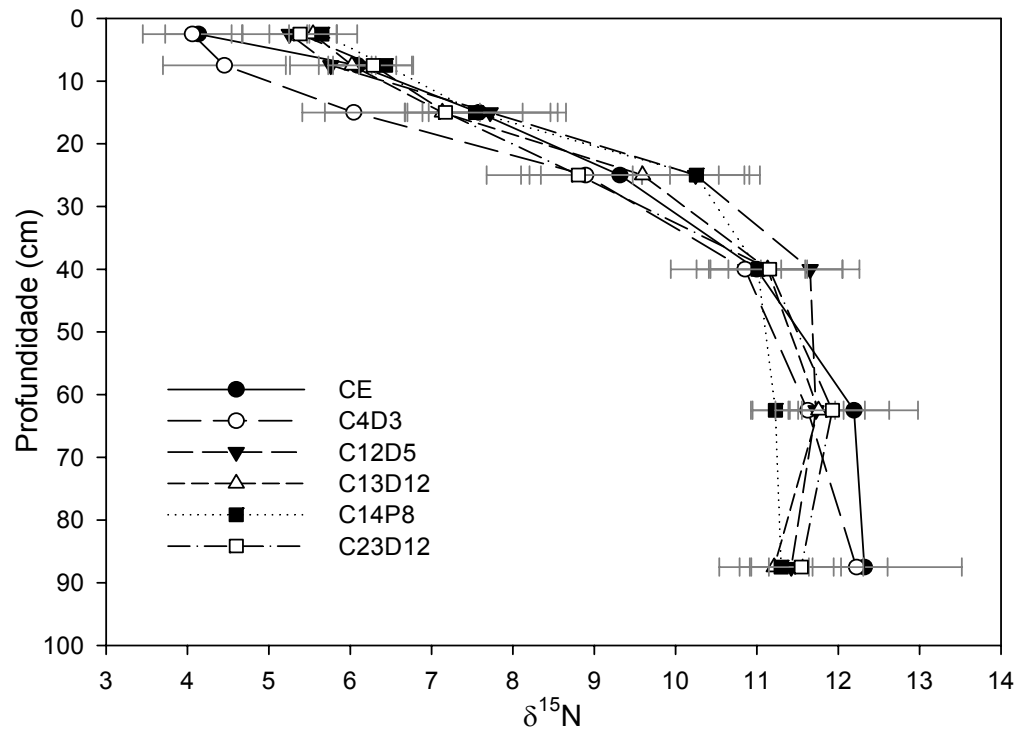


Figura 14 –  $\delta^{15}\text{N}$  ao longo do perfil das áreas estudadas

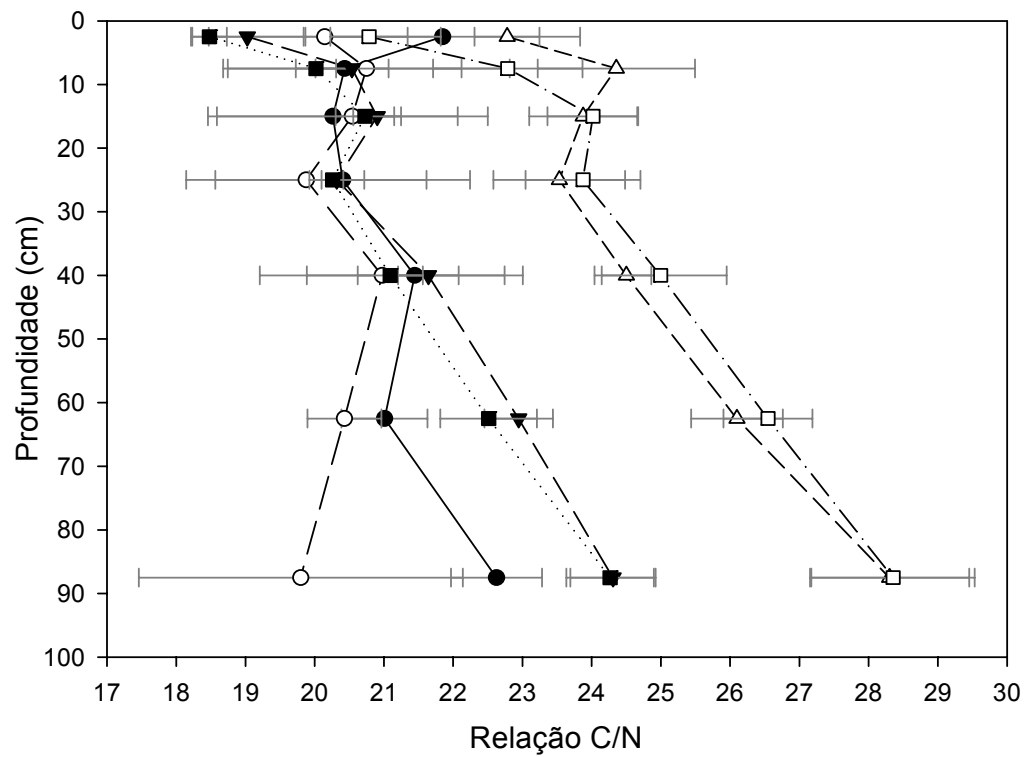


Figura 15 – Relação C/N ao longo do perfil nas áreas estudadas

A correlação entre os teores de N e o C foi altamente significativa ( $P < 0,0001$ ) tanto no conjunto dos dados (Figura 16 A), quanto separados por área ou por profundidade, excetuando-se a camada de 75 a 100 cm (dados não mostrados), que apresentou vários pontos de  $N=0,04$  (de 30 observações 23 foram 0,04). A inclinação da reta foi de 19,7, ou seja pra cada aumento de 1 % no N houve um aumento de 19,7 % no C.

Na análise das correlações entre o N (%) e o C (%) separadas por área a maior inclinação da reta foi para o C13D12 com valor de 22,5, seguida do C23D12 com inclinação de 19,5. O que concorda com as maiores relações C/N destas duas áreas e menores estoques de N. Ou seja elas estão incorporando mais C por N do que as outras áreas. As menores inclinações foram do C14P8 de 17,4 e do C12D5 com 18,1 ambas as áreas com os maiores estoques de N.

A correlação entre a mudança relativa do teor de C e a relação C/N das áreas agrícolas em relação ao CE foi significativa (Figura 16 B) indicando que o aumento do teor de C foi acompanhado de um aumento na relação C/N. Para cada aumento de 1% do teor de C a relação C/N aumentou 0,35.

A correlação entre as mudanças relativas ( $\Delta$ ) dos estoques de N e C das áreas agrícolas em relação ao CE foi altamente significativa (Figura 16 C) com uma inclinação da reta de 0,97. Analisando as regressões separando por área, todas as inclinações foram maiores que 1 sendo que o C14P8, C13D12 e C12D5 tiveram as respectivas inclinações de 1,04; 1,06 e 1,08 e o C23D12 e C4D3 inclinações de 1,20 e 1,17. O que mais separou as retas e fez com que a regressão geral ficasse com uma inclinação menor que 1 foram as interseções das retas que passou de -3,6; -3,1 e -0,8 respectivamente para o C14P8, C4D3 e C12D5, para 14,3 e 14,4 para o C23D12 e C13D12.

As correlações dos dados da Figura 16 C separadas por profundidade, e não por área, também foram todas positivas e significativas.

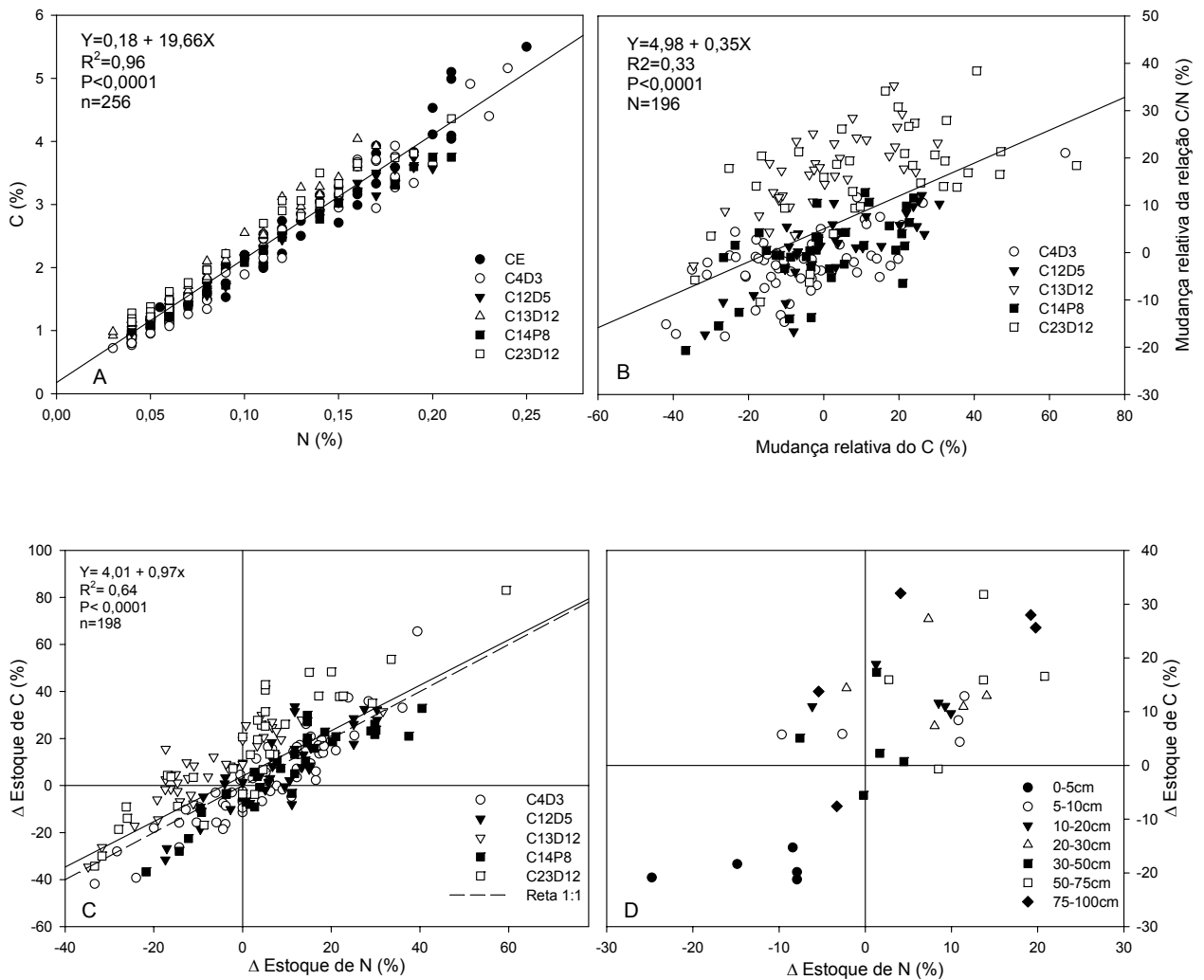


Figura 16 – (A) correlação entre N (%) e C (%) dividido por área com a reta de todas as áreas. (B) correlação entre a mudança relativa do C (%) e a mudança relativa na relação C/N (%) tendo como referencial o CE. (C) correlação entre o delta estoque de N (estoque de N da área agrícola em relação ao estoque de N do Cerrado em %) e delta estoque de C (%) dividido por área e com a reta da regressão entre todas as áreas e a reta 1:1. (D) correlação entre o  $\Delta$  estoque médio de N (%) e  $\Delta$  estoque médio de C (%) separado por camada

Dos 198 pontos da Figura 16 C 122 apresentaram uma variação positiva para o estoque de N e 131 para o C. A Figura 16 D mostra a concentração de  $\Delta$  negativos na camada de 0 a 5 cm. A maior variação positiva foi de um ponto de amostragem do C23D12 profundidade 20 a 30 cm com  $\Delta$  N de 59 % e  $\Delta$  C de 83 % maiores que o CE (Figura 16 C e D). A maior variação negativa foi no C4D3 camada de 0 a 5 cm com  $\Delta$  N de -33 % e  $\Delta$  C de -42 % (Figura 16 C e D).

#### d) Cálcio, Magnésio, pH, Alumínio, Fósforo e Potássio

A média geral da soma de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) foi de 14,83A; 9,07B; 8,65B; 7,88BC; 5,27C e 1,35D respectivamente para o C14P8, C12D5, C23D12, C13D12, C4D3 e CE. Até a profundidade de 10 a 20 cm houve as maiores diferenças entre as áreas, nas camadas subseqüentes apenas o C14P8 se destacou com a maior soma de Ca e Mg (Figura 17).

