



**DIEGO ANTONIO FRANÇA DE FREITAS**

**INTER-RELAÇÕES ATRIBUTOS DO SOLO E  
MANEJO DE PASTAGENS NATIVAS NO  
BIOMA PANTANAL**

**LAVRAS – MG**

**2013**

**DIEGO ANTONIO FRANÇA DE FREITAS**

**INTER-RELAÇÕES ATRIBUTOS DO SOLO E MANEJO DE  
PASTAGENS NATIVAS NO BIOMA PANTANAL**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Recursos Ambientais e Uso da Terra, para obtenção do título de Doutor.

Orientador

Dr. Marx Leandro Naves Silva

Coorientador

Dr. Evaldo Luis Cardoso

**LAVRAS - MG  
2013**

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca da UFLA**

Freitas, Diego Antonio França de.

Inter-relações atributos do solo e manejo de pastagens nativas no  
Bioma Pantanal / Diego Antonio França de Freitas. – Lavras :  
UFLA, 2013.

96 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2013.

Orientador: Marx Leandro Naves Silva.

Bibliografia.

1. Solos - Atributos físicos - Pantanal Sul-Mato-Grossense. 2.  
Solos - Matéria orgânica. 3. Disponibilidade de água. 4. Solos -  
Qualidade. 5. Frações húmicas. I. Universidade Federal de Lavras.  
II. Título.

CDD – 631.478171

**DIEGO ANTONIO FRANÇA DE FREITAS**

**INTER-RELAÇÕES ATRIBUTOS DO SOLO E MANEJO DE  
PASTAGENS NATIVAS NO BIOMA PANTANAL**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Recursos Ambientais e Uso da Terra, para obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 19 de setembro de 2013.

Dr. Nilton Curi

UFLA/DCS

Dr. Evaldo Luis Cardoso

EMBRAPA Pantanal

Dr. Mozart Martins Ferreiras

UFLA/DCS

Dr. Elifas Nunes de Alcântara

EPAMIG

Dr. Marx Leandro Naves Silva  
Orientador

**LAVRAS – MG  
2013**

## *D*edico

*Ao grande amor da minha vida... minha noiva Carla Saraiva Gonçalves  
pelo amor, compreensão, companheirismo, amizade, paciência...*

*TE AMO e não teria conseguido com sua ausência...*

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras e a Purdue University pela oportunidade e contribuição para a minha educação e formação.

Ao CNPq e a CAPES pelo fornecimento de bolsas de estudos no Brasil e nos Estados Unidos. A EMBRAPA Pantanal e a FUNDECT pela disponibilização de recursos necessários a condução deste projeto.

A minha noiva, companheira e amiga, Carla Saraiva Gonçalves, que sempre faz o melhor para mim, pelo amor, amizade, incentivo, paciência, compreensão e apoio.

A minha mãe, Maria Trindade, pelos valores transmitidos de forma tão nobre, pela compreensão dos meus momentos de ausência, pelo amor acima de tudo, por permitir e incentivar meus estudos e pela segurança de hoje e sempre.

À minha irmã, Camila, pela amizade, amor, eterno incentivo e confiança em meu potencial. À minha sobrinha e afilhada, Júlia, por alegrar meus dias com muito amor. Ao meu pai e a todos meus familiares e amigos por torcer pelo meu sucesso.

A Gláucia, D. Ilza, Carine, Sofia, Toninho e toda a família de minha noiva, que sempre foram receptivos, agradáveis, amorosos e por permitirem que eu faça parte desta família.

Especial agradecimento ao meu orientador, Dr. Marx Leandro Naves Silva, pela convivência, confiança, disponibilidade, orientação e amizade ao longo destes anos. Obrigado por acreditar e confiar em mim.

Ao Dr. Evaldo Luis Cardoso e Dr. Nilton Curi, pelo convívio, incentivo, apoio e por sempre estarem dispostos a ajudar. Vocês são exemplo de dedicação e profissionalismo aos quais pretendo seguir.

Aos membros da banca, Dr. Mozart Martins Ferreira, Dr. Elifas Nunes de Alcântara pelas sugestões e disponibilidade.

Aos professores, Dr. Geraldo de Oliveira, Dr. Carlos Alberto Silva, Dr. Mozart Martins Ferreira, com os quais tive o privilégio de trabalhar.

A todos os docentes e funcionários do Departamento de Ciência do Solo, pelos ensinamentos, bom convívio e momentos de interação no cafezinho.

Às secretárias Dirce e Maria Alice, que não medem esforços para ajudar e facilitar a vida dos estudantes.

Ao Dr. Darrell G. Schulze, pela orientação, acompanhamento e transmissão de conhecimento durante meu doutoramento na Purdue University.

A todos os coautores e parceiros de minhas publicações. O auxílio, parceria e dedicação de vocês foram essenciais para a conclusão de todos os trabalhos.

Aos amigos da UFLA e de Purdue, principalmente aqueles que fizeram parte do grupo de Conservação do Solo e da Água, pela parceria e ajuda em todos os momentos.

Aos amigos Doroteo, Piero, Guilherme, Lindaura, Silvino, Ernani, Rodrigo, Bernardo e Leonardo, que contribuíram em diferentes etapas para a conclusão deste trabalho.

À Universidade Federal de São João del-Rei, pela recepção, oportunidades e possibilidade de crescimento. É um prazer fazer parte desta Instituição.

Finalmente, agradeço a Deus por tudo, mas principalmente por colocar em minha vida pessoas tão especiais...

## RESUMO GERAL

O Pantanal é reconhecido como a maior planície alagável do planeta e possui uma elevada diversidade de fauna e flora. Neste bioma, a pecuária é a principal atividade econômica, sendo as pastagens nativas a base da alimentação de animais silvestres e bovinos. Apesar da importância e da riqueza da biodiversidade o Pantanal ainda constitui um bioma pouco pesquisado, sobretudo no que se refere aos seus aspectos abióticos. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi quantificar os estoques de C e N, avaliar os atributos físicos, modelar a curva de retenção de água e determinar o índice de qualidade do solo em áreas de pastagens nativas do Pantanal Sul-Mato-Grossense. Amostras de solo em três pastagens nativas diferenciadas pela predominância de *Hymenachne amplexicaulis*, *Axonopus purpusii* e *Mesosetum chaseae*, submetidas a diferentes sistemas de uso (pastejo contínuo e veda aos animais por cinco anos) foram coletadas e determinados os teores de carbono, nitrogênio, frações húmicas, densidade do solo, permeabilidade do solo a água, porosidade total, macro, microporosidade, curvas de retenção de água e capacidade de água disponível. As curvas de retenção de água do solo foram ajustadas segundo o modelo de van Genuchten. O índice de qualidade do solo considerou os atributos químicos e físicos ideais para as funções do solo relacionadas ao crescimento radicular, armazenamento e suprimento de água e nutrientes, e conservação do solo. A vedação das pastagens aos animais proporciona aumento dos teores de matéria orgânica do solo nas áreas com predominância de *A. purpusii* e *H. amplexicaulis*. As pastagens de *M. chaseae* sem pastejo apresentam menor densidade do solo, matéria orgânica e nitrogênio que as áreas pastejadas. A fração do C-humina ocorre em maior teor em todas as áreas, mas concentra-se principalmente nas áreas com maior grau de inundação. A pastagem com predominância de *H. amplexicaulis* apresenta maior porosidade total, macroporosidade, microporosidade, amplitude de umidade na curva de retenção de água, capacidade de água disponível e teor de material orgânico devido ao maior período de inundação que são submetidas durante o ano. Para o Pantanal Brasileiro, o processo de vedação das pastagens aos animais não alterou a qualidade do solo, o que indica que o uso prolongado das pastagens nativas não comprometeu a sustentabilidade deste bioma.

Palavras-chave: Frações húmicas. Matéria orgânica do solo. Atributos físicos do solo. Qualidade do solo. Disponibilidade de água.

## GENERAL ABSTRACT

Pantanal is recognized as the largest floodplain in the world and has a high diversity of flora and fauna. In this biome cattle ranching is the main economic activity, and native pastures form the main feeding base of wild animals and cattle. Despite the importance and biodiversity, the Pantanal is still an under-researched biome, particularly in relation to abiotic aspects. Thus, the aim of this study was to quantify the soil stocks of C and N, to evaluate the soil physical attributes, to model the soil's water retention curve, and determine the soil quality rate in areas of native pastures in the South Pantanal of Mato Grosso state, Brazil. Soil samples of three native pastures differentiated by the predominance of *Hymenachne amplexicaulis*, *Axonopus purpusii* and *Mesosetum chauseae* under different land use systems (continuous grazing and with five years of rest from grazing) were collected and used to quantify the carbon, nitrogen, humic fractions, bulk density, soil water permeability, macroporosity and microporosity, water retention and available water capacity. The water retention curves of the soil were adjusted according to the van Genuchten model. The soil quality index considered the ideal chemical and physical properties for soil functions related to root growth, storage and supply of water and nutrients, and soil conservation. The pasture resting period from grazing provides an increase of the levels of soil organic matter in areas with a predominance of *A. purpusii* and *H. amplexicaulis*. The ungrazed pastures of *M. chauseae* have lower bulk density, organic matter and nitrogen than the grazed areas. The C-humin fraction occurs at higher levels on all areas, but primarily on the ones with the highest degree of flooding. The pasture with predominance of *H. amplexicaulis* presents higher total porosity, macroporosity, microporosity, moisture amplitude on the water retention curve, available water capacity and organic matter content due to the larger flooding period to which it is submitted during the year. For the Brazilian Pantanal, the pasture resting period from grazing did not change the soil quality, which indicates that the prolonged use of native pastures did not compromise the sustainability of this biome.

Keywords: Humic fractions. Soil Organic Matter. Soil physical properties. Soil quality. Water availability.

## SUMÁRIO

	<b>PRIMEIRA PARTE</b> .....	10
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	12
<b>2.1</b>	<b>Bioma Pantanal</b> .....	12
<b>2.2</b>	<b>Pantanal da Nhecolândia</b> .....	13
<b>2.3</b>	<b>Qualidade do Solo</b> .....	15
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	19
	<b>SEGUNDA PARTE - ARTIGOS</b> .....	23
	<b>ARTIGO 1</b> Estoque de carbono e nitrogênio em solo sob pastagens nativas no bioma Pantanal.....	24
	<b>ARTIGO 2</b> Atributos físicos, disponibilidade de água e índice de qualidade do solo em pastagens nativas no bioma Pantanal.....	59

## **PRIMEIRA PARTE**

### **1 INTRODUÇÃO**

O Pantanal caracteriza-se como a maior planície alagável do planeta e apresenta uma vasta biodiversidade de fauna e flora. Localizado no centro da América do Sul, aproximadamente entre os paralelos 16° a 22° de latitude Sul e os meridianos 55° a 58° de longitude a Oeste de Greenwich, o Pantanal é um bioma constituído por diferentes unidades de paisagem, alagada em sua maior parte, com aproximadamente 160.000 km<sup>2</sup>, dos quais 140.000 km<sup>2</sup> no Brasil, 15.000 km<sup>2</sup> na Bolívia e 5.000 km<sup>2</sup> no Paraguai (JUNK et al., 2006).