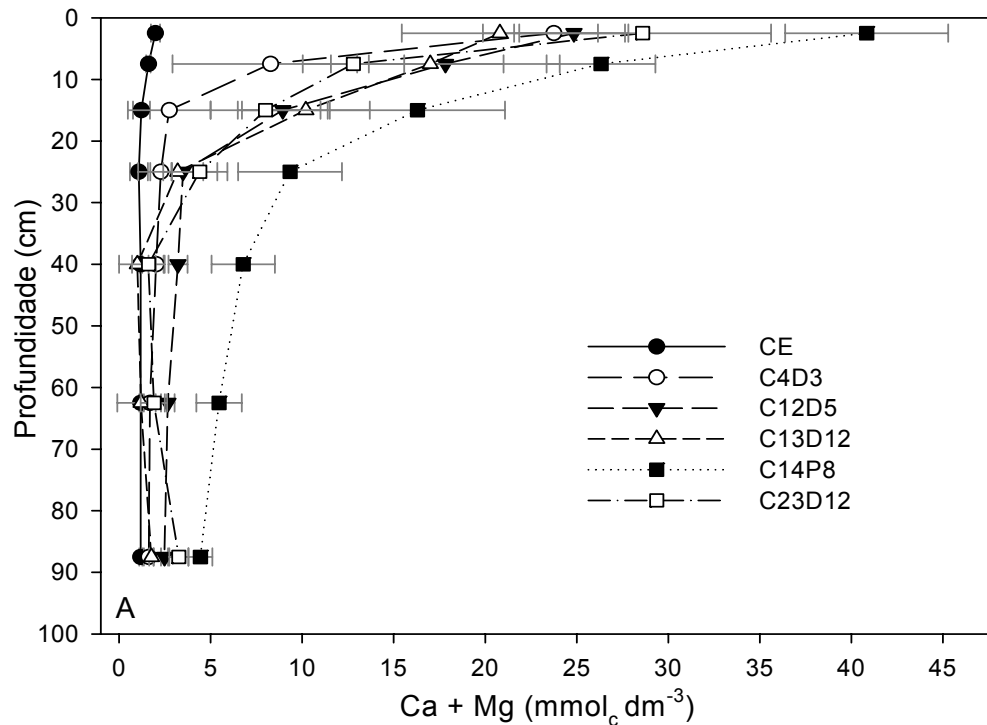


Figura 17 – Soma do Cálcio e Magnésio ( $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) ao longo do perfil para as áreas estudadas

O tempo de cultivo afetou o pH do solo até a última camada amostrada, ocorrendo um aumento do pH com o tempo de cultivo. Na camada de 0 a 5 cm os valores foram 5,28A; 5,18A; 4,83AB; 4,46BC; 4,26C e 3,66D respectivamente para o C23D12, C14P8, C13D12, C12D5, C4D3 e CE. Essa ordenação se repetiu ao longo do perfil, com três exceções onde o C14P8 teve menor pH que o C13D12, até a última camada (Figura 18). Na média geral o C23D12 (4,88) apresentou o maior pH seguido do C14P8 (4,64) e C13D12 (4,63). O C12D5 (4,24) ficou com o segundo menor pH e o C4D3 (4,01) e CE (3,88) foram os menores.

O CE e o C4D3 apresentaram os maiores valores médios de alumínio (Al), 5,46 e 4,75  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$  respectivamente, sendo que o C12D5 com 1,97  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$  teve maior teor médio de Al que o C23D12 e o C14P8 com respectivamente 1,25 e 1,04  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$  (Figura 19). Tanto

para a soma de Ca e Mg, pH e Al o C4D3 só diferiu do CE até a camada de 5 a 10 cm, a partir da camada de 10 a 20 cm não houve diferença entre essas áreas

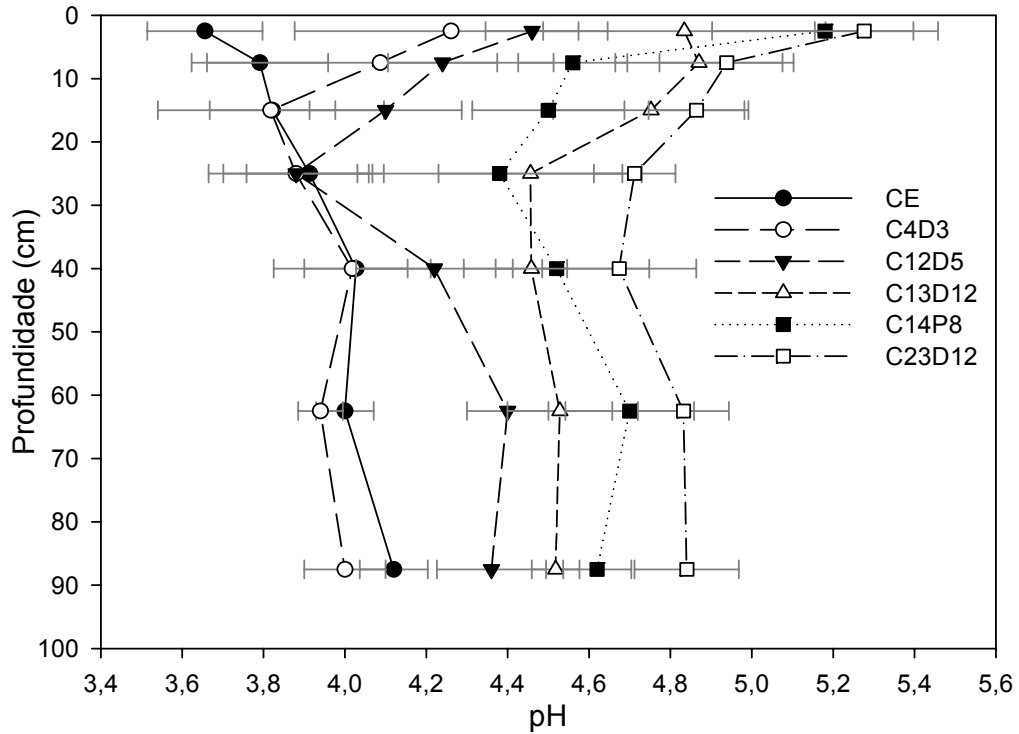


Figura 18 – pH ao longo do perfil para as áreas estudadas

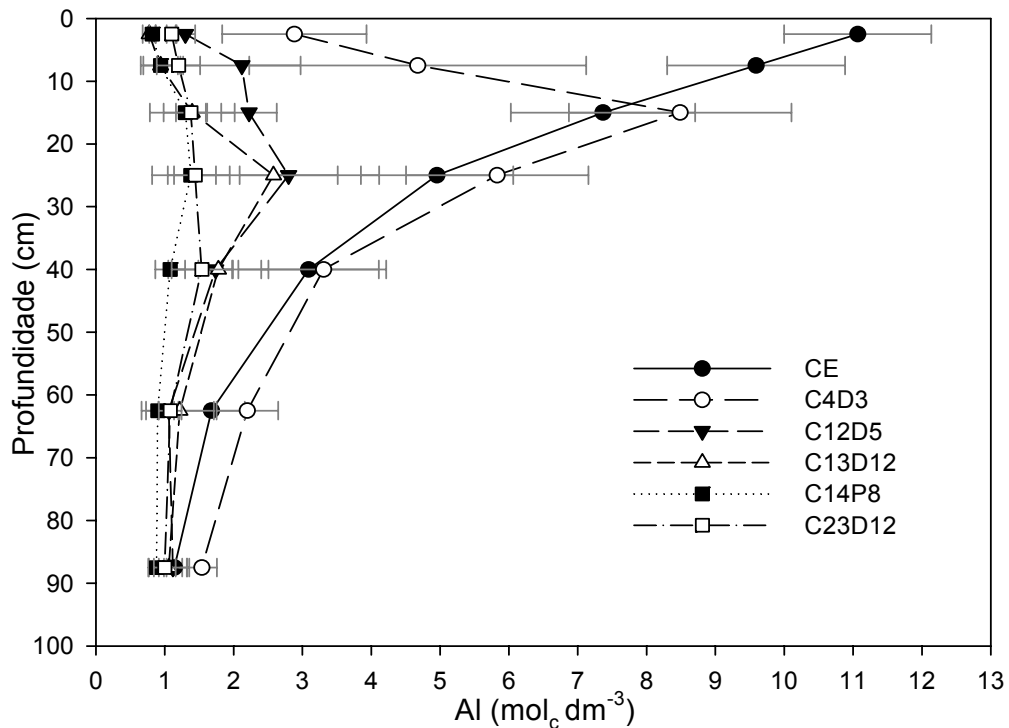


Figura 19 – Alumínio (mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) ao longo do perfil para as áreas estudadas

O Al apresentou uma correlação de decaimento exponencial com o aumento do pH (Figura 20) altamente significativa. O modelo só não é satisfatório para valores de pH superiores a 4,8 a partir do qual os valores de Al são subestimados.

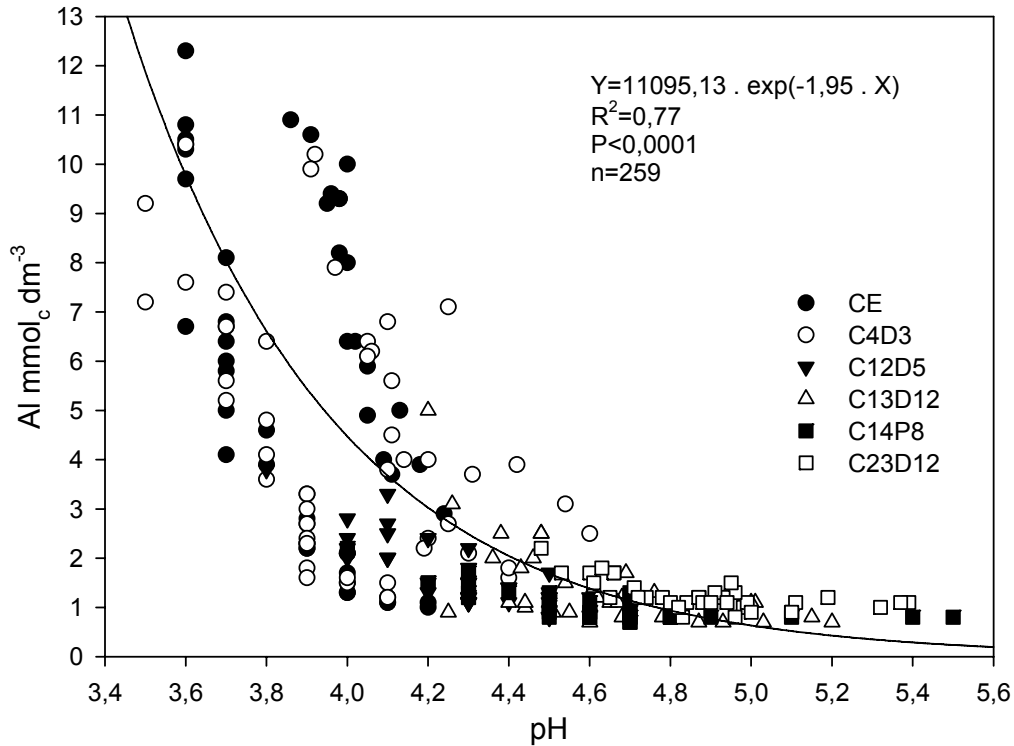


Figura 20 – Correlação exponencial entre o pH e o Alumínio ( $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ )

O fósforo disponível apresentou alta variabilidade, com distribuição não normal e muitos outliers, o que é freqüente em áreas cultivadas e fertilizadas anualmente em linha. Considerando as tendências gerais foi possível observar uma maior concentração de P na camada de 5 a 10 cm em todas as áreas agrícolas, com exceção do C4D3, e uma menor concentração de P no CE até a camada de 10 a 20 (Tabela 5), a partir da camada de 20 a 30 cm não houve diferença entre as áreas.

O potássio (K) apresentou maior concentração na camada superficial em todas as áreas. Na camada de 5 a 10 e 10 a 20 cm a área C13D12 apresentou a menor concentração de K, mais baixa do que o CE (Tabela 5). A partir da camada 20 a 30 cm as concentrações de K de todas as áreas ficaram próximas mas ainda com algumas diferença estatística porém não existe um padrão.

Tabela 5 – Concentração de fósforo ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) e potássio ( $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) até a profundidade de 20 cm, letras diferentes representam diferença estatística entre áreas na mesma profundidade

Prof. (cm)	CE	C4D3	C12D5	C13D12	C14P8	C23D12
Fósforo ( $\text{mg dm}^{-3}$ )						
0-5	6,2c	20,1a	9,3b	9,2b	9,7b	15,8a
5-10	5,3b	14,4ab	17,2ab	17,4ab	16,8ab	23,5a
10-20	3,6b	5,5ab	7,84ab	11,1ab	5,1ab	12,4a
Potássio ( $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ )						
0-5	3,9b	11,3a	11,8a	9,3a	13,0a	11,3a
5-10	2,8b	6,5a	5,3a	2,4b	7,5a	5,8a
10-20	2,3ab	4,4a	2,4ab	1,9b	3,4ab	4,4a

#### e) Micronutrientes

As concentrações de ferro (Fe) e manganês (Mn) foram maiores no CE e no C4D3 e decresceram com o tempo de cultivo (Tabela 6 e Figura 21). O zinco (Zn), cobre (Cu) e boro (B) tiveram maiores concentrações nas áreas agrícolas do que no CE (Tabela 6 e Figura 22).

Na distribuição ao longo do perfil o Fe, Zn e Cu apresentaram maior concentração na camada de 5 a 10 cm nas áreas agrícolas, com exceção do C4D3 (Tabela 6 e Figura 21 e 23) enquanto que o Mn não apresentou diferença nos primeiros 10 cm (Tabela 6) e o B não teve diferença nos primeiros 30 cm (Tabela 6 e Figura 23). Com exceção do B (Figura 23) não houveram diferenças estatísticas entre as áreas abaixo da camada de 30 a 50 cm (Figura 21 e 23).

Tabela 6 – Concentrações de ferro, manganês, zinco, cobre e boro ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) até a profundidade de 20 cm, letras diferentes representam diferença estatística entre áreas na mesma profundidade

Prof. (cm)	CE	C4D3	C12D5	C13D12	C14P8	C23D12
Ferro ( $\text{mg dm}^{-3}$ )						
0-5	79,7a	62,0ab	44,9bc	19,4d	23,6cd	14,2d
5-10	72,0a	68,5a	50,0ab	24,6bc	35,0b	19,3c
10-20	53,2ab	65,7a	50ab	24,4cd	34,8bc	19,1d
Manganês ( $\text{mg dm}^{-3}$ )						
0-5	2,9a	2,4ab	1,4bc	0,75d	1,0cd	0,65d
5-10	1,2a	1,6a	1,4a	0,66b	1,1ba	0,56b
10-20	0,82a	1,0a	0,56ab	0,50ab	0,51ab	0,40b
Zinco ( $\text{mg dm}^{-3}$ )						
0-5	0,39c	2,4ab	2,9a	1,3b	2,5ab	1,6ab
5-10	0,16c	1,4b	4,5a	2,4ab	3,6ab	2,31ab
10-20	0,13b	0,38a	1,14a	1,14a	0,51a	0,90a
Cobre ( $\text{mg dm}^{-3}$ )						
0-5	0,32b	0,36b	0,60a	0,40b	0,40b	0,43ab
5-10	0,35bc	0,33c	0,90a	0,51bc	0,50bc	0,56b
10-20	0,32a	0,32a	0,51a	0,50a	0,32a	0,44a
Boro ( $\text{mg dm}^{-3}$ )						
0-5	0,47bc	0,63ab	0,44bc	0,64ab	0,32c	0,71a
5-10	0,46bc	0,60ab	0,42bc	0,67a	0,36c	0,71a
10-20	0,46bc	0,61ab	0,46bc	0,64ab	0,35c	0,72a



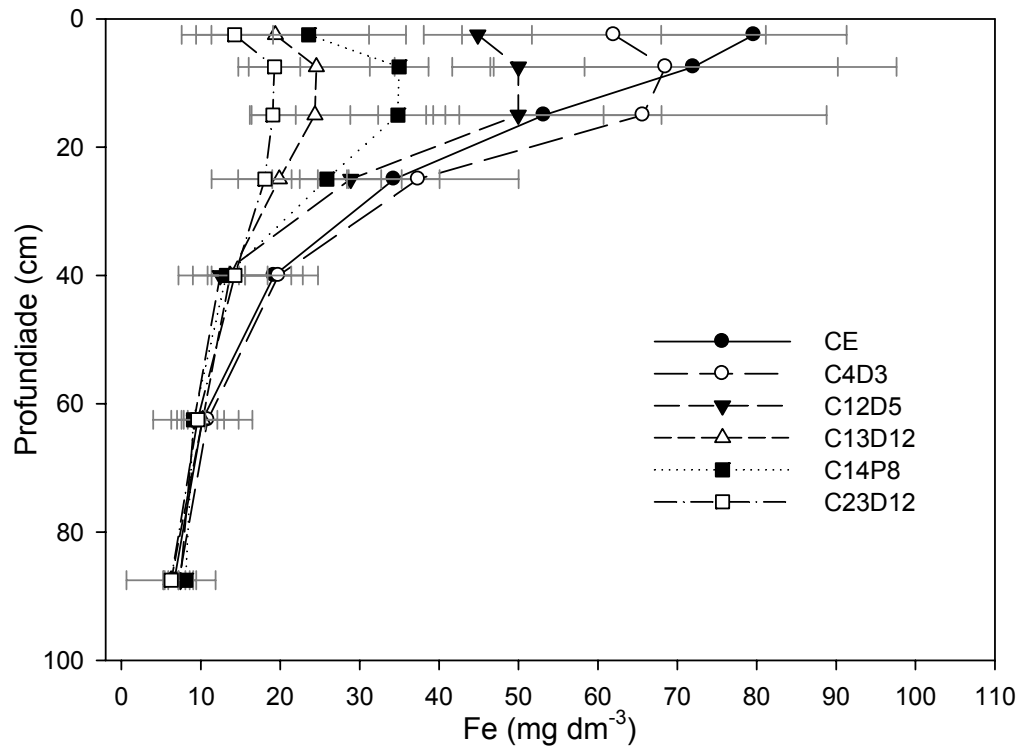


Figura 21 – Ferro ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) ao longo do perfil para as áreas estudadas

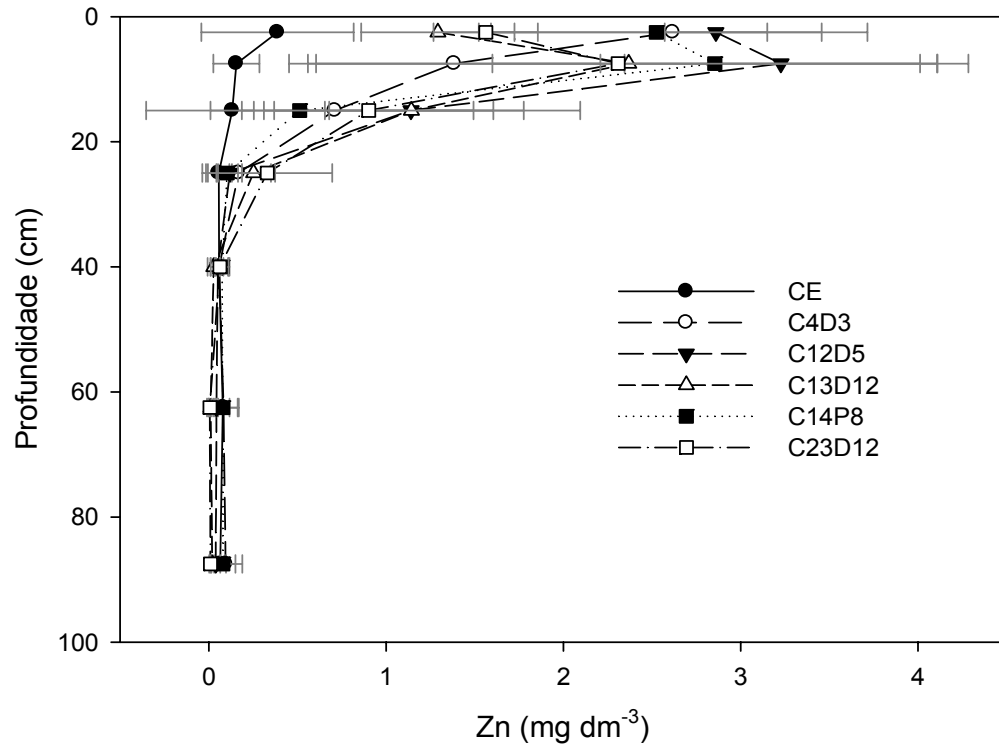


Figura 22 – Zinco ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) ao longo do perfil nas áreas estudadas

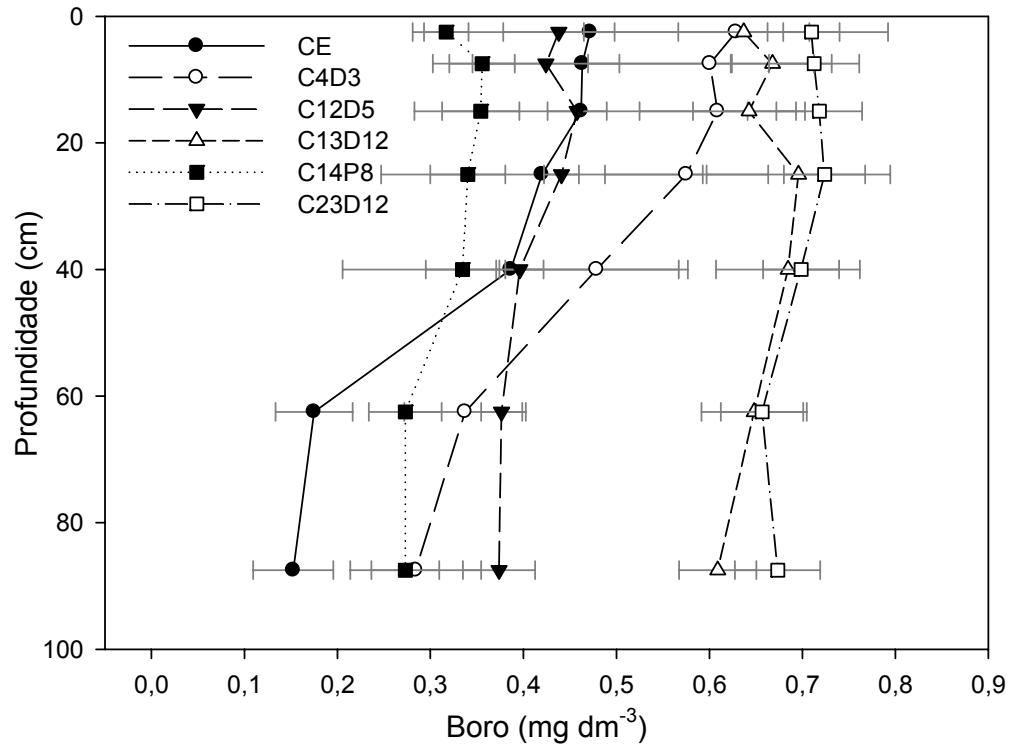


Figura 23 – Boro (mg dm<sup>-3</sup>) ao longo do perfil nas áreas estudadas

## 5 DISCUSSÃO

### 5.1 Características físicas

O aumento da densidade encontrado no CE (Figura 5) foi de 33 % entre a camada de 0 a 5 cm ( $0,73 \text{ g cm}^{-3}$ ) e a de 30 a 50 cm ( $0,97 \text{ g cm}^{-3}$ ) maior do que o encontrado por Bayer et al. (2006) que também trabalharam com latossolos sob Cerrado, porém somente até 20 cm de profundidade, e encontraram um aumento máximo de  $0,83 \text{ g cm}^{-3}$  da camada de 0 a 5 cm para  $1,02 \text{ g cm}^{-3}$  (aumento de 24,4 %) na camada de 10 a 20 cm. Lardy et al. (2002), em um estudo em latossolos próximo a Brasília, relataram apenas um pequeno incremento da densidade no Cerrado que passou de  $0,72 \text{ g cm}^{-3}$  na camada de 0 a 10 cm, muito próximo ao encontrado no CE, para  $0,86 \text{ g cm}^{-3}$  na camada de 10 a 20 cm, ficando mais ou menos estabilizado nesse valor até a profundidade de 200 cm. Siqueira et al. (2003) em um trabalho localizado em Sinop MT, 80 km a norte do presente estudo, encontraram uma densidade superficial de  $0,76 \text{ g cm}^{-3}$  com um aumento para  $1,00 \text{ g cm}^{-3}$  para a camada de 10 a 20 cm em solo nativo, aumento de 31 % (muito parecido ao encontrado no presente estudo). Sisti et al. (2004) também encontraram um aumento de 22 % na densidade entre as camadas superficiais e a de 30 a 40 cm. O aumento da densidade ao longo do perfil do CE foi alto se comparado a maioria dos estudos porém não está muito acima do limite superior encontrado na literatura.

Segundo Souza; Alves, (2003a), o aumento da densidade com a profundidade, mesmo em sistemas naturais, é devido principalmente à diminuição da matéria orgânica e ao peso das camadas subjacentes, condições que acontecem no CE.

Um aumento da densidade quando se transforma um solo sob vegetação nativa em solo sob agricultura mecanizada de larga escala já foi largamente relatado na literatura (ROSCOE; BUURMAN, 2003; SOUZA; ALVES, 2003a; CORBEELS et al., 2006). Sendo resultado principalmente da movimentação de maquinário e revolvimento do solo, o que quebra os macroagregados diminuindo o número de macroporos.

A densidade foi maior no C4D13 (Figura 5) provavelmente devido ao menor teor de argila bem como a intensa movimentação de maquinário na abertura da área. No C12D5 ocorreu uma diminuição da densidade na camada 10 a 20 cm provavelmente devido a passagem de subsolador em 2000.

Embora a maior distância entre as amostras tenha sido de 3,4 km houveram diferenças na textura entre as áreas (Figura 6). Segundo Zinn, Lal e Resck, (2005b) em uma mesma zona

climática os principais fatores que influenciam o C do solo são: a condição hídrica (excessivamente ou imperfeitamente drenados) do solo seguido da textura. Existem evidências de uma relação direta e positiva entre o teor de argila ou argila mais silte e o conteúdo de C no solo (SIX et al., 2002). Lepsch et al. (1994) apud Freitas et al. (2000) encontraram uma equação linear significativa para estimar o C do solo apenas com os teores de argila mais silte. Também colabora com este fatores, que em solos bem intemperizados, os óxidos de Fe e Al atuam como protetores da MOS (BAYER et al., 2006).

Porém, para que isso seja verdadeiro, é preciso obedecer o máximo possível a condição de *ceteris paribus*, geralmente autores que chegam a uma correlação significativa entre textura e C trabalham com usos do solo parecidos. Amado et al. (2006) encontrou uma boa correlação entre C e teor de argila em solos sob vegetação nativa, porém não houve correlação quando se analisou os solos agrícolas sob PD.

No presente trabalho a argila sozinha não explica a variação do carbono nas camadas superficiais (Tabela 2). A partir da camada de 20 a 30 cm a correlação passa a ser positiva e significativa, porém a inclinação é uma ordem de grandeza abaixo das encontradas por Zinn, Lal e Resck, (2005b). Utilizando a somatória entre argila e silte também não se observe boas correlações.