O Pantanal é dividido em diversas sub-regiões, sendo que a sub-região da Nhecolândia apresenta um mosaico de lagoas de água doce e salinas, entremeadas por cordilheiras com vegetação florestal e entre estas, corixos e vazantes, marcando corredores de vegetação de cerrado e de campo (CARDOSO, 2008; RODELA, 2006). O Pantanal da Nhecolândia é caracterizado como uma ampla planície fluviolacustre, de inundações fraca a mediana, vinculada a cursos fluviais intermitentes e defluentes do rio Taquari, os quais apresentam canais e leitos anastomosados; e grande quantidade de lagoas de água doce e salgada (BRASIL, 1982). Nesta região, grandes áreas são utilizadas para a pecuária, em uma ampla diversidade de pastagens nativas que suportam baixas densidades de gado. No entanto, a divisão das fazendas em áreas menores proporciona elevado pastejo sobre a área disponível (SANTOS et al., 2004), o que pode proporcionar elevada degradação ambiental, reduzir a resiliência das pastagens e comprometer a saúde e o desempenho dos animais, bem como a integridade ambiental da propriedade (EATON et al., 2011).

A degradação ambiental do Pantanal pode comprometer habitats com funções múltiplas e complexas. Desta forma, o aproveitamento de uma área no

Pantanal não deve ser unilateral, ou seja, ter como objetivo único somente a produção de gado. O manejo no Pantanal deve se basear nos requerimentos das espécies de flora e fauna nativas, integradas com as necessidades dos animais exóticos e as necessidades do homem, levando-se em consideração as limitações do ambiente (SANTOS et al., 2002).

Portanto, o equilíbrio entre aumento de produtividade e conservação ambiental representa o anseio não só dos produtores, mas de toda a sociedade, devendo ser compatibilizado por meio da geração de informações e tecnologias que promovam o desenvolvimento dos sistemas de produção e de instrumentos que permitam monitorar a sustentabilidade desses sistemas. Com isto, um modelo de desenvolvimento sustentável pressupõe um profundo conhecimento dos aspectos biofísicos, econômicos e sociais componentes do sistema de produção em questão, sendo de fundamental importância para a sustentabilidade do Pantanal (CARDOSO, 2008).

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Bioma Pantanal

O Pantanal é uma planície periodicamente inundável, integrante da Bacia do Alto Paraguai, região tropical, com temperatura média anual de 26 °C. A precipitação média anual na BAP varia de 800 a 1600 mm, e um total de 800 a 1200 mm na parte mais baixa que engloba toda a área da planície pantaneira (CARDOSO JÚNIOR et al., 1997). Formado há milhares de anos com o soerguimento da Cordilheira dos Andes, a planície pantaneira é caracterizada pelas baixas declividades de Leste para Oeste (30 a 50 cm km<sup>-1</sup>) e menores ainda do Norte para o Sul (3 a 15 cm km<sup>-1</sup>) (BRASIL, 1982), o que facilita o processo de inundação de grandes áreas.

As inundações constituem um fenômeno ecológico limitado no espaço e no tempo, diferenciado quanto à intensidade, duração e profundidade (SANTOS, 2001), podendo ocorrer devido ao acúmulo de águas pluviais ou pelo aporte de água proveniente do planalto adjacente que é maximizada pelo lento escoamento superficial dos cursos d'água, que extravasam pela elevação do lençol freático (SILVA, 1986). Nesse regime de inundação periódica o hidromorfismo é a feição dominante, refletindo a drenagem deficiente e influenciando as características dos solos do Pantanal. A maior parte do Pantanal é formada por solos hidromórficos (92%), que refletem em uma drenagem deficiente e com tendência para inundações periódicas e prolongadas e que proporciona uma elevada diversidade de ecossistemas.

A diversidade de ecossistemas dentro do Pantanal proporciona uma vegetação bastante diversificada, sendo os mosaicos de diferentes formações vegetacionais ordenados pelos gradientes topográficos, destacando-se a mata, o

cerradão e o cerrado em cordilheiras (cordões arenosos); o campo com gramíneas, campo com arbustos e o campo cerrado em cotas intermediárias; e as plantas aquáticas e palustres nas partes mais baixas e corpos d'água (POTT, 1988).

As características geológicas, geomorfológicas e climáticas, em conjunto com as variações hidrológicas sazonais, formam regiões distintas quanto à duração e altura das inundações (HAMILTON; SIPPEL; MELACK, 1996). Devido à forte interação entre o regime de inundação e a paisagem, o bioma Pantanal é dividido localmente em onze sub-regiões (SILVA; ABDON, 1998), conforme Figura 1. Dentre estas sub-regiões, destaca-se a Nhecolândia, que ocupa a segunda maior área do Pantanal, com aproximadamente 23.574 km<sup>2</sup>.

## **2.2 Pantanal da Nhecolândia**

A Nhecolândia localiza-se na porção centro-meridional do Pantanal, onde os fatores bióticos (fauna e flora) e abióticos (solo, clima, hidrologia e luminosidade) são característicos dessa região, e por suas peculiaridades, muitas vezes, deixam de ocorrer espécies típicas de outras regiões pantaneiras (SORIANO et al., 1997).

O clima é classificado como tropical sub-úmido (Aw de Köppen), com estações contrastantes ao longo do ano, caracterizadas principalmente por estações de chuva (> 165 mm/mês), concentradas no verão, de seca (< 40 mm/mês), ocorrendo meses com precipitação em quantidades intermediárias (40 a 85 mm/mês). As temperaturas do ar apresentam-se com médias anuais de 26 °C e a altitude da sub-região varia de 100 a 120 m (RODELA, 2006).

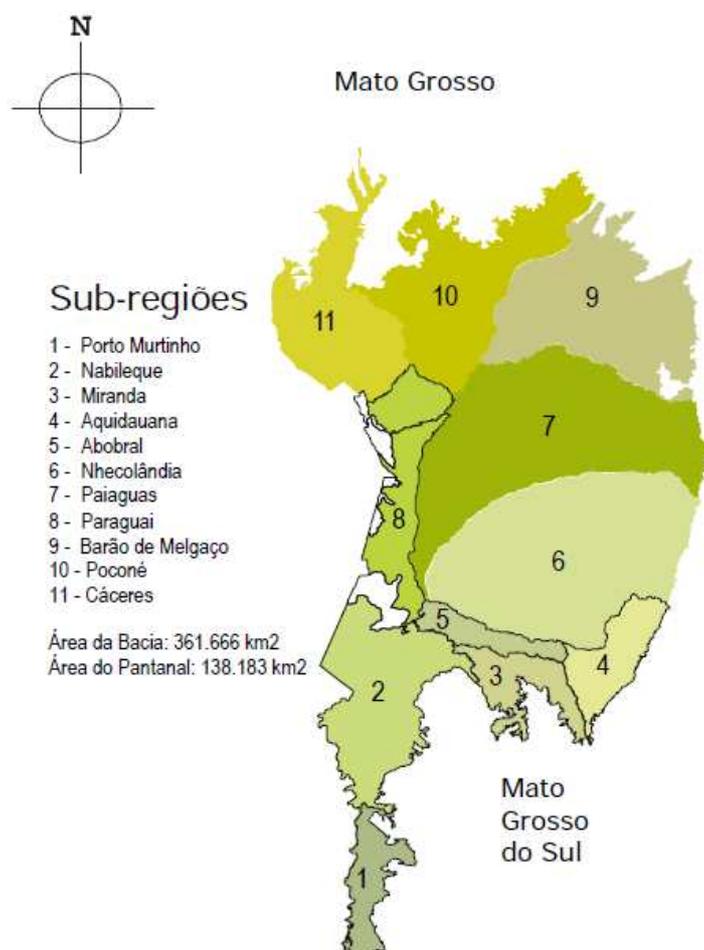


Figura 1 Delimitação das sub-regiões do Pantanal brasileiro (SILVA; ABDON, 1998).

A região é caracterizada por solo arenoso com um mosaico de vegetação com manchas de floresta semidecídua ou “cordilheiras”, cerradão, cerrado e vegetação arbustiva esparsa, além de um grande número de lagoas permanentes ou temporárias e campos sazonalmente inundáveis (ALHO; CAMPOS; GOLÇALVES, 1987). Como peculiaridade esta região apresenta um mosaico de

lagoas salinas e de água doce, entremeadas por cordilheiras com vegetação florestal e, entre estas, corixos e vazantes, marcando corredores de vegetação de cerrado e de campo (RODELA, 2006).

A economia da região concentra-se na exploração da bovinocultura de corte do tipo extensiva, por apresentar grandes campos de pastagens nativas cuja estacionalidade limita o aumento da produção (ALLEM; VALLS, 1987). Como as pastagens nativas constituem áreas heterogêneas, o principal desafio é conhecer esta variabilidade natural e buscar formas de maximizar a produtividade por meio de manejo adequado (NASCIMENTO JÚNIOR; SILVA; SANTOS, 1997).

No Pantanal da Nhecolândia ocorrem fitofisionomias diversificadas, com mosaicos de diferentes formações vegetacionais ordenados pelos gradientes topográficos: nos cordões arenosos de 1 a 4 m, superior às depressões, destacam-se a mata, o cerradão e o cerrado; nas cotas intermediárias predominam campos limpos com gramíneas, campos sujos com arbustos e gramíneas e ainda o campo cerrado; e nas partes mais baixas e corpos d'água, as plantas aquáticas e palustres (POTT, 1988). Nas cotas intermediárias e mais baixas da paisagem encontram-se as principais forrageiras que constituem a base da alimentação dos herbívoros na região, com destaque para *Hymenachne amplexicaulis* (gramíneas C3), predominante nas partes mais baixas (sujeitas à inundação sazonal), *Axonopus purpusii* e *Mesosetum chaseae* (gramíneas C4), de ampla ocorrência e predominantes nas partes intermediárias (sujeitas à inundação ocasional) e um pouco mais elevadas (livre de inundação, exceção a grandes cheias), respectivamente.

### **2.3 Qualidade do Solo**

Biomass preservados, como o Pantanal, possuem grandes áreas de pastagens nativas destinadas à pecuária. As transformações ocorridas no uso da terra deste bioma podem proporcionar grandes danos ambientais, com destaque para a fragmentação de habitats, extinção da biodiversidade, invasão de espécies exóticas, erosão dos solos, poluição de aquíferos, degradação de ecossistemas, desequilíbrios no ciclo do carbono, alteração dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo e conseqüentemente redução da qualidade dos solos.

Nesse contexto, dentre os componentes biofísicos, o elemento solo assume papel de destaque. Segundo Doran e Parkin (1994), o manejo da terra é considerado sustentável apenas quando mantém ou melhora a qualidade dos recursos naturais, entre os quais o ar e o solo. Ainda conforme estes autores, ao solo são atribuídos as funções de sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde humana, animal e vegetal.