A correlação negativa entre argila e carbono observada quando se analisa todos os dados, não discriminando por camada (Tabela 2), foi devido ao incremento de argila (Figura 6) e decréscimo de carbono (Tabela 3) em profundidade. Ambos os processos são bem conhecidos e divulgados na literatura.

Zinn, Lal e Resck, (2005) estabeleceram, aleatoriamente, um limite máximo aceitável da diferença entre os teores de argila da área nativa e a agrícola de  $100 \text{ g kg}^{-1}$ , para que a cronosequência seja “isolada” do efeito textura, o que valida a comparação de todas as áreas agrícolas com o CE.

Portanto tanto empiricamente (limite aleatório estabelecido na literatura) como experimentalmente (pela ausência de correlação entre argila ou argila+silte com o C) parece seguro afirmar que a cronosequência não tem na textura uma causa de variação significativa do carbono.

## 5.2 Características químicas

### a) Carbono

O teor de C de 4,4 % da camada de 0 a 5 cm (Tabela 2) do CE é similar ao encontrado por Corbeels et al. (2006) e superior aos de outros autores que também trabalharam no Cerrado (SILVA; LEMAINSKI; RESCK, 1994; CORAZZA et al., 1999; OLIVEIRA et al., 2004; BAYER et al., 2006; CARVALHO et al., 2007).

Conforme descrito por Murty et al. (2002) o CE apresentou a maior concentração de C na camada superficial ocorrendo uma grande redução ao longo do perfil (Tabela 2). O que também foi encontrado por Corbeels et al. (2006) em um trabalho com latossolos nos municípios de Rio Verde e Montevidéu em Goiás onde o C de solos sob Cerrado diminuiu em 50% da camada de 0 a 5 para a de 10 a 20 cm (de 4,7 % para 2,3 %). Corazza et al. (1999) em Brasília DF encontraram um teor de C na camada superficial do Cerrado próximo de 3 % e na camada de 10 a 20 cm um valor próximo de 2 %. Sisti et al. (2004) em um estudo em Passo Fundo RS relataram uma concentração de C na camada de 0 a 5 cm do solo sob vegetação nativa de 3,7 %, considerando essa uma alta concentração, e na camada de 10 a 15 cm essa concentração caiu pela metade.

Porém, essa tendência contraria os dados publicados por Bayer et al. (2006) que descreveram uma concentração de carbono relativamente uniforme nos latossolos de Cerrado do município de Luziânia em Goiás, e no município de Costa Rica no Mato Grosso do Sul até uma profundidade de 20 cm.

Essa concentração de C na camada superficial do solo sob Cerrado é justificável e previsível em função da intensa ciclagem interna do ecossistema (BEGON; TOWNSEND; HARPER, 2006). Devido à extrema pobreza de nutrientes do solo a maior parte dos nutrientes está na biomassa e não no solo (BUSTAMANTE; NARDOTO, MARTINELLI, 2004), estimulando um acúmulo de raízes na camada superficial para poder aproveitar mais prontamente os nutrientes liberados da decomposição da serrapilheira. Levando conseqüentemente a um acúmulo de C nas camadas superficiais.

Nas áreas agrícolas a concentração de C na camada superficial é menor, porém ocorre uma redução do C da primeira para a segunda camada menos acentuada (Tabela 2), devido provavelmente ao revolvimento do solo o que homogeniza o C original do Cerrado (RIEZEBOS; LOERTS, 1998; CORAZZA et al., 1999; MURTY et al., 2002). Outra possível causa talvez seja

devido a melhoria da fertilidade do solo e redução do Al tóxico ao longo do perfil, o que favorece o crescimento radicular mais profundo, que eventualmente morrem e assim distribuem o C no solo.

Devido à variação na concentração de C e na densidade do solo ao longo do perfil e entre as áreas, a melhor forma de avaliar o efeito do manejo no C é pelo estoque corrigido pela densidade.

Embora a concentração de C na camada superficial do CE seja superior a de vários autores o estoque de 137,4 Mg C ha<sup>-1</sup> (Figura 7) está no limite inferior médio divulgado por Bustamante et al. (2006) apud Corbeels et al. (2006) sobre a variação dos estoques de C até 100cm dos solos sob Cerrado que foi de 143 a 209 Mg C ha<sup>-1</sup>. Corazza et al. (1999) em um dos poucos estudo até 100 cm de profundidade, em Brasília DF, encontraram um estoque de C em Latossolo Vermelho (490 g kg<sup>-1</sup> de argila) no Cerrado de 133,6 Mg C ha<sup>-1</sup>, estatisticamente igual ao do CE. Siqueira et al. (2003) realizaram um estudo até 40 cm e encontraram um estoque de 76,6 Mg C ha<sup>-1</sup>. Calculando o estoque do CE para essa profundidade obteve-se 80,1 Mg C ha<sup>-1</sup>. Bayer et al. (2006) relataram que os estoques até 20 cm no Cerrado de GO foi de 35,4 Mg C ha<sup>-1</sup> e no Cerrado de MS foi de 54,0 Mg C ha<sup>-1</sup>. Comparando-se com o estoque de 50,1 Mg C ha<sup>-1</sup> do CE o primeiro foi 30 % menor enquanto que o segundo não diferiu estatisticamente.

Embora o estoque de C do CE fosse baixo para os limites de Bustamante et al. (2006) apud Corbeels et al. (2006), ele se aproxima dos estoques divulgados na literatura, inclusive quando comparado ao estudo de Siqueira et al. (2003) realizado muito próximo do presente estudo. Isso aconteceu devido ao fato de que os limites estabelecidos por Bustamante et al. (2006) apud Corbeels et al. (2006) englobaram Cerradão, Cerrado stricto sensu Campo limpo e Campo sujo. Como estes últimos apresentam alta população de gramíneas o estoque de C é bem maior do que nas vegetações de Cerrado stricto sensu e Cerradão. Lardy et al. (2002) relataram estoques de 148 Mg C ha<sup>-1</sup> (valor próximo ao do CE) para o Cerradão e 209 Mg C ha<sup>-1</sup> para o Campo sujo, sendo que ambos se encontravam na mesma reserva do IBGE em Brasília DF.

Nenhuma área agrícola teve o estoque de C até 100 cm reduzido quando comparado ao CE (Figura 7), um maior estoque de C em áreas agrícolas já foi reportado ocasionalmente na literatura (CORAZZA et al., 1999; SA et al., 2001; SIQUEIRA et al., 2003; BAYER et al., 2006). Embora relatado que as taxas de acúmulo de C nos solos tropicais sejam geralmente menores ou

muitas vezes negativa, se comparado aos solos temperados devido a maior temperatura média e atividade microbiana, o que acelera a decomposição da MOS (JIMENEZ; LAL, 2006).

O estoque de  $162,4 \text{ Mg C ha}^{-1}$  até 100 cm do C23D12 (Figura 7) é superior ao maior estoque encontrado em área agrícola por Corazza et al. (1999) que foi de  $155,0 \text{ Mg C ha}^{-1}$  porém, este autor não realizou a correção para a mesma massa de solo. Portanto parte desse estoque pode ser devido à variação na densidade, sendo difícil saber se o valor corrigido é maior ou menor visto que o autor não apresentou seus dados de densidade. Roscoe e Buurman (2003), estudaram apenas até 45 cm em Sete Lagoas MG, encontraram um estoque máximo na área agrícola de  $102 \text{ Mg C ha}^{-1}$  que foi ligeiramente superior ao calculado para 45 cm do C23D12 que foi de  $96,4 \text{ Mg C ha}^{-1}$ . Diekow et al. (2005) em perfil de 107,5 cm em Eldorado do Sul RS verificou o maior estoque em área agrícola de  $153,9 \text{ Mg C ha}^{-1}$ . Mas o estoque do C23D12 é inferior aos relatados por Sisti et al. (2004) em Passo Fundo RS ( $630 \text{ g kg}^{-1}$  de argila), cujas áreas agrícolas tiveram um estoque que variaram de  $161,3$  a  $179,4 \text{ Mg C ha}^{-1}$ .

O estoque total de C do C23D12 concorda com os maiores estoques para áreas agrícolas relatados na literatura, sendo a taxa de acúmulo de  $1,09 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  (Tabela 4) expressivo. Bayer et al. (2006) fizeram uma compilação de 10 sítios de estudos tropicais do Brasil comparando o PD com o PC verificaram que ocorre um acúmulo médio de C, após a adoção do PD, a uma taxa de  $0,39 \pm 0,21 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . Nessa compilação todos os estudos foram até 20 cm com tempos de cultivo variando de 4 a 20 anos, sendo que o acúmulo máximo foi de  $0,63 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  em 20 anos de cultivo na EMBRAPA de Planaltina DF e o mínimo de  $-0,03 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  na EMBRAPA de Sete Lagoas MG. Bayer et al., (2006) também apresentaram uma relação de estudos em regiões subtropicais do onde a maior taxa de acúmulo foi de  $0,81 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  na UFRGS Eldorado do Sul RS.

Em Sinop MT, a 80 km a norte da região do presente estudo, uma taxa de acúmulo de  $1,7 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  foi relatada na revisão de literatura de Bernoux et al. (2006) que compararam apenas PD com o PC. Esse estudo é citado como sendo uma dissertação de mestrado defendida por Perrin em 2003 na Suíça, trabalho do qual não foi possível o acesso. Porém Siqueira et al. (2003) apresenta um resumo deste trabalho onde foi possível obter maiores informações.

Este estudo considerou o perfil até 40 cm e consistiu das áreas de floresta (e não Cerrado); 10 anos de plantio convencional (PC-S); 4 anos de plantio direto com cobertura de tifton após 4 anos de pousio pós desmatamento (PD-T) e 5 anos de plantio direto com eleusina após 5 anos de

plantio convencional (PD-E). No PC-S ocorreu uma taxa de perda de  $0,44 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , no PD-T o estoque foi  $2,6 \text{ Mg C ha}^{-1}$  menor que da floresta e no PD-E o estoque foi  $6,3 \text{ Mg C ha}^{-1}$ , ou 8,2% maior que na floresta. Os autores adotaram um modelo linear simplista de perdas e ganhos e assumiram que nos primeiros 5 anos de PC do PD-E ocorreu uma perda  $2,2 \text{ Mg C ha}^{-1}$  ( $0,44 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1} \times 5 \text{ anos}$ ) e que nos 5 anos subseqüentes de PD ocorreu um acúmulo de  $8,5 \text{ Mg C ha}^{-1}$  ( $2,2 \text{ Mg C ha}^{-1} + 6,3 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ) de onde foi calculado o acúmulo de  $1,7 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ .

Essa tentativa de isolar os efeitos é, como assumido pelos autores, simplista, pois se a taxa de acúmulo do plantio direto isolado for de  $1,7 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  como explicar o fato do PD-T, com 4 anos de PD posterior a 4 anos de pousio pós desmatamento, ter um estoque de  $2,6 \text{ Mg C ha}^{-1}$  menor que a floresta? Para essa taxa de acúmulo do plantio direto se sustentar, teria que ter acontecido uma perda de  $9,4 \text{ Mg C ha}^{-1}$  ( $1,7 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1} \times 4 \text{ anos} + 2,6 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ) ou uma taxa de  $-2,4 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  durante o pousio de 4 anos.

No presente estudo não existe uma área onde só foi realizado PC, não sendo possível fazer essa tentativa de isolar os efeitos, portanto os resultados são uma média das práticas agrícolas sejam elas PC ou PD. Se a taxa de acúmulo for calculada da mesma forma para Sinop o resultado é de  $0,63 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , que é 42 % menor do que a do C23D12.

Na revisão de Bernoux et al., (2006) de 26 estudos que forneceram 44 taxas de acúmulo ou perda de C, apenas do PD, aparecem 4 onde a taxa de acúmulo de C foi superior a  $1,2 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , com uma taxa máxima de  $1,6 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , sendo que todos esses foram estudos realizados na região Sul. Para o Cerrado aparecem apenas 4 estudos onde a maior taxa foi de  $0,8 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . A média geral das taxas revisadas por Bernoux et al. (2006) é de  $0,48 \pm 0,51 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , sendo a menor taxa de  $-0,68 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ .

Ambas as revisões de Bayer et al. (2006) e de Bernoux et al. (2006) foram de estudos que analisaram o impacto do plantio direto no solo tendo como linha de base o solo sob plantio convencional.

A taxa de acúmulo de  $1,09 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  do C23D12 foi bem superior a média relatada em estudos no Brasil, quando se tem o solo sob vegetação nativa como linha de base (BAYER et al. 2006; RIEZEBOS; LOERTS, 1998; SÁ et al. 2001; ZINN; LAL; RESCK, 2005). Foi encontrada apenas uma citação de taxa de acúmulo superior ao do C23D12 em condições semelhantes que foi o estudo de Corazza et al. (1999). Neste estudo a taxa de acúmulo até 100 cm



foi de  $1,43 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  em 15 anos de cultivo no sistema PD, no entanto o autor não realizou a correção para a mesma massa de solo. A título de comparação a taxa de acúmulo do C23D12 sem a correção para a mesma massa de solo seria de  $1,33 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ .

Em termos de incremento percentual Sá et al. (2001) reportaram um aumento de 19 %, em relação à vegetação nativa, no estoque de C em 34 anos de cultivo, equivalente ao aumento de 18 % do C23D12. A taxa de acúmulo ou perda de C deve diminuir exponencialmente com o tempo à medida que o solo atinge um novo ponto de equilíbrio (BAYER et al., 2000a), portanto podem existir taxas de acúmulo de C diferentes levando a um mesmo acúmulo final de C. Resta saber qual é o novo ponto de equilíbrio do C23D12.

A Figura 8 mostra que se considerando-se todas as áreas, ocorreu um acúmulo médio de  $0,80 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , indicando que o manejo adotado pelo produtor desta fazenda foi sustentável em relação ao C e conseqüentemente a MOS. Resultado quase idêntico foi encontrado por Corbeels (2006) com 45 áreas representando uma cronoseqüência de 0 a 12 anos de adoção de PD, porém esse autor só trabalhou até 20cm. Até essa profundidade no presente trabalho os estoques de C de todas as áreas são iguais.

Interessante notar que tanto para a concentração de C como para o estoque, se o perfil amostrado fosse mais superficial, os resultados seriam quase que opostos. A diferença nos estoques de C só aparecem a partir da profundidade de 0 a 75 cm. Comportamento também encontrado por Zinn, Lal e Resck, (2005) que observaram uma redução no estoque de C na camada de 0 a 20 cm de  $6,74 \text{ Mg C ha}^{-1}$  enquanto que nos estoques até 40 cm não houve diferença. Corazza (1999) encontrou uma taxa de acúmulo de  $0,5 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  quando analisado os estoques até 20 cm e uma taxa de  $0,8 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  ao aprofundar a análise até 40cm, um aumento de 60 %. Diekow et al. (2005) e Sisti et al. (2004) também encontraram a maior parte dos efeitos abaixo dos 20 cm de profundidade.

O valor de  $\delta^{13}\text{C}$  na camada superficial do CE (Figura 9) é típico de uma vegetação puramente C3, o que foi observado no campo pela escassez de gramíneas, que geralmente no Cerrado são C4. O aumento do  $\delta^{13}\text{C}$  ao longo do perfil do CE foi superior aos 4,5 ‰ que é o esperado devido à decomposição da MOS e mudanças históricas da composição isotópica da atmosfera (BOUTTON, 1996), indicando ter havido uma mudança natural na composição florística do Cerrado no passado. Diferenças entre os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  superficiais e em

profundidade já foram reportadas nos solos sob Cerrado e Cerradão (PESSENDA et al., 1998; NEUFELDT, 2006) e sob Floresta (PESSENDA et al., 1998; SANAIOTTI et al., 2002).

No trabalho de Pessenda et al. (1996) realizado em RO a variação do  $\delta^{13}\text{C}$  no perfil de Cerradão é quase idêntico ao do CE. Ocorre um aumento do  $\delta^{13}\text{C}$  de -27 ‰ na camada superficial para -19 ‰ na camada de 50 a 70 cm e depois uma diminuição constante até -31 ‰ a 200 cm de profundidade (Figura 24). A diferença foi que no CE o maior valor de  $\delta^{13}\text{C}$  foi de -21 ‰ na profundidade de 50 a 75 cm (Figura 9) e não existe dados abaixo de 100 cm para confirmar se a tendência de redução do  $\delta^{13}\text{C}$  que ocorre da penúltima para a última camada continua.

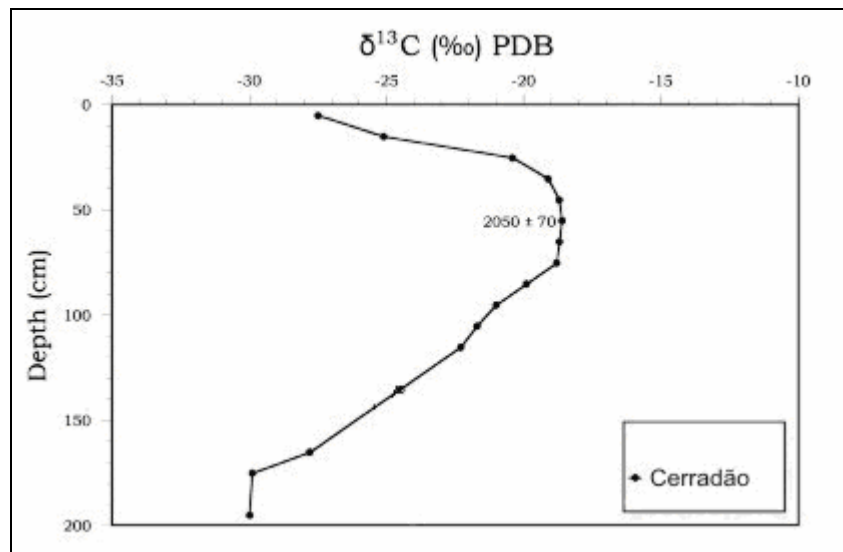


Figura 24 – Variação do  $\delta^{13}\text{C}$  ao longo do perfil em Rondonia, modificado de Pessenda et al. (1996)

Pessenda et al. (1996) utilizaram a datação com  $^{14}\text{C}$  para o C da MOS a 60cm do Cerradão e estimaram como sendo de  $2050 \pm 70$  anos antes do presente. Essas informações sobre o  $\delta^{13}\text{C}$  e a datação do C permitiu inferir que ocorreu uma predominância de plantas C4 na comunidade de plantas no início do Holoceno. Devido a proximidade geográfica entre o estudo de Pessenda et al. (1996) e a área de estudo do presente trabalho (aproximadamente 90 km os separam no sentido norte sul), bem como no comportamento do  $\delta^{13}\text{C}$  ao longo do perfil do CE e do Cerradão de Pessenda et al. (1996), é bem provável que em Sorriso também tenha ocorrido essa mesma mudança de vegetação a mais ou menos 2050 anos atrás.

A similaridade entre os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  ao longo do perfil entre o CE e o C4D3 (Figura 9) se deve ao fato de que no C4D3 até o momento da coleta de solo, só havia sido feito o cultivo de

plantas C3, assim não houve aporte de C oriundo de plantas C4. Isso fez com que a assinatura isotópica da vegetação original não fosse alterada. O que comprova a similaridade entre a vegetação original do C4D3 e a vegetação atual do CE, pelo menos no que diz respeito às proporções de plantas C4 e C3.

Os maiores valores de  $\delta^{13}\text{C}$  nas camadas superficiais das áreas agrícolas velhas quando comparado ao CE são reflexos da incorporação de MO proveniente das culturas de milho e milho utilizadas como safrinhas e cobertura do solo bem como das gramíneas que crescem durante os períodos de pousio de entressafra (Figura 4). Essas são plantas C4, com  $\delta^{13}\text{C}$  médio de -12 ‰, e à medida que a MO proveniente delas é incorporada ao solo este fica com uma assinatura isotópica alterada entre o de plantas C3 e C4.

A relação C/N dos restos culturais do milho é de 64 a 68 o que confere um maior tempo de decomposição da matéria orgânica quando comparado aos resíduos culturais da soja com relação C/N entre 13 a 16. Roscoe e Buurman, (2003) não observaram alterações nos estoques de C e N após 30 anos de cultivo em latossolo de MG, mas observaram uma substituição de 33 % do C original por  $\text{C}_{\text{C4}}$ , principalmente do milho. Uma substituição 12,5 pontos percentuais maiores que a do C14P8 (Figura 10 B) que contou com 22 anos de cultivo e não 30 anos.

O estoque de  $\text{C}_{\text{C4}}$  do C14P8 foi maior que as outras áreas agrícolas provavelmente devido aos 8 anos em que a única cultura foi *Brachiaria brizantha*, planta C4. Já está bem estabelecido que pastagens quando bem manejadas promovem acúmulo de C, e que quando mal manejadas acarretam perdas no estoque de C (CORAZZA et al., 1999; MURTY et al., 2002; ZINN; LAL; RESCK, 2005; CORBEELS et al., 2006). Isso acontece pelo fato de que uma pastagem bem manejada produz consideravelmente mais biomassa do que a que é consumida pelo pastoreio, enquanto que uma pastagem mal manejada deixa o solo exposto a maiores temperaturas e tem uma considerável redução na produção de biomassa quando comparada a bem manejada. Ou seja uma pastagem bem manejada preserva o C original e acrescenta novo C enquanto que em uma mal manejada ocorre perda do C original e pouco aporte de novo C.

As Figuras 10 e 12 mostraram que ocorreu uma substituição de  $\text{C}_{\text{C3}}$  por  $\text{C}_{\text{C4}}$  de 0 a 50 cm, fato bem ilustrado pela Figura 10 A. Mas quando considerado até 100 cm (Tabela 4) apenas o C14P8 apresentou perda de  $\text{C}_{\text{C3}}$  em relação ao CE. O C12D5 não apresentou alterações no estoque de  $\text{C}_{\text{C3}}$  e o C4D3, C13D12 e C23D12 tiveram um aumento no estoque de  $\text{C}_{\text{C3}}$ . Conseqüentemente a regressão entre tempo de cultivo e estoque de  $\text{C}_{\text{C3}}$  de 0 a 100 cm não é

significativa, não existindo nenhuma tendência na variação do estoque de  $C_{C3}$  com o tempo de cultivo. Isso acontece devido a grande contribuição do C entre 50 a 100 cm que não pode ser diferenciado entre  $C_{C3}$  e  $C_{C4}$  e que para fins de cálculo está sendo considerado como puramente  $C_{C3}$ .

### **b) Nitrogênio**

A variação dos teores de N (Figura 12) não seguiu nenhum padrão facilmente identificável, só sendo possível destacar o C13D5 com menor teor de N nas duas primeiras camadas. Devido a maior complexidade do ciclo de N, é difícil determinar relações de causa e efeito apenas com as medições pontuais feitas no presente estudo. A variação percentual do N de 33 e 31 % entre a área com maior percentual de N e a com menor na camada superficial e subsuperficial foi maior que a do C, mas contrário ao C, o N não teve um gradiente de variação. Esse fato contraria os dados publicados por Bayer et al., (2000b) que encontraram um aumento do teor de N com o tempo de cultivo em PD.

De maneira análoga ao teor de N o estoque total de N (Figura 13) não correlacionou com a principal variável do presente estudo, que é o tempo de cultivo (Figura 12). O C13D12 teve menor estoque que uma área agrícola mais nova (C12D5) e de uma mais velha (C14P8). O CE não diferiu de nenhuma área agrícola, nem mesmo da mais velha (C23D12).

### **c) Carbono e Nitrogênio**

Embora nem o C e nem o N isoladamente tenham apresentados diferenças entre as áreas ao longo de todo o perfil de forma consistente a relação C/N mostrou isso. Segundo Murty et al. (2002) solos cultivados geralmente possuem relação C/N inferiores aos solos sob florestas, pois a perda de C geralmente supera a de N. O que concorda com a Figura 16 C que indica que o C é mais sensível às mudanças de uso do solo tanto quando há um decréscimo como quando há um incremento nos estoques de C e N.

A amplitude de variação do C foi de 125 % (de uma perda de -42 % a um ganho de 83 %) enquanto que no N foi de 92 % (perda de -33 % e ganho de 59 %). A Figura 16 C mostra que quando não há mudanças no estoque de N houve um aumento de 4 % no estoque de C. Na revisão de Murty et al. (2002) quando não há mudanças no percentual de N ocorreu um decréscimo 11% no carbono.

Na Figura 16 D fica claro a perda de C e de N na camada de 0 a 5 cm provavelmente devido ao revolvimento do solo, que tanto mistura o C nas camadas gradeadas como promove maior degradação do C superficial.

O C23D12 e C13D12 tiveram a maior relação C/N médio (Figura 15) o que concorda com as maiores interseções na relação entre o  $\Delta$  estoque de N e  $\Delta$  estoque de C. Quando não houve mudanças no  $\Delta$  estoque de N ocorreu um incremento de 14,3 e 14,4 % no estoque de C, respectivamente para o C23D12 e C13D12. Foram essas duas áreas que tornaram a interseção da Figura 16 C positiva, pois nas outras áreas agrícolas as interseções foram negativas.

O C23D12 teve o maior estoque de C (Figura 7) com uma taxa de  $1,09 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  enquanto que o estoque de N permaneceu quase que inalterado (Figura 13) com uma taxa de acúmulo 627 vezes menor de  $1,7 \text{ Kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . O C13D12 teve um estoque de C intermediário com uma taxa de  $0,77 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  porém com o menor estoque de N (Figura 13) com uma taxa de  $-33,8 \text{ Kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , o que parece indicar que no primeiro caso a relação C/N aumentou devido a uma maior taxa de acúmulo de C enquanto que no segundo caso a relação C/N aumentou devido a uma maior perda de N.

Vários autores apontam a importância do acúmulo de N para que ocorra um aumento no estoque de C em sistemas agrícolas do sul do país (BAYER et al., 2000b; SISTI et al., 2004; DIEKOW et al., 2005). De Maria, Nnabude e De Castro (1999) não encontraram diferença na MOS entre uma sucessão de milho e aveia e outra de soja e aveia após nove anos em SP, apesar do fato de que a entrada de biomassa na sucessão com milho ser muito maior. O que segundo Sisti et al. (2004) pode estar relacionado à falta de acúmulo de N na sucessão milho e aveia, pois a relação C/N do milho é muito maior que da soja.