A avaliação direta das propriedades do solo parece ser a forma mais adequada de medir ou monitorar a sua conservação ou qualquer processo de degradação em curso (BURGER, 1996). Em áreas de pastagens, a redução da produtividade tem sido relacionada ao seu manejo inadequado, por meio da ausência de aplicação de fertilizantes, espécies forrageiras inadequadas e alta taxa de lotação animal. A melhoria da fertilidade do solo aumenta a produtividade das pastagens e permite intensificar a sua utilização com maior taxa de lotação animal (LUGÃO et al., 2003). A deterioração das condições físicas de solos sob pastagem é atribuída ao pisoteio do gado, que causa compactação, expressa pelo aumento da densidade, da microporosidade e da resistência do solo à penetração, e da redução do espaço poroso total, da macroporosidade e dos valores das propriedades hidráulicas, o que propicia menor capacidade de infiltração da água no solo e aumento da susceptibilidade à erosão (COLET et al., 2009).

Dessa forma, a quantificação das alterações nos atributos do solo, decorrentes da intensificação de sistemas produtivos ou exploração de sistemas naturais, além de ser útil na avaliação de interferências antrópicas sobre o ambiente, pois considera a relação entre o solo e os demais aspectos do ecossistema, fornecem subsídios importantes na definição de sistemas racionais de manejo, contribuindo para tornar o solo menos suscetível à perda de capacidade produtiva, mantendo a conservação ambiental e a melhoria da qualidade do solo (CARDOSO, 2008).

Larson e Pierce (1991) definem a qualidade do solo como a capacidade de o mesmo funcionar nos limites do ecossistema e interagir positivamente com o ambiente externo. Doran e Parkin (1994) ampliaram este conceito, definindo-a como a aptidão do solo em funcionar dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado para sustentar a produtividade biológica, manter ou aumentar a qualidade ambiental e promover o bom desenvolvimento das plantas, animais e dos homens. Porém, embora existam vários métodos para monitorar e avaliar a qualidade da água e do ar, nenhum método sozinho tem sido amplamente aceito para atribuir um índice de qualidade ao solo, devido à complexidade e variabilidade desse sistema (GLOVER; REGANOLD; ANDREWS, 2000).

Várias estratégias de avaliação da qualidade do solo têm sido propostas, sendo destacadas as que consideram a necessidade de um conjunto numeroso de atributos químicos, físicos e biológicos do solo para a obtenção de um índice confiável de qualidade (DORAN; PARKIN, 1994; LARSON; PIERCE, 1991). Diferente dessas existem outras que consideram que um número reduzido ou isolado de atributos-chave, como a matéria orgânica do solo ou a curva de retenção de água, possa expressar eficientemente a qualidade do solo para um uso específico (CONCEIÇÃO et al., 2005). Também há propostas para avaliar a qualidade do solo que consideram a integração dos atributos deste com a

paisagem, obtendo índices normatizados conforme as funções consideradas relevantes para o local e o objetivo do solo (KARLEN; STOTT, 1994). No entanto, o solo é caracterizado por propriedades e atributos funcionalmente relacionados, assim, a avaliação conjunta dessas propriedades e/ou atributos do solo parece ser a forma mais adequada de medir e monitorar sua qualidade (KARLEN et al., 1997).

Para Stenberg (1999) nenhum indicador individualmente consegue descrever e quantificar todos os aspectos da qualidade do solo. Nem mesmo uma única função do solo é suficiente, já que deve haver uma relação entre todos os seus atributos. Assim, um número mínimo de indicadores deve ser selecionado. Mas, ainda não há um conjunto preciso de indicadores que possa ser utilizado universalmente para caracterizar a qualidade do solo, devido à complexidade desse sistema, o uso de diversos manejos e condições climáticas adversas. Por isso, existem trabalhos de pesquisas com enfoque na seleção de indicadores, objetivando avaliar suas respostas aos diversos tratamentos, em ecossistemas variados (BOUMA, 2002).

Segundo Vezzani e Mielniczuk (2009), a identificação ou avaliação de um indicador não constitui dificuldade em relação à qualidade do solo, mas sim o planejamento de agroecossistemas complexos que privilegiem o cultivo diversificado de plantas. A complexidade dos ecossistemas é o que faz a diferença para o desempenho eficiente das funções do sistema solo, determinando sua qualidade ambiental, sendo que essa complexidade é alcançada pelo cultivo contínuo e diversificado de plantas. Desta forma, estudos relacionados à qualidade do solo em biomas frágeis, como o Pantanal, são de fundamental importância para o desempenho das funções ambientais adequadas para a manutenção da sustentabilidade ambiental.

## REFERÊNCIAS

- ALHO, C. J. R.; CAMPOS, Z. M. S.; GOLÇALVES, H. C. Ecologia de capivara (*Hydrochaeris hydrochaeris*, Rodentia) do pantanal: I., habitats, densidades e tamanho de grupo. **Revista Brasileira de Biologia**, São Carlos, v. 47, n. 1, p. 87-97, jan. 1987.
- ALLEM, A. C.; VALLS, J. F. M. **Recursos forrageiros nativos do Pantanal Mato-Grossense**. Brasília: EMBRAPA-DDT; EMBRAPA-CENARGEN, 1987. 339 p. (Documentos, 8).
- BOUMA, J. Land quality indicators of sustainable land management across scales. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 88, n. 2, p. 129-136, Feb. 2002.
- BRASIL. **Projeto Radambrasil**: levantamento de recursos naturais. Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia, 1982. 452 p.
- BURGER, J. A. Limitations of bioassays for monitoring forest soil productivity: rationale and exaple. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 60, n. 6, p. 1674-1678, June 1996.
- CARDOSO, E. L. **Qualidade do solo em sistemas de pastagens cultivada e nativa na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Mato-Grossense**. 2008. 154 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.
- CARDOSO JÚNIOR, J. H. et al. Climatologia. In: BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. **Plano de conservação da bacia do Alto Paraguai (Pantanal) - PCBAP**: diagnóstico dos meios físicos e bióticos: meio físico. Brasília, 1997. v. 2, t. 1, p. 295-334.
- COLET, M. J. et al. Alteração em atributos físicos de um solo sob pastagem após escarificação. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 2, p. 361-368, mar. 2009.
- CONCEIÇÃO, P. C. et al. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n. 5, p. 777-788, set. 2005.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W. et al. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 3-21. (SSSA Special Publication, 35).

EATON, D. P. et al. Rotational grazing of native pasturelands in the pantanal: an effective conservation tool. **Tropical Conservation Science**, Menlo Park, v. 4, n. 4, p. 39-52, July 2011.

GLOVER, J. D.; REGANOLD, J. P.; ANDREWS, P. K. Systematic method for rating soil quality of conventional, organic, and integrated apple orchards in Washington State. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Ontario, v. 80, n. 1/2, p. 29-45, 2000.

HAMILTON, S. K.; SIPPEL, S. J.; MELACK, J. M. Inundation patterns in the Pantanal wetland of South America determined from passive microwave remote sensing. **Archiv für Hydrobiologie**, Stuttgart, v. 137, n. 1, p. 1-23, Jan. 1996.

JUNK, W. J. et al. Biodiversity and its conservation in the Pantanal of Mato Grosso, Brazil. **Aquatic Sciences**, Dübendorf, v. 68, n. 2, p. 278-309, Mar. 2006.

KARLEN, D. L. et al. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation: soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 61, n. 1, p. 4-10, Jan./Feb. 1997.

KARLEN, D. L.; STOTT, D. E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: DORAN, J. W. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: American Society of Agronomy, 1994. p. 53-71.

LARSON, W. E.; PIERCE, F. J. Conservation and enhancement of soil quality. In: INTERNATIONAL BOARD FOR RESEARCH AND MANAGEMENT, 2., 1991, Bangkok. **Proceedings...** Bangkok: IBSRAM, 1991. p. 175-203.

LUGÃO, S. M. B. et al. Acúmulo de forragem e eficiência de utilização do nitrogênio em pastagens de *Panicum maximum* Jacq. adubadas com nitrogênio. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, Maringá, v. 25, n. 2, p. 371-379, jul. 2003.

NASCIMENTO JÚNIOR, D.; SILVA, J. M.; SANTOS, M. V. Validação de metodologias na avaliação de pastagens naturais da região de Viçosa-MG, Brasil. **Pasturas Tropicales**, Cali, v. 19, n. 1, p. 27-35, ene. 1997.

POTT, A. **Pastagens no pantanal**. Corumbá: EMBRAPA-CPAP, 1988. 58 p. (Documentos, 7).

RODELA, L. G. **Unidades de vegetação e pastagens nativas do pantanal da Nhecolândia, Mato Grosso do Sul**. 2006. 222 p. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

SANTOS, S. A. **Caracterização dos recursos forrageiros nativos da subregião da Nhecolândia, Pantanal, Mato-Grosso do Sul, Brasil**. 2001. 190 p. Tese (Doutorado em Nutrição e Produção Vegetal) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

SANTOS, S. A. et al. **Princípios de agroecologia no manejo das pastagens nativas do Pantanal**. Corumbá: EMBRAPA Pantanal, 2004. 35 p. (Documentos, 63).

SANTOS, S. A. et al. **Sistema de produção de gado de corte do Pantanal**. Corumbá: EMBRAPA Pantanal, 2002. v. 1, 80 p.

SILVA, J. S. V.; ABDON, M. M. Delimitação do pantanal brasileiro e suas sub-regiões. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 10, p. 1703-1711, out. 1998.

SILVA, T. C. da. Contribuição da geomorfologia para o conhecimento e valorização do pantanal. In: SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SÓCIO-ECONÔMICOS DO PANTANAL, 1., 1986, Corumbá. **Anais...** Corumbá: EMBRAPA Pantanal, 1986. 1 CD-ROM.

SORIANO, B. M. A. et al. **Plano de utilização da fazenda Nhumirim**. Brasília: EMBRAPA-CPAP, 1997. 72 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 21).

STENBERG, B. Monitoring soil quality of arable land: microbiological indicators. **Soil and Plant Science**, London, v. 49, n. 1, p. 1-24, Aug. 1999.

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

**SEGUNDA PARTE - ARTIGOS**

Artigos elaborados conforme as normas da Revista Pesquisa Agropecuária  
Brasileira.

## ARTIGO 1 Estoque de carbono e nitrogênio em solo sob pastagens nativas no bioma Pantanal

\*Artigo nas normas da Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira

### RESUMO

O Pantanal apresenta elevada diversidade de pastagens nativas que servem de alimento para diversos animais silvestres e domésticos. A pecuária pantaneira desenvolve-se no sistema extensivo e em função dos níveis de inundação que ocorrem na área. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a humificação da matéria orgânica do solo em áreas de pastagens nativas sob diferentes usos e quantificar os estoques de C e N em solos arenosos do Pantanal. Amostras de solo de três pastagens nativas diferenciadas pela predominância de *Hymenachne amplexicaulis*, *Axonopus purpusii* e *Mesosetum chaseae*, submetidas a diferentes sistemas de uso (pastejo contínuo e veda aos animais por cinco anos) foram coletadas e posteriormente determinados os teores de carbono, nitrogênio e frações húmicas. A vedação das pastagens aos animais proporciona aumento dos teores de matéria orgânica do solo nas áreas de *A. purpusii* e *H. amplexicaulis*. A pastagem de *M. chaseae* sem pastejo possui menor densidade do solo, matéria orgânica e nitrogênio que a área pastejada. A fração do C-humina ocorre em maior teor em todas as áreas que as frações C-ácido Fúlvico e C-ácido húmico, mas concentra-se principalmente nas áreas com maior risco de inundação. A pastagem nativa caracterizada pela predominância de *H. amplexicaulis*, por sua ocorrência em posição rebaixada da paisagem, estocou maiores teores de matéria orgânica que as pastagens de *M. chaseae* e *A. purpusii*.

Palavras-chave: Frações húmicas. Matéria orgânica do solo. Qualidade do solo.

**Stock of carbon and nitrogen in soil under native pastures in Pantanal wetland biome, Brazil**

**ABSTRACT**

Pantanal has a high diversity of native pastures that provide food for many wild and domestic animals. Pantanal cattle raising is developed in an extensive grazing-based system and according to the flood levels that occur in the area. Thus, the aim of this study was to evaluate the humification of soil organic matter in areas of native pastures under different uses and to quantify the stocks of C and N in sandy soils of the Pantanal. Soil samples from three native pastures differentiated by the predominance of *Hymenachne amplexicaulis*, *Axonopus purpusii* and *Mesosetum chaseae* under different land use systems (continuous grazing and with five years of rest from grazing) were collected and used to quantify the levels of carbon, nitrogen and humic fractions. The pasture resting period from grazing provides an increase of levels of soil organic matter in the areas of *A. purpusii* and *H. amplexicaulis*. The *M. chaseae* ungrazed pasture showed lower levels of bulk density, organic matter and nitrogen than the grazed area. The C-humin fraction occurs at higher levels than the C-Fulvic acid and C-humic acid fractions in all areas, but it is mostly concentrated in areas with higher risk of flooding. The native pasture characterized by the predominance of *H. amplexicaulis*, by its occurrence in the lowered position of the landscape, stocked higher contents of organic matter than pastures of *M. chaseae* and *A. purpusii*.

Keywords: Humic fractions. Soil Organic Matter. Soil quality.

## INTRODUÇÃO

O Pantanal constitui-se na maior planície alagável contínua do planeta, com área de aproximadamente 140.000 km<sup>2</sup> (Harris et al., 2005), sendo reconhecido pela UNESCO como Reserva da Biosfera e Patrimônio da Humanidade. O Pantanal apresenta extensas áreas de pastagens nativas que constituem a base alimentar de herbívoros silvestres e animais domésticos voltados para a produção pecuária. Porém, apesar da riqueza e diversidade de seus ecossistemas, esta região possui elevada fragilidade ambiental, principalmente por depender do regime de inundações para a manutenção dos processos ecológicos, pois este é um dos fatores que regem a biodiversidade no Pantanal (Junk & Silva, 1999), e pelo pouco conhecimento sobre o funcionamento de seus ecossistemas (Barbiero et al., 2008)

O Pantanal apresenta, em algumas áreas, solos arenosos com baixos teores de nutrientes, sendo a matéria orgânica do solo (MOS) de fundamental importância para sustentabilidade destes sistemas. Nesta região, a MOS pode ser decomposta de forma acelerada devido às elevadas médias de temperatura e precipitação (Weber & Couto, 2008). Assim, devido à manutenção deste bioma estar associada à cobertura vegetal e aos processos biogeoquímicos do solo (Cardoso et al., 2009), cuidados especiais devem ser priorizados para a manutenção e estocagem da MOS no Pantanal.

A redução dos teores de MOS causa deterioração das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (Freitas et al., 2012), pois influencia diversas propriedades, como capacidade de retenção de água e nutrientes, agregação, estabilidade dos agregados e aeração do solo. A MOS pode ser utilizada como um indicador da qualidade do solo (Wendling et al., 2010),

porém suas frações frequentemente são mais sensíveis às mudanças ambientais (Bayer et al. 2002). As frações da MOS podem ser divididas em C fração ácidos fúlvicos (C-FAF), ácidos húmicos (C-FAH) e humina (C-FHu), sendo esta última de elevado peso molecular e altamente resistentes à biodegradação, acumulando C no solo por longos períodos (West & Post, 2002). A distribuição da MOS em frações varia conforme o tipo de solo, vegetação, uso e manejo empregado (Stevenson, 1994). As frações húmicas desempenham importante papel no fornecimento de nutrientes às culturas; retenção de cátions; complexação de elementos tóxicos e de micronutrientes; estabilidade de agregados; e por influenciarem na atividade e biomassa microbiana (Bayer & Mielniczuck, 1999; Donisa et al., 2003).

Os solos acumulam mais C que a vegetação (Garnett et al., 2001), no entanto, as florestas tendem a acumular mais C na parte aérea (Fujisaka et al., 1998) e as pastagens no sistema radicular (Lal, 2002). As pastagens podem acumular mais C que as florestas devido aos sistemas radiculares mais densos (Camill et al., 2004); acúmulo de serrapilheira, disponibilidade de resíduos mais recalcitrantes (Mahaney et al., 2008), além do retorno de MO e nutrientes nas fezes e urina liberados pelos animais (Haynes, 1999).

Para a região tropical existem controvérsias sobre o comportamento da MOS sob pastagens. Assim, para a região do cerrado brasileiro, os estoques de MOS podem ser mantidos ou aumentados após o cultivo de pastagens, quando comparado à vegetação nativa (Roscoe et al., 2006). Roscoe et al. (2001) afirmam que após 23 anos de cultivo de pastagens, os teores de MOS mantiveram-se iguais aos das áreas nativas, para os primeiros 100 cm de profundidade do solo no cerrado brasileiro. Por outro lado, Detwiller (1986) e Houghton et al. (1983) estimaram perdas no conteúdo de C entre 20% e 25%, respectivamente, em áreas cultivadas com pastagens. No Pantanal, poucos estudos mostram as alterações da MOS em áreas de pastagem, sendo que

Cardoso et al. (2010) identificaram redução do estoque de C após a conversão de floresta nativa em pastagem e exposição da pastagem nativa ao pastejo contínuo. Neste mesmo bioma, Fernandes et al. (1999) identificaram que o conteúdo de C orgânico total do solo diminui significativamente na área sob pastagem cultivada por 20 anos, em relação ao cerrado nativo na camada 0-40 cm. Kaschuk et al. (2011), por meio de meta-análises de diversos estudos para o Pantanal, identificaram redução da MOS após a conversão de florestas em pastagens.

Apesar da riqueza e importância dos ecossistemas para a manutenção da biodiversidade, o Pantanal ainda constitui um bioma pouco pesquisado, sobretudo no que se refere aos seus aspectos abióticos. Desta forma, o objetivo com este trabalho foi quantificar os estoques de C e N em áreas de pastagens nativas sobre diferentes usos no bioma Pantanal.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Caracterização da área e coleta das amostras**

As amostras de solo foram coletadas em outubro de 2011, na fazenda experimental da EMBRAPA Pantanal (latitude 18°59'06" e 19°00'06" S e longitude 56°39'40" e 55°40'40" W), no Pantanal da Nhecolândia, Mato Grosso do Sul, Brasil. O clima da região é classificado como tropical sub-úmido (Aw de Köppen), com inverno seco, chuvas no verão, precipitação pluviométrica anual entre 1000 e 1400 mm e temperaturas do ar com médias anuais de 26 °C. A altitude varia entre 100 a 120 m (Rodela, 2006) e o solo da área amostrada constitui-se de um Neossolo Quartzarênico órtico, enquadrado na classe textural areia (Embrapa, 1997).

As áreas de estudo foram representadas por pastagens nativas situadas em três distintos gradientes topográficos e diferenciadas quanto à predominância

de determinadas gramíneas, sendo todas submetidas ao sistema de pastejo contínuo e sem pastejo (veda), conforme abaixo especificadas:

- Pastagem nativa caracterizada pela predominância de *Hymenachne amplexicaulis*, localizada em área rebaixada e sujeita à inundação sazonal (Ha-P – sob pastejo contínuo; Ha-V – sem pastejo por 5 anos);

- Pastagem nativa caracterizada pela predominância de *Axonopus purpusii*, situada em área de cota intermediária (posição topográfica ligeiramente superior a anterior) e sujeita à inundação ocasional (Ap-P – sob pastejo contínuo; Ap-V - sem pastejo por 5 anos);

- Pastagem nativa com predominância de *Mesosetum chaseae*, localizada em área de cota mais elevada (posição topográfica ligeiramente superior a anterior) e livre de inundação (exceção às grandes cheias) (Mc-P - *Mesosetum chaseae* sob pastejo contínuo; Mc-V – sem pastejo por 5 anos) .

A amostragem de solo ocorreu em seis sistemas de uso das pastagens nativas, em três profundidades de coletas (0-10 cm; 10-20 cm; 20-40 cm). As amostras indeformadas, coletadas em anéis de volume conhecido, foram utilizadas para determinação da densidade do solo (Embrapa, 1997), que foi empregada no cálculo dos estoques de C e N no solo. Nos ecossistemas pastejados, adotou-se o mesmo valor de densidade do solo determinado no respectivo ecossistema vedado aos animais, de modo a evitar que a compactação do solo nos ecossistemas de pastagens, causada pelo pisoteio dos animais, resultasse em maiores valores de estoque (Cardoso et al., 2010; Carvalho et al., 2010; Sisti et al., 2004).

### **Análises químicas do carbono e das frações húmicas**

A quantificação do carbono orgânico nas frações húmicas foi realizada na Universidade Federal de Lavras, por meio de combustão seca em analisador

marca Elementar, modelo Vario TOC, acoplado à balança analítica. Os solos foram macerados em almofariz, peneirados em malha de 0,250 mm, acondicionados e selados em cápsulas de estanho e incinerados em temperatura aproximada de 950 °C, por 5 minutos, em um tubo de quartzo de combustão, sendo utilizado como carreador o gás O<sub>2</sub>, com 99,998 % de pureza. Após a combustão, toda a matéria orgânica foi convertida em CO<sub>2</sub> e relacionada automaticamente com a quantidade de C elementar existente na amostra. Na confecção da curva-padrão de carbono foram utilizadas amostras puras para análise de PHP (Potassium hydrogen phthalate, 47,05% de C) e de sucrose (42,1% de C). A obtenção do ácido fúlvico (C-FAF), ácido húmico (C-FAH) e Humina (C-FHu) ocorreu por meio de fracionamento químico, conforme método proposto por "International Humic Substances Society" - IHSS (Hayes et al., 1989). As relações entre C-FAH/C-FAF e (C-FAH + C-FAF) /C-FHu foram calculadas. O teor de nitrogênio foi determinado no equipamento TruMac CN, na USDA - Purdue University, onde as amostras foram pesadas, depositadas em recipientes de cerâmica e oxidadas em câmara com atmosfera controlada. Os gases homogeneizados foram analisados por meio de célula de condutividade térmica para a detecção de N<sub>2</sub> e a concentração de nitrogênio foi quantificada e corrigida para a temperatura, pressão e massa da amostra.