Murty et al. (2002) encontraram uma diminuição da relação C/N com o cultivo do solo. Essa diminuição, segundo os autores, ocorreu porque as perdas de C em geral são maiores do que as de N. Corbeels et al. (2006) também mostraram redução do C e da relação C/N em relação ao solo nativo.

Sisti et al. (2004) ressaltaram a importância do acúmulo de N para que ocorra um acúmulo de C e mostraram uma redução de 0,22 na relação C/N, dos estoques até 100 cm, entre o plantio convencional e o direto.

Esses exemplos tornam difícil assumir uma regra geral para correlacionar mudanças no C com mudanças no N. No presente estudo não foi observado uma relação entre o acúmulo de C e

de N (Tabela 4) embora exista uma correlação altamente significativa entre os teores de N e de C (Figura 16 A). O que aconteceu foi um acúmulo de C proveniente de material com alta relação C/N, o que é mostrado na Figura 16 B onde cada aumento de 1 ponto percentual do teor de C em relação ao CE foi acompanhado de um aumento de 0,35 pontos percentuais na relação C/N.

#### **d) Cálcio, magnésio, fósforo, potássio e micronutrientes**

O aumento do Ca e Mg (Figura 17) nas áreas agrícolas se deve principalmente as adubações de correções feitas no início da implantação do sistema agrícola (ver histórico completo no apêndice B). As calagens causam elevação do pH mostrado na Figura 18 (SISTI et al., 2004) liberando  $\text{OH}^-$  que irá precipitar o Al (Figura 19). O que torna possível a correlação entre o pH e o Al da Figura 20.

A distribuição da concentração de P no CE nos primeiros 20 cm (Tabela 5) foi quase idêntica aos dados de Carvalho et al., (2007) que encontrou valores de 6,6; 5,0 e 3,6  $\text{mg dm}^{-3}$  respectivamente nas camadas 0 a 5, 5 a 10 e 10 a 20 cm do solo sob Cerrado em RO. A concentração média de P entre 0 a 10 cm do CE (5,75  $\text{mg dm}^{-3}$ ) é similar ao P disponível encontrada nas áreas de Cerrado de MG na profundidade de 0 a 15 cm por Lilienfein et al. (2000) que foi 6,7  $\text{mg kg}^{-1}$ .

Em sistemas com fertilização fosfatada a concentração de P aumenta (LILIEFFEIN et al., 2000), o que foi observado no presente estudo onde as áreas agrícolas apresentaram maior concentração de P disponível. O C23D12 com média de 19,7  $\text{mg dm}^{-3}$  ficou bem próximo aos 19,1  $\text{mg kg}^{-1}$  da área de PD de Lilienfein et al. (2000), o C12D5, C13D12 e C14P8 todos com média de 13,3  $\text{mg dm}^{-3}$  de 0 a 10 cm corresponderam ao encontrado na área com 12 anos de PC que foi 14,1  $\text{mg kg}^{-1}$  (LILIEFFEIN et al., 2000).

O fósforo é um elemento pouco móvel no solo, como no PD a aplicação de P é feita durante a semeadura na mesma linha de plantio das sementes, ele é colocado abaixo destas a uma profundidade entre 5 e 10 cm (SOUSA; LOBATO; REIN 2004). Como no PD também não há revolvimento do solo o P colocado nessa profundidade não é homogeneizado (OLIVEIRA et al., 2004). Esses fatos provavelmente explicam a maior concentração de P encontrada nas áreas agrícolas velhas na camada de 5 a 10 (Tabela 5). Para a área C12D5 ao qual foi possível ter o histórico de área mais completo (Apêndice B) foram aplicados ao longo dos 12 anos de cultivo aproximadamente 1050  $\text{kg de P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ .

Carvalho et al. (2007) também encontrou uma maior concentração de P na camada de 5 a 10 cm em uma área agrícola com 5 anos de cultivo, sendo 3 de PD mas com uma concentração bem superior as reportadas na Tabela 5, e.g. 25,8; 48,4 e 22,2 mg dm<sup>-3</sup> respectivamente para as camadas de 0 a 5, 5 a 10 e 10 a 20 cm. Com uma adubação média de 123 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> apenas 40 % superior a adubação média anual do C12D5 (87,5 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) e 34 % maior que a adubação média do C4D3 (91,5 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, calculado a partir do Apêndice B), que tem tempo de cultivo próximo.

O C4D3 provavelmente recebeu uma adubação de correção para P em cobertura, visando acelerar o processo de adequação do solo a agricultura (SOUSA; LOBATO; REIN 2004) . O que explica a maior concentração de P na camada superficial e diminuição na camada de 5 a 10cm (Tabela 5). Isso acontece quando a quantidade de P necessária para corrigir o solo é superior a recomendada para a linha de plantio, pois o adubo causaria uma salinização da rizosfera.

Carvalho et al. (2007) reporta maior concentração de P na camada superficial nas áreas agrícolas com 1, 2 e 3 anos de cultivo, na área com 4 anos de cultivo as concentrações nas duas primeiras camadas são idênticas (23,4 mg dm<sup>-3</sup>) e comparável a maior concentração encontrada no C23D12 (Tabela 5).

O K se comportou como os outros macronutrientes, com uma maior concentração nas áreas agrícolas do que no CE e uma aproximação das concentrações entre as áreas agrícolas e o CE à medida que se aprofunda no perfil.

Devido a extrema pobreza nutricional dos latossolos altamente intemperizados do Cerrado esse aumento na concentração de nutrientes é facilmente obtido. As variedades de alto rendimento das culturas de soja e milho são exigentes em termos nutricionais, portanto para se obter um rendimento satisfatório é necessário que o produtor maneje satisfatoriamente os nutrientes. Pois qualquer deficiência nutricional terá reflexo direto e rápido na produção.

Os micronutrientes podem ser separados em dois grupos, no primeiro onde se encontra o Zn, Cu e B o cultivo do solo ocasionou um aumento na concentração desses elementos, já o Fe e Mn tiveram sua concentração reduzida com o tempo de cultivo (Tabela 5). A explicação para isso é a mesma para o aumento dos macronutrientes que é a necessidade nutricional das culturas comerciais. Como o solo do Cerrado é pobre em Zn, Cu e B o agricultor realiza a adubação desses elementos. Mas existe um excesso nutricional de Fe e Mn que está sendo consumido pelas culturas.

## 6 CONCLUSÕES

O C do solo não diminuiu com a implantação do sistema agrícola. Com o aumento do tempo de cultivo, até 23 anos, ocorreu um aumento médio do estoque de C até 100 cm de 0,80 Mg C ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

Ocorreu um acúmulo médio de C<sub>C4</sub>, até a profundidade de 50 cm, de 0,77 Mg C ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> com uma diminuição média do C<sub>C3</sub> de 0,44 Mg C ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Sendo portanto razoável afirmar que ocorreu uma substituição de parte do carbono original do Cerrado por carbono proveniente das culturas C4.

Apesar de ter ocorrido uma perda média de C<sub>C3</sub> na camada de 0 a 50 cm considerando o perfil de 0 a 100cm teve áreas em que ocorreu um acúmulo considerável de C de plantas C3 chegando a uma taxa de acúmulo de 0,52 Mg C ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Indicando que ocorreu em algumas áreas um aporte de C<sub>C3</sub> proveniente da cultura da soja.

O N não apresentou uma variação consistente com o tempo de cultivo sendo que provavelmente outras variáveis não investigadas no presente estudo estejam exercendo maior influência nesse elemento.

Ocorreu um aumento da concentração do cálcio, magnésio, potássio e fósforo bem como aumento do pH e redução do Al tóxico com o cultivo do solo.

No quesito balanço nutricional e de carbono o sistema agrícola adotado não só manteve as qualidades originais do solo como aumentou o teor de grande parte dos elementos essenciais ao crescimento das plantas. Mostrando ser sustentável dentro de uma visão restrita aos processos internos do sistema produtivo, sem uma avaliação da sustentabilidade de toda a cadeia produtiva.



## REFERÊNCIAS

AHRENS, T. J. **Global earth physics: a handbook of physical constants**. Washington DC.: American Geophysical Union, 1995. 376 p.

AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; CONCEICAO, P. C.; SPAGNOLLO, E.; DE CAMPOS, B. H. C.; DA VEIGA, M. Potential of carbon accumulation in no-till soils with intensive use and cover crops in southern Brazil. **Journal of Environmental Quality**, Madison v.35, n.4, p.1599-1607, July/Aug. 2006.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; CERETTA, C. A. Effect of no-till cropping systems on soil organic matter in a sandy clay loam Acrisol from Southern Brazil monitored by electron spin resonance and nuclear magnetic resonance. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.53, n.2, p.95-104, Jan. 2000a.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; AMADO, T. J. C.; MARTIN-NETO, L.; FERNANDES, S. V. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.54, n.1-2, p.101-109, Mar. 2000b.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam v.86, n.2, p.237-245, Apr. 2006.

BEGON, M.; TOWNSEND, C. R.; HARPER, J. L. **Ecology: from individuals to ecosystem**. Oxford: Blackwell Publishing, 2006.

BERNACCHI, C. J.; HOLLINGER, S. E.; MEYERS, T. The conversion of the corn/soybean ecosystem to no-till agriculture may result in a carbon sink. **Global Change Biology**, Oxford v.11, n.11, p.1867-1872, Nov. 2005.

BERNOUX, M.; CERRI, C. C.; VOLKOFF, B.; CARVALHO, M. C. S.; FELLER, C.; CERRI, C. E. P.; ESCHENBRENNER, V.; PICCOLO, M. C.; FEIGL, B. E. Gases do efeito estufa e estoques de carbono nos solos: inventário do Brasil. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, Brasília, v.22, n.1, p.235-246, jan./abr. 2005.

BERNOUX, M.; CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P.; NETO, M. S.; METAY, A.; PERRIN, A. S.; SCOPEL, E.; RAZAFIMBELO, T.; BLAVET, D.; PICCOLO, M. D.; PAVEI, M.; MILNE, E. Cropping systems, carbon sequestration and erosion in Brazil, a review. **Agronomy for Sustainable Development**, Paris v.26, n.1, p.1-8, Janv./Mars. 2006.

BOUTTON, T. W. Stable carbon isotope ratios of soil organic matter and their use as indicators of vegetation and climate change. In: BOUTTO, T. W.; YAMASAKI, S. (Ed.). **Mass spectrometry of soils**. New York: Marcel Dekker Inc., 1996. v. 1. chap.2, p.47-83.

BRIGGS, J. M.; KRUSE, M.; SPIELMANN, K. A.; MOREHOUSE, K.; SCHAAFSMA, H.; SCHOLLMEYER, K. Why ecology needs archaeologists and archaeology needs ecologists **Frontiers in ecology and the environment**, Lawrence, v.5, n.5, p.237-237, June. 2006.

BUSTAMANTE, M.M.C.; NARDOTO, G.B.; MARTINELLI, L.A.; Aspectos comparativos del ciclaje de nutrientes entre bosques amazónicos de terra-firme y sabanas troicales (Cerrado Brasileiro). In: CABRERA, H.M. (Ed.). **Fisiología ecológica en plantas**. Valparaíso: Ediciones Universitarias de Valparaíso, 2004. p. 189-205.

BUTZER, K. W. Ecology in the long view: settlement histories, agrosystemic strategies, and ecological performance. **Journal of Field Archaeology**, Boston v.23, n.2, p.141-150, 1996.

CARDILLE, J. A.; FOLEY, J. A. Agricultural land-use change in Brazilian Amazonia between 1980 and 1995: evidence from integrated satellite and census data. **Remote Sensing of Environment**, New York v.87, n.4, p.551-562, Nov. 2003.

CARVALHO, J. L. N.; CERRI, C. E. P.; CERRI, C. C.; FEIGL, B. J.; PICCOLO, M. C.; GODINHO, V. P.; HERPIN, U. Changes of chemical properties in an oxisol after clearing of native Cerrado vegetation for agricultural use in Vilhena, Rondonia State, Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 96, n. 1-2, p.95-102, Oct. 2007.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Brasil Serie Histórica**. Disponível em <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 25 abr. 2007.

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

CORBEELS, M.; SCOPEL, E.; CARDOSO, A.; BERNOUX, M.; DOUZET, J. M.; NETO, M. S. Soil carbon storage potential of direct seeding mulch-based cropping systems in the Cerrados of Brazil. **Global Change Biology**, Oxford, v.12, n.9, p.1773-1787, Sep. 2006.

CORREIA, J.R.; RAATTO, A.; SPERA, S.T. Solos e suas relações com o uso e o manejo. In: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção de solo e adubação**. Brasília: Terra Viva, 2004. cap. 1, p. 29-62.

COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Physical properties of a south Brazilian Oxisol as affected by no-tillage and conventional tillage systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.27, n.3, p.527-535, May-Jun 2003.

DA SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F., et al (Ed.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: UFV, 2007. v. 1. cap. 6, p.275-375.

DEMARIA, I. C.; NNABUDE, P. C.; DE CASTRO, O. M. Long-term tillage and crop rotation effects on soil chemical properties of a Rhodic Ferralsol in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.51, n.1-2, p.71-79, July, 1999.

DIEKOW, J.; MIELNICZUK, J.; KNICKER, H.; BAYER, C.; DICK, D. P.; KOGEL-KNABNER, I. Soil C and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilizations in a southern Brazil Acrisol managed under no-tillage for 17 years. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.81, n.1, p.87-95, Mar. 2005.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, CNPS, 1979. 328p.