### **Análises estatísticas**

Os resultados foram submetidos à análise de variância, com delineamento experimental inteiramente casualizado, fatorial triplo com três repetições, conforme os procedimentos do software estatístico Sisvar (Ferreira, 2011). Foi utilizado o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, para comparação entre as médias das diferentes pastagens e profundidades.

A Análise de Componentes Principais - ACP, e a Análise Hierárquica de Agrupamentos - AHA, analisada por meio da distância Euclidiana, foram realizadas a fim de avaliar as diferenças entre todas as pastagens e sistemas de uso, na profundidade de 0 – 40 cm. Para isto, foi utilizado o programa SensoMaker v.1.7 (Pinheiro et al., 2013).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Carbono total

As pastagens nativas dominadas por *Axonopus purpussi*, *Hymenachne amplexicaulis* e *Mesosetum chaseae* apresentaram elevada variação do teor de C no solo, com valores entre 2,66 e 129,67 g.kg<sup>-1</sup> (Tabela 1) para a camada superficial do solo, que é a camada mais influenciada pela forma de uso do solo (Loss et al., 2011). Para a camada de 20-40 cm, os valores de C apresentam variações entre 5,03 e 0,91 g.kg<sup>-1</sup>, o que indica que as alterações devido ao uso da terra são influenciadas em menor amplitude nas camadas mais profundas do solo (Maquere et al., 2008).

A pastagem com predominância de *A. purpusii* apresentou maior teor de C na camada superficial do solo, com redução do teor de C conforme o aumento da profundidade, para todos os sistemas de manejo desta pastagem. O teor mais elevado de C, na camada de 0-10 cm, foi determinado na condição da pastagem vedada em comparação à área pastejada (Tabela 1). Isto ocorre devido ao maior crescimento da cobertura vegetal do *A. purpusii* na área vedada, ausência de bovinos e equinos pastejando nesta área e maior ciclagem de nutrientes favorecida pela manutenção da biomassa no próprio local. Deve-se salientar que animais silvestres de pequeno porte alimentam-se nas áreas vedadas (Desbiez & Keuroghlian, 2009), no entanto, estes animais não reduziram a cobertura vegetal proporcionada por esta pastagem.



Tabela 1 Carbono total, densidade do solo e estoque de carbono em solos sob pastagens nativas no Pantanal da Nhecolândia, MS.

Pas.	Carbono total (g kg <sup>-1</sup> )				Densidade do solo (kg dm <sup>-3</sup> )				Estoque de carbono (Mg ha <sup>-1</sup> )			
	0-10	10-20	20-40	0-40	0-10	10-20	20-40	0-40	0-10	10-20	20-40	0-40
Ap-P	8,62Ba	4,61Ab	1,01Ac	14,24	1,28Ab	1,37Aa	1,35Aa	4,00	13,19Aa	6,35Ab	0,68Ac	21,15
Ap-V	10,36Aa	3,78Ab	1,81Ac	15,95	1,17Bb	1,38Aa	1,33Aa	3,88	10,12Ba	5,16Ab	1,21Ac	20,11
Ha-P	80,6Ba	55,56Bb	4,57Ac	140,73	0,48Bc	0,88Ab	1,44Aa	2,80	55,13Aa	48,51Ab	3,3Ac	92,98
Ha-V	129,67Aa	68,91Ab	5,03Ac	203,61	0,68Ac	0,75Ab	1,43Aa	2,86	61,27Aa	51,75Aa	3,6Ab	127,41
Me-P	7,51Aa	3,31Ab	2,75Ab	13,57	1,33Aa	1,33Aa	1,31Aa	3,97	10,01Aa	4,41Ab	1,8Ac	20,66
Me-V	5,64Ba	3,56Ab	2,52Ab	11,72	1,25Ba	1,30Aa	1,26Aa	3,81	7,02Ba	4,62Ab	1,59Ac	20,38

Ha-P - *Hymenachne amplexicaulis* pastejado; Ha-V - *Hymenachne amplexicaulis* vedado; Ap-P - *Axonopus purpusii* pastejado; Ap-V - *Axonopus purpusii* vedado; Me-P - *Mesosetum chaseae* pastejado; Me-V - *Mesosetum chaseae* vedado.

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na coluna para cada pastagem e minúscula na linha em cada atributo, não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5 %.

A pastagem com predominância de *H. amplexicaulis* apresentou maiores teores de C que as demais pastagens (Tabela 1), por localizarem-se em áreas situadas em bordas de baías e que dependendo da intensidade da cheia podem permanecer submersas por alguns meses e com deposição de grande quantidade de resíduos vegetais que se acumulam cheia após a inundação. Desta forma, a maior umidade e a menor disponibilidade de oxigênio no solo proporcionam reduzida decomposição dos materiais orgânicos e maior acúmulo de C (Moreira & Siqueira, 2006). As áreas de *H. amplexicaulis* vedadas aos animais apresentaram maiores teores de C que as áreas pastejadas, para as camadas de 0-10 e 10-20 cm, e teores iguais para a camada de 20-40 cm (Tabela 1). Independentemente do sistema de uso destas pastagens, o teor de C apresentou redução conforme o aumento da profundidade do solo, com diferenças de aproximadamente 95% entre a camada superficial e a profundidade de 20-40 cm.

O teor de C nas pastagens com predominância de *M. chaseae*, para a camada superficial do solo, foi maior no ambiente pastejado que naquele vedado aos animais (Tabela 1). Isto indica que para a camada superficial o maior pastejo proporciona maior acúmulo de C no solo. Possivelmente isto ocorre, pois nas áreas com maior pastejo ocorrem infestações de outras espécies vegetais, que disponibilizam maiores quantidades de C ao solo que o *M. chaseae*. Um indicador da invasão de outras espécies nas áreas pastejadas está relacionado ao maior teor de N obtidos neste sistema de uso, quando comparado as áreas vedadas aos animais (Tabela 2). Para as camadas de 10-20 e 20-40 cm de profundidade, as áreas vedadas e pastejadas apresentaram teores de C estatisticamente iguais o que mostra que o efeito da manutenção da área como reserva ou degradação é de maior pronúncia na camada superficial do solo.

Em geral, os teores de C encontrados nas áreas que não sofrem inundações anuais, caracterizadas pelas pastagens de *A. purpusi* e *M. chaseae*, ficaram próximos aos determinados por Neill et al. (1997) e Victoria et al.

(1995), que estudaram pastagens da Amazônia e do Pantanal brasileiro, respectivamente. As áreas de *H. amplexicaulis* apresentam elevados teores de C, devido à inundação anual, e próximos aos determinados para áreas alagadas nos trabalhos de Ceballos et al. (2013). Assim, as áreas alagadas podem ser consideradas sumidouros de C (Mitsch & Gosselink, 2007) e representam os maiores reservatórios deste elemento no solo, contribuindo de forma decisiva para o ciclo global do C (Mitra et al., 2005). Xavier et al. (2013) indicam que práticas de manejo do solo que aumentam o teor de MOS constituem uma importante estratégia para elevar a fertilidade, principalmente nos solos arenosos, como os que ocorrem no Pantanal da Nhecolândia, pois estes possuem baixa capacidade de troca catiônica e pouca disponibilidade de nutrientes para as plantas.

### **Densidade do solo**

Os valores de densidade do solo apresentaram elevada variabilidade entre as pastagens, com valores de  $0,48 \text{ kg dm}^{-3}$  para as áreas de *H. amplexicaulis*, que possuem elevados teores de C, até  $1,33 \text{ kg dm}^{-3}$ , nas áreas pastejadas de *M. chaseae* (Tabela 1). No entanto, todas as áreas apresentaram valores de densidade do solo menores que os encontrados por Reichert et al. (2009) e Cardoso et al. (2010).

Dentre as áreas de *A. purpusii*, o sistema pastejado apresentou maior densidade do solo que a área vedada aos animais, para a camada superficial do solo (0 – 10 cm). Isto ocorre devido ao pisoteio dos animais que provoca aumento da densidade do solo e mudanças no espaço poroso do solo (Neill et al., 1997). Para as profundidades de 10 – 20 e 20 – 40 cm, as áreas pastejadas e vedadas apresentaram semelhantes valores de densidade do solo. Possivelmente, os elevados valores de densidade na área vedada devem-se ao pastejo que

ocorreu em período anterior à veda da área e a maior predisposição aos ciclos de umedecimento e secagem do solo, conforme destacado por Oliveira et al. (1996).

Na pastagem de *H. amplexicaulis* a densidade do solo foi menor na área pastejada que na área vedada, apenas para a camada superficial do solo. Este fenômeno, que ocorre de forma inversa ao esperado, possivelmente deve-se ao fato de a área pastejada ter sido revolvida por animais silvestres (porcos selvagens), que são comuns nestas áreas e revolvem o solo a procura de raízes para se alimentar (Desbiez & Keuroghlian, 2009). Assim, com o revolvimento do solo, ocorre inversão constante das partículas e redução da densidade do solo. Independentemente do sistema de uso do solo, a densidade do solo aumenta nas camadas mais profundas, o que está relacionado com a diminuição substancial do teor de MOS que ocorrem nas pastagens de *H. amplexicaulis* em profundidade.

Os diferentes sistemas de uso das pastagens de Mesosetum proporcionaram reduzidas alterações nos valores de densidade do solo, que variaram de 1,25 a 1,33 kg dm<sup>-3</sup>. No entanto, as áreas pastejadas e degradadas apresentaram maiores valores de densidade do solo para a camada superficial do solo, pois nestas áreas ocorre o constante pisoteio animal e redução da porosidade do solo (Albuquerque et al., 2001). Na camada de 20-40 cm os valores de densidade são iguais entre os diferentes sistemas de uso do *M. chaseae*, o que indica que o efeito do pastejo dos animais está restrito aos primeiros centímetros do solo (Cantarutti et al., 2001).

### **Estoque de carbono no solo**

Os estoques de C no solo reduziram conforme o aumento da profundidade para todas as pastagens estudadas (Tabela 1). Na camada superficial do solo das pastagens de *A. purpusii* os maiores estoques de C foram encontrados na área pastejada, devido aos maiores valores de densidade do solo

nesta área em comparação à área vedada. O aumento da densidade do solo proporciona um maior estoque de C no solo, pois nesta situação a quantidade de massa de solo por volume é maior e representa maiores teores de C (Gifford et al., 2003).

O pastejo contínuo não altera o estoque de C em comparação a área vedada por cinco anos, nas áreas de *H. amplexicaulis*, independentemente da profundidade analisada. Esta pastagem apresenta elevada redução do estoque de C para a camada de 20-40 cm, no entanto, possui elevada capacidade de reter C, estocando 92,98 e 127,41 Mg.ha<sup>-1</sup> na profundidade de 0-40 cm, para as áreas pastejadas e vedadas, respectivamente. Estes valores de estoque de C superam os valores encontrados Neill et al. (1997); Cardoso et al. (2010) e Maia et al. (2009) para pastagens no Brasil e ocorrem devido à inundação anual a que são submetidas.

Nas pastagens de *M. chaseae* o maior estoque de C ocorreu no sistema pastejado, para a camada superficial do solo, porém este sistema apresenta estoque de C semelhante às áreas vedadas aos animais para as camadas mais profundas do solo. Assim, possivelmente, o maior estoque de C na camada superficial das pastagens de *M. chaseae* deve-se à alta densidade do solo e ao crescimento de outras espécies vegetais, que desenvolvem na área devido à degradação provocada pelo pastejo.

O estoque de C no solo tende a aumentar com a elevação do teor de argila no solo, devido à proteção física e química que esta fração do solo proporciona à matéria orgânica (Feller & Beare, 1997; Zinn et al., 2002). Zinn et al. (2005) mostram que os solos arenosos do Brasil acumulam menos C que argilosos, sendo isto atribuído a fácil dispersão dos agregados do solo e exposição da matéria orgânica, além da reduzida adsorção e estabilização dos derivados orgânicos gerados pela decomposição da MOS. Esta redução do estoque de C nos solos arenosos é de maior importância nas regiões de clima

quente (Amelung et al., 1997), como é o caso do Pantanal da Nhecolândia. Assim, devido à elevada temperatura da região e alto teor de areia nos solos do Pantanal da Nhecolândia, as pastagens de *A. purpusii* e *M. chaseae*, por não sofrerem inundações anuais, acumulam menores quantidades de C que as pastagens tropicais estudadas por Carvalho et al. (2010) e Moraes et al. (2003). Porém, estudos de Frazão et al. (2010), em pastagens sobre solos arenosos do Brasil, determinaram estoques de C próximos aos encontrados nos solos onde ocorre o crescimento destas gramíneas. Deve-se destacar que pastagens que recebem adição de fertilizantes e calcários tendem a acumular maiores quantidades de C no solo (La Scala et al., 2012), não sendo este o caso das pastagens do Pantanal da Nhecolândia.

#### **Nitrogênio e Relação Carbono: Nitrogênio**

O nitrogênio corresponde a uma importante fração da MOS e apresenta variação em seu conteúdo conforme o tipo de material orgânico que é depositado no solo (Santos et al., 2008). Nas áreas estudadas, o teor de N variou de 0,38 a 13,06 g.kg<sup>-1</sup>, na camada superficial das pastagens de *M. chaseae* e *H. amplexicaulis*, respectivamente (Tabela 2). Esta elevada variação do teor de nitrogênio depende do tipo de vegetação, solo, relação C: N, grau de decomposição da MOS e uso do solo (Mielniczuk et al., 2003) e, para a área de *H. amplexicaulis*, provavelmente a maior disponibilidade de MOS e umidade do solo são os fatores que proporcionaram os elevados valores de N. As pastagens de *A. purpusii* e *M. chaseae* vedadas aos animais apresentaram menores teores de N que os sistemas pastejados para a camada superficial do solo, no entanto, para as camadas de 10-40, o teor de N foi semelhante entre os dois sistemas de uso do solo (Tabela 2).

Tabela 2 Nitrogênio total (NT), Estoque de nitrogênio e relação C:N em solos sob pastagens nativas no Pantanal da Nhecolândia, MS.

Pas.	Nitrogênio total (g kg <sup>-1</sup> )				Estoque de nitrogênio (Mg ha <sup>-1</sup> )				C:N			
	0-10	10-20	20-40	0-40	0-10	10-20	20-40	0-40	0-10	10-20	20-40	20-40
Ap-P	0,78Aa	0,34Ab	0,06Ac	1,18	1,00Aa	0,47Ab	0,15Bc	1,62	13,17Ab	13,62Ab	18,26Aa	45,05
Ap-V	0,63Ba	0,27Ab	0,12Ac	1,02	0,74Ba	0,38Ab	0,33Ab	1,45	13,15Ac	13,93Ab	15,29Ba	42,37
Ha-P	7,63Ba	5,43Bb	0,29Ac	13,35	5,07Ba	4,97Aa	0,83Ab	10,87	10,10Ab	10,01Ab	16,55Aa	36,66
Ha-V	13,06Aa	6,57Ab	0,30Ac	19,93	5,97Aa	4,74Ab	0,85Ac	11,56	10,12Ab	10,38Ab	16,95Aa	37,45
Me-P	0,56Aa	0,25Ab	0,19Ab	1,00	0,75Aa	0,34Ac	0,49Ab	1,58	12,56Ab	13,93Aa	15,02Aa	41,51
Me-V	0,38Ba	0,27Ab	0,17Ac	0,82	0,48Ba	0,35Ab	0,45Aa	1,28	13,11Aa	13,80Aa	14,10Aa	41,01

Ha-P - *Hymenachne amplexicaulis* pastejado; Ha-V - *Hymenachne amplexicaulis* vedado; Ap-P - *Axonopus purpusii* pastejado; Ap-V - *Axonopus purpusii* vedado; Me-P - *Mesosetum chaseae* pastejado; Me-V - *Mesosetum chaseae* vedado.

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na coluna para cada pastagem e minúscula na linha em cada atributo, não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5 %.

O estoque de N no solo apresentou elevada variação, com o menor valor determinado para a área vedada aos animais da pastagem de *A. purpusii*, 0,74 Mg.ha<sup>-1</sup>, e os maiores valores para a área de *H. amplexicaulis* vedado aos animais, 5,97 Mg.ha<sup>-1</sup>, para a camada superficial do solo (Tabela 2). A camada de 0-10 cm estoca maiores teores de N que as demais profundidades, pois na camada superficial ocorre maior deposição de material orgânico, que devido ao baixo grau de decomposição apresenta maior teor de N.

A relação C: N da MOS não apresentou alterações entre os sistemas de uso pastejado e vedado aos animais para as camadas de 0-10 e 10-20 cm (Tabela 2). Apenas para a camada de 20-40 cm da pastagem de *A. purpusii* vedada aos animais foi inferior à área pastejada, para a relação C: N. Quanto menor a relação C: N, maior a disponibilidade de N na MOS e maior será a velocidade de decomposição da MOS em curto prazo (Bayer et al., 2006). Observa-se que nas camadas mais profundas do solo de todas as pastagens a relação C: N é maior que na camada superficial, o que indica uma concentração do C em relação ao N e, de forma indireta, reflete na maior recalcitrância da MOS, pois a assimilação de C pelos microrganismos decompositores é acompanhada pela assimilação simultânea de N (Chantigny et al., 2001).

### **Fracionamento da matéria orgânica do solo**

O C na fração Humina (C-FHu) foi a fração da MOS com a maior ocorrência no solo, com correspondências médias de 81,8; 73,8 e 70,1% para as pastagens de *H. amplexicaulis*, *A. purpusii* e *M. chaseae*, respectivamente (Tabela 3). Conforme Steverson (1994), o C-FHu tende a acumular nos solos, pois esta é a fração do C mais estável, com destaque para a lignina. Além disto, Moraes et al. (2011) indica que a C-FHu possui elevada associação com a fração

mineral do solo, o que aumenta a preservação desta fração orgânica. Para a pastagem de *A. purpusii*, o sistema pastejado apresentou maiores teores de C-FAF e C-FAH que os demais sistemas, porém os teores de C-FHu foram semelhantes aos da área vedada aos animais. Provavelmente isto ocorreu, pois o C-FAF e C-FAH são menos estáveis e representam os processos mais recentes que ocorrem nos solos, como a deposição de dejetos pelos animais, refletindo com menor proporção processos antigos (Steverson, 1994).

Todas as frações de C na pastagem de *H. amplexicaulis* vedada foram maiores que a pastejada, para a camada superficial do solo, com redução da concentração das frações orgânicas conforme o aumento da profundidade do solo. Na área pastejada, os teores da C-FAF e C-FAH foram semelhantes entre as camadas de 0-10 e 10-20 cm, o que indica que neste sistema ocorre incorporação de MOS lábil em profundidade no solo. Este efeito pode ser reflexo da atividade de animais silvestres, que revolvem o solo destas áreas para se alimentarem de raízes de plantas e sementes (Desbiez & Keuroghlian, 2009).

O *M. chaseae* vedado apresentou maior quantidade de C-FAH e C-FHu, para a camada superficial do solo, sendo que para o C-FHu este sistema apresenta elevada redução com o aumento da profundidade do solo. Assim, conclui-se que este sistema possui deposição recente de material orgânico na superfície do solo, o que ocorre devido à ausência de pastejo (Tabela 3).

Tabela 3 Carbono nas frações ácido húmico, ácido fúlvico e humina, em solos sob pastagens nativas no Pantanal da Nhecolândia, MS.

Pas.	C-Ácido fúlvico (g kg <sup>-1</sup> )				C-Ácido húmico (g kg <sup>-1</sup> )				C-Humina (g kg <sup>-1</sup> )			
	0-10	10-20	20-40	0-40	0-10	10-20	20-40	0-40	0-10	10-20	20-40	0-40
Ap-P	0,62Aa	0,39Ab	0,30Ac	1,31	2,29Aa	0,67Ab	0,17Ac	3,13	7,45Aa	3,55Ab	0,54Ac	11,54
Ap-V	0,51Ba	0,36Ab	0,24Ac	1,11	1,49Ba	0,62Ab	0,20Ac	2,31	6,61Aa	2,79Ab	1,37Ac	10,77
Ha-P	1,12Ba	1,27Aa	0,36Ab	2,75	12,82Ba	15,60Aa	1,69Ab	30,11	66,66Ba	38,69Bb	2,53Ac	107,88
Ha-V	2,20Aa	1,22Ab	0,34Ac	3,76	16,13Aa	7,41Bb	2,34Ac	25,88	111,34Aa	60,27Ab	2,35Ac	173,96
Me-P	0,50Aa	0,39Ab	0,34Ac	1,23	1,68Aa	0,10Bb	0,17Bb	1,95	5,33Aa	2,82Ab	2,24Ab	10,39
Me-V	0,48Aa	0,39Aa	0,35Ab	1,22	1,23Ba	0,56Ab	0,36Ac	2,15	3,94Ba	2,62Ab	1,81Ab	8,37

Ha-P - *Hymenachne amplexicaulis* pastejado; Ha-V - *Hymenachne amplexicaulis* vedado; Ap-P - *Axonopus purpusii* pastejado; Ap-V - *Axonopus purpusii* vedado; Me-P - *Mesosetum chaseae* pastejado; Me-V - *Mesosetum chaseae* vedado.

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na coluna para cada pastagem e minúscula na linha em cada atributo, não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5 %.