\_\_\_\_\_. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Terra Viva, 1999, 412p.

ESTADOS UNIDOS. Census Bureau. **International Data Base**. Disponível em: <<http://www.census.gov>>. Acesso em: 4 may 2007.

FAO. **FAO statistical yearbook**. Roma, 2004. v.1, 246p.

\_\_\_\_\_. **Integrated approach to the planning and management of land resources**: Draft report of the UN Secretary-General on the Implementation of Chapter 10 of Agenda 21 (UNCED) to the Commission on Sustainable Development. Third Draft of Task Manager's Report. FAO/AGL. Roma, 1994. 30 p.

FEARNSIDE, P. M. Soybean cultivation as a threat to the environment in Brazil. **Environmental Conservation**, Lausanne v.28, n.1, p.23-38, Mar. 2001.

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA - FEBRAP. **Área de plantio direto**. Disponível em: <<http://www.febrapdp.org.br/>> Acesso em: 31 maio 2007.

FREITAS, P. L.; BLANCANEUX, P.; GAVINELL, E.; LARRÉ-LARROUY, M.-C.; FELLER, C. Nível e natureza do estoque orgânico de latossolos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Rio de Janeiro, v.35, n.1, p.157-170, jan. 2000.

GRACE, J.; SAN JOSE, J.; MEIR, P.; MIRANDA, H. S.; MONTES, R. A. Productivity and carbon fluxes of tropical savannas. **Journal of Biogeography**, Oxford, v.33, n.3, p.387-400, Mar 2006.

HAVLIN, J.L.; TISDALE, S.L.; NELSON, W.L.; BEATON, J.D. NITROGEN. In: \_\_\_\_\_. **Soil fertility and fertilizer**: an introduction to nutrient management. New Jersey: Prentice Hall, 2004. chap. 4 p.97-158.

HOMLINSON, R. **Demographic problems**: controversy over population control. Belmont: Dickenson Publishing Company, Inc., 1975, 118p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acesso em: 9 maio 2007.

JASINSKI, E.; MORTON, D.; DEFRIES, R.; SHIMABUKURO, Y.; ANDERSON, L.; HANSEN, M. Physical landscape correlates of the expansion of mechanized agriculture in Mato Grosso, Brazil. **Earth Interactions**, v.9, 2005.

JIMENEZ, J. J.; LAL, R. Mechanisms of C sequestration in soils of Latin America. **Critical Reviews in Plant Sciences**, London, v.25, n.4, p.337-365, July/Aug. 2006.

LAL, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. **Science**, Washington DC, v.304, n.5677, p.1623-1627, June 2004.

LARDY, L. C.; BROSSARD, M.; ASSAD, M. L. L.; LAURENT, J. Y. Carbon and phosphorus stocks of clayey Ferralsols in Cerrado native and agroecosystems, Brazil. **Agriculture Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v.92, n.2-3, p.147-158, Nov. 2002.

LILIENFEIN, J.; WILCKE, W.; AYARZA, M. A.; VILELA, L.; LIMA, S. D.; ZECH, W. Chemical fractionation of phosphorus, sulphur, and molybdenum in Brazilian savannah Oxisols under different land use. **Geoderma**, Amsterdam, v.96, n.1-2, p.31-46, May 2000.

LOGSDON, S. D.; CAMBARDELLA, C. A. Temporal changes in small depth-incremental soil bulk density. **Soil Science Society of America Journal**, Palo Alto, v.64, n.2, p.710-714, Mar./Apr. 2000.

LOPES, A.S.; GUILHERME, L.A.G. **Solos sob Cerrado: Manejo da fertilidade para a produção agropecuária**. 2. ed. São Paulo: ANDA, 1994. 62p.

MATO GROSSO. Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação Geral. **MAPA A001: Mapa de Solos**. Cuiabá: CNEC, 2001 Escala 1:1.500.000

\_\_\_\_\_. Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação Geral. **MAPA A001: Mapa de Vegetação**. Cuiabá: CNEC, 2002 Escala 1:1.500.000

MIKHAILOVA, E. A.; BRYANT, R. B.; VASSENEV, II; SCHWAGER, S. J.; POST, C. J. Cultivation effects on soil carbon and nitrogen contents at depth in the Russian Chernozem. **Soil Science Society of America Journal**, Palo Alto, v.64, n.2, p.738-745, Mar./Apr. 2000.

MOTTA, P.E.F.; CURTI, N.; FRANZMEIER, D.P. Relation of soils and geomorphic surfaces in the Brazilian Cerrado. In: OLIVEIRA, P.S.; MARQUIS, R.J. **The cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna**. New York: Columbia University Press, 2002. chap. 2, p.13-32.

MURTY, D.; KIRSCHBAUM, M. U. F.; MCMURTRIE, R. E.; MCGILVRAY, A. Does conversion of forest to agricultural land change soil carbon and nitrogen? a review of the literature. **Global Change Biology**, Oxford, v.8, n.2, p.105-123, Feb. 2002.

NEILL, C. Soil carbon and nitrogen stocks following forest clearing for pasture in the southwestern Brazilian Amazon. **Ecological Application**, Ithaca, v.7, p.1216-1225, 1997.

NETO, M. S. **Estoques de carbono e nitrogênio do solo e emissões de gases de efeito estufa no sistema plantio direto em Tibagi (PR)**. 2003. Dissertação (Mestre em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

NEUFELDT, H. Geocological drivers of Cerrado heterogeneity and C-13 natural abundance in oxisols after land-use change. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.30, n.5, p.891-900, Sept./Oct. 2006.

OLIVEIRA, G. C.; DIAS, M. S.; RESCK, D. V. S.; CURI, N. Chemistry and physical-hydric characterization of a Red Latosol after 20 years of different soil use and management. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.28, n.2, p.327-336, Mar./Apr. 2004.

OMETTO, J.P.; MARTINELLI, L.A.; CAMARGO, P.B. **Curso de aplicação de isotópica do carbono em estudos ambientais com ênfase na região Amazônica**. Manaus, 2003. 65 p.

PESSENDA, L. C. R.; GOMES, B. M.; ARAVENA, R.; RIBEIRO, A. S.; BOULET, R.; GOUVEIA, S. E. M. The carbon isotope record in soils along a forest-Cerrado ecosystem transect: implications for vegetation changes in the Rondonia state, southwestern Brazilian Amazon region. **Holocene**, Thousand Oaks, v.8, n.5, p.599-603, Sept. 1998.

RAIJ, B. van. **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba, Instituto da Potassa & Fosfato, Instituto Internacional da Potassa, 1981. 142p.

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

RHOTON, F. E. Influence of time on soil response to no-till practices. **Soil Science Society of America Journal**, Palo Alto, v.64, n.2, p.700-709, Mar./Apr. 2000.

RIEZEBOS, H. T.; LOERTS, A. C. Influence of land use change and tillage practice on soil organic matter in southern Brazil and eastern Paraguay. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.49, n.3, p.271-275, Dec. 1998.

ROSCOE, R.; BUURMAN, P. Tillage effects on soil organic matter in density fractions of a Cerrado Oxisol. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.70, n.2, p.107-119, Apr. 2003.

ROSCOE, R.; BUURMAN, P.; VELTHORST, E. J.; VASCONCELLOS, C. A. Soil organic matter dynamics in density and particle size fractions as revealed by the C-13/C-12 isotopic ratio in a Cerrado's oxisol. **Geoderma**, Amsterdam, v.104, n.3-4, p.185-202, Dec. 2001.

ROTHER, L. Relentless foe of the Amazon forest: soybean. **The New York Times**, New York, 17 sept. 2003.

SA, J. C. D.; CERRI, C. C.; DICK, W. A.; LAL, R.; VENSKE, S. P.; PICCOLO, M. C.; FEIGL, B. E. Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society of America Journal**, Palo Alto, v.65, n.5, p.1486-1499, Sept./Oct. 2001.

SANAIIOTTI, T. M.; MARTINELLI, L. A.; VICTORIA, R. L.; TRUMBORE, S. E.; CAMARGO, P. B. Past vegetation changes in Amazon savannas determined using carbon isotopes of soil organic matter. **Biotropica**, Washington DC, v.34, n.1, p.2-16, Mar. 2002.

SCHERR, S.J. **Soil Degradation: a threat to developing-country food security by 2020?** Washington: International Food Policy Research Institute, 1999. 63p.

SCHNEEMAN, B. O. Linking agricultural production and human nutrition. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v.81, p.3-9, 2000.

SILVA, J. E.; LEMAINSKI, J.; RESCK, D. V. S. Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região de cerrados do oeste baiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, p.541-547, 1994.

SIQUEIRA, N. M.; PERRIN, A. S.; BERNOUX, M.; PAVEI, M.; SCOPEL, E.; DOUZET, J. M.; SEGUY, L.; BOUZINAC, S.; PICCOLO, M. C.; FELLER, C.; CERRI, C. C.; MARONEZZI, A. C. Estoques de carbono em sistemas de manejo do solo em Sinop (MT). In: World Congress on Conservation Agriculture, 2., 2003. Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: FEBRAPDP, 2003. p. 157-160.

SISTI, C. P. J.; DOS SANTOS, H. P.; KOHHANN, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.76, n.1, p.39-58, Mar. 2004.

SIX, J.; FELLER, C.; DENEFF, K.; OGLE, S. M.; SA, J. C. D.; ALBRECHT, A. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils - Effects of no-tillage. **Agronomie**, Paris, v.22, n.7-8, p.755-775, Nov./Déc. 2002.

SMITH, B. N.; EPSTEIN, S. 2 Categories of C-13/C-12 Ratios for Higher Plants. **Plant Physiology**, Minneapolis, v.47, n.3, p.380-384, 1971.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E.; REIN, T. A. Adubação com fósforo. In: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: Correção de solo e adubação**. Brasília: Terra Viva, 2004. cap. 6, p. 147-167.

SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C. Chemical properties of a Red Cerrado Latosol under different use and management conditions. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.27, n.1, p.133-139, Jan./Feb. 2003a.

SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C. Propriedades físicas e teor de matéria orgânica em um Latossolo Vermelho de Cerrado sob diferentes usos e manejos. **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, v.25, n.1, p.27-34, 2003b.

THOMAS, R.; AYARZA, M. A. **Sustainable land management for the Oxisols of the Latin American savannas**: dynamics of soil organic matter and indication of soil quality. Cali: CIAT, 1999. 231 p.

TSUNECHIRO, A. Os municípios brasileiros maiores produtores de grãos. **Análises e Indicadores do Agronegócio**, São Paulo, v.1, n.1, jan. 2006. Disponível em: <<http://www.ica.sp.gov.br/out/verTexto.php?codTexto=4485>>. Acesso em: 30 nov. 2006.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME -UNEP. **Global environment outlook 3**. London: EARTHSCAN Publication, 2002.

WIEBE, K. **Who will be fed in the 21st century?** Baltimore: IFPRI, 2001. 120 p.

WILCKE, W.; LILIENFEIN, J. Soil carbon-13 natural abundance under native and managed vegetation in Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, Palo Alto, v.68, n.3, p.827-832, May/June 2004.

WORLDWATCH INSTITUTE. **Vital Signs 2005**. Washington D.C., 2005. 139p

ZINN, Y. L.; LAL, R.; RESCK, D. V. S. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.84, n.1, p.28-40, Nov. 2005.

**APÊNDICE**



## APÊNDICE A

### Descrição do Perfil sob Cerradão:

#### CARACTERÍSTICAS GERAIS

<i>PERFIL N°:</i>	01
DATA:	10/12/2005
CLASSIFICAÇÃO:	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico, A moderado, textura argilosa, fase floresta tropical subperenifólia, relevo plano
LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS:	Percorrer 20 km na direção sul na BR 163 a partir da cidade Sorriso, entrar a oeste em estrada vicinal mais 9 km, 1 km a direita. Mato Grosso, lat. 12°42'48" long. 55°53'58"
SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL:	Perfil descrito e coletado em trincheira situada em topo de vertente relevo plano, com 1 a 2% de declive, sob vegetação de cerradão.
LITOLOGIA:	Cobertura detrítica/laterítica.
FORMAÇÃO GEOLÓGICA:	Produto de alteração das rochas
MATERIAL ORIGINÁRIO:	Sedimentar.
PEDREGOSIDADE:	Não pedregosa.
ROCHOSIDADE:	Não rochosa.
RELEVO LOCAL:	Plano.
RELEVO REGIONAL:	Plano e suave ondulado.
EROSÃO:	Não aparente.
DRENAGEM:	Bem drenado.
VEGETAÇÃO PRIMÁRIA:	Cerradão.
USO ATUAL:	Cerradão.
CLIMA:	Aw, da classificação de Köppen.
DESCRITO E COLETADO POR:	E Eduardo Guimarães Couto.

**DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**  
**NOMENCLATURA CARACTERÍSTICAS**

A1	0-17 cm; bruno-escuro (10YR 3/3, úmida); franco-argiloarenosa; fraca, pequena, blocos subangulares; friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual .
AB	17-34 cm; bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/3, úmida); argiloarenosa; fraca, pequena, blocos subangulares e moderada, pequena, granular; friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.
B <sub>w1</sub>	34-53 cm; vermelho-amarelado (5YR 5/6, úmida); franco-arenosa; forte, muito pequena, granular; friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.
B <sub>w2</sub>	53-73 cm; vermelho-amarelado (5YR 5/8, úmida); franco-arenosa; forte, pequena, granular; friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa
B <sub>w3</sub>	73-107 cm; vermelho-amarelado (5YR 5/8, úmida); franco-arenosa; forte, pequena, granular; friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.
B <sub>w4</sub>	107 - 160 cm <sup>+</sup> ; vermelho-amarelado (5YR 5/6, úmida); franco-arenosa; forte, muito pequena, granular; friável, plástica e ligeiramente pegajosa.