No geral, a manutenção de elevados teores de C nas C-FAF e C-FAH torna-se complexa para regiões quentes e para solos arenosos (Guimarães et al., 2013), como é o caso do Pantanal. Assim, devido aos elevados teores de areia nos solos do Pantanal da Nhecolândia, ocorre reduzida proteção da MOS por esta fração mineral, o que provoca acúmulo do C-FHu, que é a mais estável. Esta fração, na maioria dos solos tropicais, representa boa parte do C humificado do solo, podendo constituir até cerca de 2/3 do C, além de apresentar longa permanência no solo. Na ausência de revolvimento do solo as diferenças na composição das substâncias húmicas são reguladas principalmente pela atividade microbiana (Moreira & Siqueira, 2006) e, nessa condição, a humificação e a formação de moléculas de maior massa molar são favorecidas.

#### **Relações entre as Frações da Matéria Orgânica do Solo**

A relação C-FAH/C-FAF é considerada um indicador do processo de humificação do solo e reflete a mobilidade do C orgânico no solo (Guimarães et al., 2013). Assim, valores maiores que 1 indicam um estágio mais avançado de transformação da MOS, com predominância do C-FAH (Xavier et al., 2013). O C-FAH é considerado a mais importante fonte de troca de cátions na matéria orgânica e sua presença no solo pode contribuir para o aumento da capacidade de troca catiônica e ciclagem de nutrientes (Melo et al., 2008). Para todas as pastagens estudadas, observa-se uma redução da relação C-FAH/C-FAF com o aumento da profundidade do solo (Tabela 4), o que mostra uma maior persistência do C-FAF nas camadas mais profundas. Desta forma, a camada de 20-40 cm apresenta menor taxa de humificação que a camada de 0-10 cm, para todas as pastagens analisadas. Guimarães et al. (2013) afirmam que a relação C-FAH/C-FAF maior que 1 indica perda da fração de maior labilidade, representada pelo C-FAF e que esta é uma situação comum em solos arenosos. Esta taxa maior que 1 foi encontrada em todas as pastagens do Pantanal,

independentemente do sistema utilizado, no entanto, as áreas de maior umidade, representadas pela *H. amplexicaulis*, apresentaram os maiores valores, para todas as camadas do solo analisadas.

Tabela 4 Relações entre o carbono da fração ácido húmico (C-FAH), ácido fúlvico (C-FAF) e humina (C-FHu), em solos sob pastagens nativas no Pantanal da Nhecolândia, MS.

Pas.	C-FAH/C-FAF						C-FAH+C-FAF/C-FHu					
	0-10		10-20		20-40		0-10		10-20		20-40	
Ap-P	3,68	A a	1,70	A b	0,57	A c	0,39	A b	0,30	A b	0,87	A a
Ap-V	2,92	B a	1,73	A b	0,95	A c	0,30	A a	0,36	A a	0,32	B a
Ha-P	11,64	A a	12,50	A a	5,21	A b	0,21	A b	0,45	A b	0,87	A a
Ha-V	7,40	A a	6,04	B a	7,26	A a	0,17	A b	0,15	B b	1,14	A a
Me-P	3,38	A a	0,27	B b	0,51	B b	0,42	A a	0,18	A a	0,23	A a
Me-V	2,59	B a	1,44	A b	1,05	A b	0,45	A a	0,37	A a	0,39	A a

Ha-P - *Hymenachne amplexicaulis* pastejado; Ha-V - *Hymenachne amplexicaulis* vedado; Ap-P - *Axonopus purpusii* pastejado; Ap-V - *Axonopus purpusii* vedado; Me-P - *Mesosetum chaseae* pastejado; Me-V - *Mesosetum chaseae* vedado.

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na coluna para cada pastagem e minúscula na linha em cada atributo, não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5 %.

A relação entre a soma dos ácidos húmicos e fúlvicos pela humina ((C-FAF+C-FAH)/HU) indica a proporção de humificação da MOS. Assim, valores menores que 1, conforme encontrado nas áreas estudadas (Tabela 4) representam solos com maior proporção da fração humina, que é mais estável no solo. Conforme Canellas et al. (2008), estes valores podem indicar elevada interação entre a MOS e a fase mineral, o que resulta em elevada estabilidade da MOS e maior concentração das frações húmicas. No entanto, os valores de ((C-FAF+C-FAH)/HU) aumentam para as camadas mais profundas do solo, o que representa

uma redução das frações mais estáveis em profundidade, para todas as gramíneas analisadas.

### **Análise Hierárquica de Agrupamentos e Análise de Componente Principal**

Todas as pastagens foram comparadas entre si, para a profundidade de 0 – 40 cm, para todos os atributos de solo analisados. A Análise Hierárquica de Agrupamentos foi utilizada para partição de uma população heterogênea em vários grupos homogêneos e no agrupamento não há classes pré-definidas, sendo os elementos agrupados de acordo com a semelhança. Assim, a Análise Hierárquica de Agrupamentos mostra que as pastagens de *H. amplexicaulis*, independente do sistema de uso, diferenciam das demais pastagens (Figura 1), devido à inundação anual que ocorre nestas áreas e que proporciona acúmulo de C no solo (Moreira & Siqueira, 2006). As demais pastagens mostram comportamentos próximos, porém, observa-se que o *M. chaseae* no sistema de vedado diferencia-se do *M. chaseae* pastejado.

A Análise dos Componentes Principais (ACP) explica 99,75% da variância ocorrida entre as pastagens e componentes do solo. A ACP confirma os resultados encontrados na Análise Hierárquica de Agrupamentos, com diferenciação das pastagens de *H. amplexicaulis* das demais (Figura 2). Porém, pela ACP é possível verificar que a *H. amplexicaulis* vedada diferencia-se da pastejada, principalmente pelos teores de humina. As pastagens de *M. chaseae* e *A. purpusii*, independentemente do sistema de uso, formaram apenas um grupo, quando analisado todos os componentes do solo na camada de 0 – 40 cm. A similaridade apresentada entre estas pastagens justifica-se por sua posição semelhante na paisagem, ou seja, sujeitas à inundação ocasional e livre de cheias, e quando isto ocorre é em menor intensidade que nas de *H. amplexicaulis* (Santos et al., 2004). Assim, a frequência da inundação é o principal fator de

diferenciação destas pastagens, sendo que as áreas de *H. amplexicaulis* se diferenciam das demais principalmente pelo elevado teor de C, Humina e estoque de C no solo.

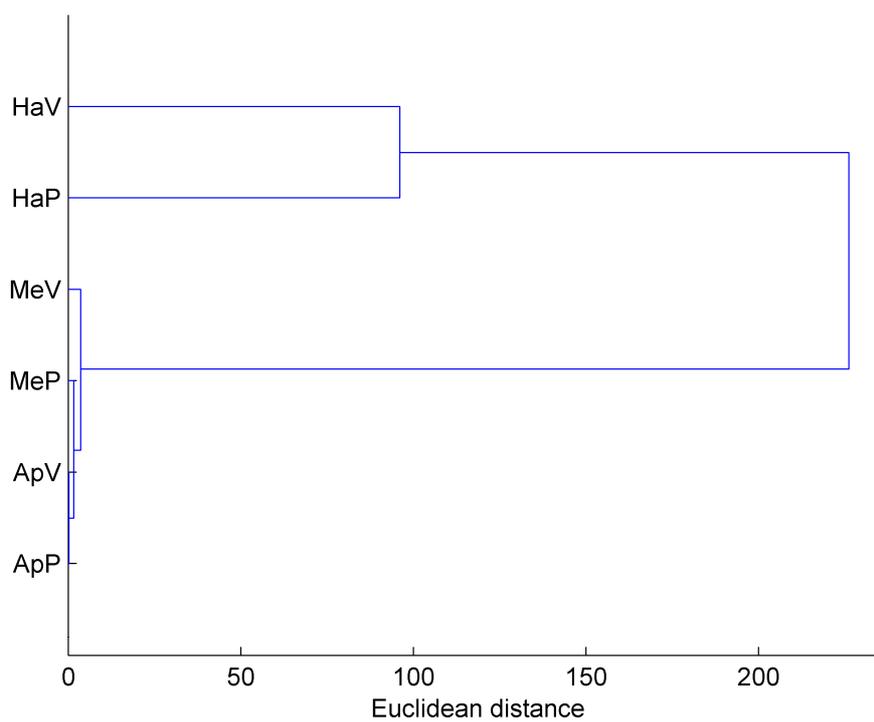


Figura 1 Análise Hierárquica de Agrupamentos das pastagens nativas do Pantanal da Nhecolândia, MS, Brasil.

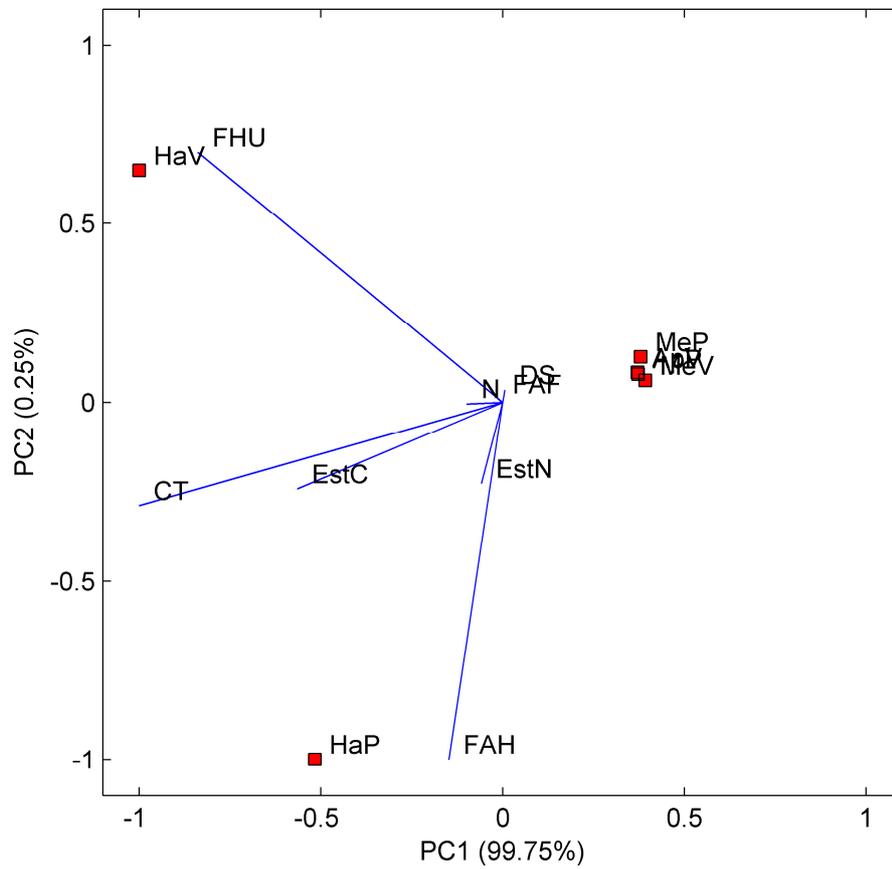


Figura 2 Análise dos Componentes Principais para pastagens nativas do Pantanal da Nhecolândia, MS, Brasil.