**Raízes:**

Muitas, pivotantes, pequenas (< 2 mm), comum (2 mm-3 mm), no A, muitas pivotantes (<1 cm), raras (> 3mm) no AB, comuns (< 1 mm) no B<sub>w1</sub>, poucas no B<sub>w2</sub> e raras e pequenas no B<sub>w3</sub>.

**OBSERVAÇÕES:**

**Descrição do Perfil sob Cultivo, trincheira aberta na área C12D5:****CARACTERÍSTICAS GERAIS**

<i>PERFIL N°:</i>	02
DATA:	11/12/2005
CLASSIFICAÇÃO:	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico, A moderado, textura , relevo plano.
LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS:	Percorrer 20 km na direção sul na BR 163 a partir da cidade Sorriso, entrar a oeste em estrada vicinal mais 10 km, 2 km a direita. Mato Grosso, lat. 12°42'50" long. 55°54'59"
SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL:	Perfil descrito e coletado em trincheira situada em topo de vertente relevo plano, com 1 a 2% de declive sob cultivo de soja
LITOLOGIA:	Cobertura detrítica/laterítica
FORMAÇÃO GEOLÓGICA:	Produto de alteração das rochas
MATERIAL ORIGINÁRIO:	Sedimentar.
PEDREGOSSIDADE:	Não pedregosa.
ROCHOSIDADE:	Não rochosa.
RELEVO LOCAL:	Plano.
RELEVO REGIONAL:	Plano e suave ondulado.
EROSÃO:	Não aparente.
DRENAGEM:	Bem drenado.
VEGETAÇÃO PRIMÁRIA:	Cerradão.
USO ATUAL:	Cultivo de soja.
CLIMA:	Aw, da classificação de Köppen.
DESCRITO E COLETADO POR:	Eduardo Guimarães Couto.

## DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

### NOMENCLATURA CARACTERÍSTICAS

A <sub>p</sub>	0-17 cm; bruno muito escuro (10YR 2/2, úmida); franco-argiloarenosa; fraca, pequena, blocos subangulares; friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara .
AB	17-30 cm; bruno-amarelado-claro (10YR 6/4, úmida); argiloarenosa; fraca, pequena, blocos subangulares e forte pequena granular; friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.
B <sub>w1</sub>	30-50 cm; vermelho-amarelado (5YR 4/6, úmida); argiloarenosa; forte, pequena, granular; friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.
B <sub>w2</sub>	50–74 cm; vermelho-amarelado (5YR 4/6, úmida); argiloarenosa; forte, pequena, granular; friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa
B <sub>w3</sub>	74–129 cm; vermelho-amarelado (5YR 5/8, úmida); argiloarenosa; forte, pequena, granular; friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.
B <sub>w4</sub>	129 – 165 cm <sup>+</sup> ; bruno-forte (7,5YR 5/8, úmida); mosqueado comum, pequena, difusa, vermelho (2,5YR 4/8, úmida); argiloarenosa; forte, pequena, granular; friável, plástica e ligeiramente pegajosa.

#### Raízes:

Muitas e pequenas (< 2 mm), no A<sub>p</sub>, comuns no AB, poucas no B<sub>w1</sub> e B<sub>w2</sub> e raras no B<sub>w3</sub> e B<sub>w4</sub>.

#### OBSERVAÇÕES:

- **Presença de nodulos arredondados de textura argilosa, duros quando secos nos horizontes B<sub>w1</sub> e B<sub>w2</sub>.**
- **Presença de cupinzeiro no A<sub>p</sub>.**

## APÊNDICE B

### Histórico completo das áreas agrícolas:

#### **C4D3**

##### **Pivo**

Área 1 ha

**Safras cultivadas: 4**

**Plantio soja PD: 3**

**Plantio soja PC: 1**

**Plantio de safrinhas:**

**Plantio de arroz: 1**

2003 – Soja

Derrubado, queimado, enleirado, destocado, calagem com 2t calcário dolomítico, grade aradora, plantio com com 480 Kg/ha de 0-20-20 + FTE

2003 – Feijão

Plantio direto com 450 kg/há de 8-20-20 + 150 Kg/ha de cobertura de SA

2004 – Arroz

Plantio direto com 400 kg/há 8-20-20 + 120 kg/ha de cobertura de AS

2005 – Soja

Plantio direto, com 500 kg/ha de 00-20-20 + 6,4 FTE

#### **C12D5**

##### **Talhão 9**

Área 56 ha

**Safras cultivadas: 12**

**Plantio soja PD: 7**

**PD contínuo: 5**

**Plantio soja PC: 4**

**Plantio de safrinhas: 5**

**Plantio de arroz: 1**

1994 – Arroz

Derrubado, queimado, enleirado, destocado, calagem com calcário dolomítico, grade aradora, plantio.

Adubação de 360 Kg de 04-20-20 + Zn e cobertura com Uréia, tratamento de semente com carbufuram (furazim).

1995 – Soja

(arrendatário) Calagem, grade aradora, grade niveladora, plantio de soja, controle de lagarta e percevejo, colheita e Safrinha de milheto.

1996 – Soja

(arrendatário) Plantio com passagem de subsolador, controle de largata e percevejo, colheita,

Safrinha de milho.

1997 – Soja

- “Plantio direto”, controle de lagarta e percevejo.
- 1998 – Soja  
(análise química de 0-20 e de 20-40)  
Duas t/ha de calcário dolomítico incorporado com grade aradora de 28 pg, gradagem niveladora, plantio com 400 kg de 0-20-20+ F.T.E. Cultivar FT-106, controle de lagarta e percevejo. Produção de 54 sc/ha.  
Safrinha de milheto.
- 1999 – Soja  
“Plantio direto” dessecação de capim colchão e carrapicho que apresentava grande incidência em toda a área. Cultivar Irapuru tratada com Vitavax, Geminex (fonte de micro, Co e Mo) e inoculada. Adubação com 500 Kg/ha de 0-20-18 +15 kg de FTE, uma adubação foliar de Mn. Controle de lagarta e percevejo excepcionalmente gafanhoto (caso esporádico), produção de 52sc/ha.
- 2000 – Soja  
(análise química de 0-20)  
Preparo do solo com calagem em Manejo Localizado em quatro faixas e duas doses (1600 e 2400 kg). Incorporação com grade aradora subsolador e grade niveladora. Adubação com 500 kg/ha de 02-20-18-0,45 de Zn- 0,06 B- 0,06 Cu- 0,3 Mn, sementes tratadas + Micro + Mo e Co e inoculação.
- 2001 – Soja  
“Plantio direto” com 480 Kg/ha de 2-18-18 + FTE, inoculação de sementes, controle de lagarta e percevejo. Rendimento de 55,88 sc/ha.
- 2002 – Soja  
“Plantio direto” com 500 Kg/ha de 02-18-18+FTE, inoculação, controle de lagarta e percevejo e DFC. Rendimento de 55,12 sc/ha.  
Safrinha de Milho, foi feito mapa de produtividade.
- 2003 – Soja  
“Plantio Direto” com 480 kg/ha de 00-20-20 +FTE, inoculação, controle de lagarta, percevejo, mosca branca, DFC e ferrugem. Rendimento de 44,34 sc/ha, queda devido a mosca branca, ferrugem e chuva.  
Safrinha de milheto.
- 2004 – Soja  
Plantio direto com 500 kg/ha de 00-20-20 + 6,4 FTE centro oeste, inoculação, tratamento com fipronil, controle de lagarta, mosca branca, percevejo DFC e ferrugem. Rendimento de 63,69 sc/ha.
- 2005 – Soja  
Plantio direto com 500 kg/ha de 00-20-20 + 6,4 FTE

**C13D12****Talhão 7**

Área 138 ha

**Safras cultivadas: 13****Plantio soja PD: 12****Plantio de safrinhas: 1****Plantio de arroz: 1**

1993 – Arroz

Derrubado, queimado, enleirado, queimado e calcariado

1994 – Soja Plantio direto

Plantio de milho antes da soja

1995 – Soja plantio Direto

1996 – Soja plantio Direto

1997 – Soja plantio Direto

1998 – Soja plantio Direto

1999 – Soja plantio Direto

2000 – Soja plantio Direto

2001 – Soja plantio Direto

2002 – Soja plantio Direto

2003 – Soja plantio Direto

2004 – Soja plantio Direto

2005 – Soja plantio Direto

**C14P8****Talhão 4**

Área 72,87 ha

**Safras cultivadas: 14****Plantio soja PD: 7****Plantio soja PC: 4****Plantio de safrinhas: 5****Plantio de arroz: 3****Anos com pastagem: 8**

1983 – Arroz

Foi feita a derrubada, queimada, enleirado, destocado, calagem, grade aradora, plantio de arroz com 250 kg/ha de 05-25-25, severo ataque de formigas.

1984 – Arroz

Plantio de arroz com 250kg/ha de 05-25-25

1985 – Não foi cultivado

1986 – Soja

Plantio convencional de soja com 350 kg/ha de 02-20-20.

1987 – Soja

Plantio convencional de soja com 350 kg/ha de 02-20-20.

1988 – Soja

Plantio convencional de soja com 370 kg/ha de 02-20-20.

1989 – Soja

- Plantio convencional de soja com 370 kg/ha de 02-20-20.
- 1990 – Pasto  
Plantio de Braquiaria Brizanta.
- 1991 – Pasto
- 1992 – Pasto
- 1993 – Pasto
- 1994 – Pasto
- 1995 – Pasto
- 1996 – Pasto
- 1997 – Pasto
- 1998 – Arroz  
(análise química 0-20)  
Destruição da pastagem com grade aradora, calagem com calcário dolomítico, plantio de arroz com 280 kg/ha de 04-20-20 + Zn e cobertura de uréia, tratamento de semente com carbofuram (furazim).
- 1999 – Soja  
(análise química 0-20)  
Plantio direto com 475 Kg/ha de 02-20-20 + 03 FTE sementes inoculadas, controle de lagarta e percevejo. Rendimento de 52 sc/ha e posterior plantio de milheto.
- 2000 – Soja  
Plantio direto com 500 kg/ha de 02-20-18- 0,45 Zn- 0,06 B- 0,06 Cu- 0,3 Mn. Tratamento de sementes, controle de lagarta e percevejo. Rendimento de 54,6 sc/ha, safrinha de milho com 250 kg/ha de 08-20-20 + 80 Kg/ha de uréia em cobertura, rendimento de 60 sc/ha. Safrinha de milho com 250 Kg/ha de 08-20-20 cobertura de 80 Kg de uréia com rendimento de 60sc/ha.
- 2001 – Soja  
Plantio direto de soja com 480 Kg/ha de 02-18-18 + FTE inoculação, controle de lagarta e percevejo, rendimento de 55,88 sc/ha.  
Safrinha de milho com 250 Kg/ha de 08-20-20 cobertura de 120 Kg/ha de sulfato de Amônio, com rendimento de 65 sc/ha.
- 2002 – Soja  
(análise química)  
Plantio direto com 500 Kg/ha de 02-18-18 + FTE, inoculação, controle de lagarta, percevejo e DFC. Rendimento de 55,12 sc/ha.  
Safrinha de milho com 260 Kg/ha de 05-20-20 cobertura de 80 kg de uréia com rendimento de 80 sc/ha.
- 2003 – Soja  
Plantio direto com 480 Kg/ha de 0-20-20 + FTE, inoculação, controle de lagarta, percevejo, mosca branca, DFC e ferrugem. Rendimento de 44,34 sc/ha.  
Safrinha de milho com 260 Kg/ha de 05-20-20 cobertura de 120 kg de sulfato de amônio com rendimento de 80 sc/ha.
- 2004 – Soja  
Plantio direto com 500 kg/ha de 0-20-20 + 6,4 FTE centro oeste, inoculação e tratamento com fipronil, controle de lagarta, percevejo, DFC e ferrugem. Rendimento de 63,69 sc/ha. Safrinha de milheto.
- 2005 – Soja  
Plantio direto com 500 kg/ha de 00-20-20 + 6,4 FTE



**C23D12****Talhão 3**

Área 130 ha

**Safras cultivadas: 23****Plantio soja PD: 12****Plantio soja PC: 9****Plantio de safrinhas:****Plantio de arroz: 2**

1983 – Arroz

Derrubado, queimado, enleirado, queimado e calcariado

1984 – Arroz

Calcariado

1985 – Soja convencional

1986 – Soja convencional

1987 – Soja convencional

1988 – Soja convencional

1989 – Soja convencional

1990 – Soja convencional

1991 – Soja convencional

1992 – Soja convencional

1993 – Soja convencional

1994 – Soja plantio Direto

1995 – Soja plantio Direto

1996 – Soja plantio Direto

1997 – Soja plantio Direto

1998 – Soja plantio Direto

1999 – Soja plantio Direto

2000 – Soja plantio Direto

2001 – Soja plantio Direto

2002 – Soja plantio Direto

2003 – Soja plantio Direto

2004 – Soja plantio Direto

2005 – Soja plantio Direto

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)