## CONCLUSÕES

As pastagens nativas caracterizadas pela predominância de *Axonopus purpusii* e *Hymenachne amplexicaulis* quando submetidas à ausência de pastejo (veda por 5 anos) apresentaram aumento dos teores de matéria orgânica do solo.

A pastagem nativa caracterizada pela predominância de *Mesosetum chaseae* quando submetida à ausência de pastejo (veda por 5 anos) apresentou menor densidade do solo e menores teores de matéria orgânica e nitrogênio do que sob pastejo contínuo.

A pastagem nativa caracterizada pela predominância de *Hymenachne amplexicaulis*, por sua ocorrência em posição rebaixada da paisagem, estocou maiores teores de matéria orgânica que as pastagens de *Mesosetum chaseae* e *Axonopus purpusii*.

## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, J.A.; SANGOI, L.; ENDER, M. Efeitos da interação lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p.717-723, 2001.

AMELUNG, W. FLACH, K.W.; ZECH, W. Climatic effects on soil organic matter composition in the Great Plains. **Soil Science Society of America Journal**, v.61, p.115-123, 1997.

BARBIERO, L. REZENDE FILHO, A.T.; FIRQUIM, S.A.C.; FURIAN, S.; SAKAMOTO, A.Y.; VALLES, V.; GRAHAM, R.C.; FORT, M.; FERREIRA, R.P.D.; QUEIROZ NETO, J.P. Soil morphological control on saline and freshwater lake hydrogeochemistry in the Pantanal of Nhecolândia, Brazil. **Geoderma**. V.148, p.91-106, 2008.

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

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

BAYER, C.; MIELNICKZUC, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.O. (ed). **Fundamentos da matéria orgânica: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p.9-23.

CAMILL, P.; MCKONE, M.J.; STURGES, S.T; SEVERUD, W.J; ELLIS, E.; LIMMER, J.; MARTIN, C.B.; NAVRATIL, R.T.; PURDIE, A.J.; SANDEL, B.S.; TALUKDER, S. TROUT, A. Community and ecosystem-level changes in

a species-rich tallgrass prairie restoration. **Ecological Applications**, v.14, p.1680-1694, 2004.

CANELLAS, L.P.; TEIXEIRA JUNIOR, L.R.L.; DOBBSS, L.B.; SILVA, C.A.; MEDICI, L.O.; ZANDONADI, D.B.; FACANHA, A.R. Humic acids crossinteractions with root and organic acids. **Annals of Applied Biology**, v.153, p.157-166, 2008.

CANTARUTTI, R.B.; NASCIMENTO Jr., D.; COSTA, O.V. Impacto animal sobre o solo: compactação e reciclagem de nutrientes. In: MATOS, W.R.S. (Ed.). **A produção animal na visão dos brasileiros**. Piracicaba: FEALQ, 2001. p.826-837.

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

CARDOSO, E.L.; SILVA, M.L.N.; SILVA, C.A.; CURI, N.; FREITAS, D.A.F. Estoques de carbono e nitrogênio em solo sob florestas nativas e pastagens no bioma Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, p.1028-1035, 2010.

CARVALHO, J.L.N.; RAUCCI, G.S.; CERRI, C.E.P.; BERNOUX, M.; FEIGL, B.J.; WRUCK, F.J; CERRI, C.C. Impact of pasture, agriculture and crop-livestock systems on soil C stocks in Brazil. **Soil and Tillage Research**, v.110, p.175-186, 2010.

CEBALLOS, D.S.; FRANGI, J.; JOBBÁGY, E.G. Soil volume and carbon storage shifts in drained and afforested wetlands of the Paraná River Delta. **Biogeochemistry**, v.112, p.359-372, 2013.

CHANTIGNY, M.H.; ROCHETTE, P.; ANGERS, A. Short-term C and N dynamics in a soil amended with pig slurry and barley straw: a field experiment. **Canadian Journal of Soil Science**, v.81, p.131-137, 2001.

DESBIEZ, A.L.J.; KEUROGHLIAN, A. Ageing feral pigs (*Sus scrofa*) through tooth eruption and wear. **Suiform Soundings**. v.9, p.48-55, 2009.

DETWILLER, R.P. Land use changes and the global carbon cycle: the role of tropical soils. **Biogeochemistry**, v.2, p.67-93, 1986.

DONISA, C.; MOCANU, R.; STEINNES, E. Distribution of some major and minor elements between fulvic and humic acid fractions in natural soils. **Geoderma**, v.11, p.75-84, 2003.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Embrapa/CNPS, 1997. 212p. (Embrapa/CNPS. Documentos, 1).

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

FERNANDES, F.A.; CERRI, C.C.; FERNANDES, A.H.B.M. Alterações na matéria orgânica de um podzol hidromórfico pelo uso com pastagens cultivadas no Pantanal Mato-Grossense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34; p.1943-1951, 1999.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, p.1039-1042, 2011.

FRAZÃO, L.A.; FRAZÃO, L.A.; SANTANA, I.K.S.; CAMPOS, D.V.B.; FEIGL, B.J.; CERRI, C.C. Estoques de carbono e nitrogênio e fração leve da matéria orgânica em Neossolo Quartzarênico sob uso agrícola. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, p.1198-1204, 2010.

FREITAS, D.A.F.; SILVA, M.L.N.; CARDOSO, E.L.; CURTI, N. Índices de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso e manejo florestal e cerrado nativo adjacente. **Revista Ciência Agronômica**, v.43, p.417-428, 2012.

FUJISAKA, S.; CASTILLA, C.; ESCOBAR, G.; RODRIGUES, V.; VENEKLAAS, E.J.; THOMAS, R.; FISHER, M. The effects of forest conversion on annual crops and pastures: estimates of carbon emissions and plant species loss in a Brazilian Amazon colony. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.69, p.17-26, 1998.

GARNETT, M.H.; INESON, P.; STEVENSON, A.C; HOWARD, D.C. Terrestrial organic carbon in a British moorland. **Global Change Biology**, v.7, p.375–388, 2001.

GIFFORD, R.M.; RODERICK, M.L. Soil carbon stocks and bulk density: spatial or cumulative mass coordinates as a basis of expression?. **Global Change Biology**, v.9; p.1507–1514, 2003.

GUIMARÃES, D.V.; GONZAGA, M.I.S.; SILVA, T.O.; SILVA, T.L.; DIAS, N.S.; MATIAS, M.I.A.S. Soil organic matter pools and carbon fractions in soil under different land uses. **Soil and Tillage Research**, v.126, p.177-182, 2013.

HARRIS, M.B.; TOMAS, W.; MOURAO, G.; DA SILVA, C.J.; GUIMARAES, E.; SONODA, F.; FACHIM, E. Safeguarding the Pantanal Wetlands: Threats and Conservation Initiatives. **Conservation Biology**, v.19, p.714-720, 2005.

HAYES, M.H.; McCARTHY, P.; MALCOLM, R.L.; SWIFT, R.S. Structures of humic substances: The emergence of forms. In: HAYES, M.H.; McCARTHY, P.; MALCOLM, R.L.; SWIFT, R.S. (Ed.). **Humic substance II**. New York: John Wiley & Sons, 1989. p.3-31.

HAYNES, R.J. Size and activity of the soil microbial biomass under grass and arable management. **Biology and Fertility of Soils**, v.30, p.210–216, 1999.

HOUGHTON, R.A.; HOBBLE, J.E.; MELILLO, J.M.; MOORE, B.; PETERSON, B.J.; SHAVER, G.R.; WOODWELL, G.M. Changes in the carbon content of terrestrial biota and soils between 1860 and 1980: a net release of CO<sub>2</sub> to the atmosphere. **Ecological Monographs**, v.53, p.235-262, 1983.

JUNK, W.J.; SILVA, C.J. O conceito do pulso de inundação e suas implicações para o Pantanal de Mato Grosso. In: SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SÓCIO-ECONÔMICOS, 2., 1996, Corumbá. **Anais**. Brasília: SPI, 1999. p.17-28.

KASCHUK, G.; ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. Quantifying effects of different agricultural land uses on soil microbial biomass and activity in Brazilian biomes: inferences to improve soil quality. **Plant and Soil**, v.338, p.467-481, 2011.

LA SCALA, N.; FIGUEIREDO E.B.; PANOSSO, A.R. A review on soil carbon accumulation due to the management change of major Brazilian agricultural activities. **Brazilian Journal of Biology**, v.72, p.775-785, 2012.

LAL, R. Soil carbon dynamics in cropland and rangeland. **Environmental pollution**, v.116, p.353-362, 2002.

LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L.H.S.; SILVA, E.M.R. Frações orgânicas e índice de manejo de carbono do solo em diferentes sistemas de produção orgânica. **Idesia**, v.29, p.11-19, 2011.

MAHANEY, W.M.; SMEMO, K.A.; GROSS, K.L. Impacts of C4 grass introductions on soil carbon and nitrogen cycling in C3-dominated successional systems. **Ecosystem Ecology**, v.157, p.295-305, 2008.

MAIA, S.M.F.; OGLE, S.; CERRI, C.; CERRI, C. Effect of grassland management on soil carbon sequestration in Rondônia and Mato-Grosso states, Brazil. **Geoderma**, v.149, p.84-91, 2009.

MAQUERE, V.; LACLAU, J.P.; BERNOUX, M.; SAINT-ANDRE, L.; GONÇALVES, J.L.M.; CERRI, C.C.; PICCOLO, M.C.; RANGER, J. Influence of land use (savanna, pasture, Eucalyptus, plantations) on soil carbon and nitrogen stocks in Brazil. **European Journal of Soil Science**, v.59, p.863-877, 2008.

MELO, L.; SILVA, C.A.; DIAS, B.O. Characterization of the organic matrix of residues from different origins. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.101-110, 2008.

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

MITRA, S.; WASSMANN, R.; VLEK, P.L.G. An appraisal of global wetland area and its organic carbon stock. **Current Science**, v.88, p.25-35, 2005.

MITSCH, W.J.; GOSSELINK, J.G. **Wetlands**. 4th ed. New York: John Wiley & Sons, 2007. 582p.

MORAES, G. M.; XAVIER, F.A.S.; MENDONÇA, E.S.; ARAÚJO FILHO, J.A.; OLIVEIRA, T.S. Chemical and structural characterization of soil humic substances under agroforestry and conventional systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.1597-1608, 2011.

MORAES, J.F.L.; NEILL, C.; VOLKOFF, B.; CERRI, C.C.; MELILLO, J.; LIMA, V.C.; STEUDLER, P. Soil carbon and nitrogen stocks following forest conversion to pasture in the Western Brazilian Amazon Basin. **Acta Scientiarum**, v.24, p.1369-1376, 2003.

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

NEILL, C.; MELILLO, J.M.; STEUDLER, P.A.; CERRI, C.C.; MORAES, J.F.L.; PICCOLO, M.C.; BRITO, M. Soil carbon and nitrogen stocks following forest clearing for pasture in the southwestern Brazilian Amazon. **Ecological Applications**, v.7, p.1216-1225, 1997.

OLIVEIRA, T.S.; COSTA, L.M.; FIGUEIREDO, M.S.; REGAZZI, A.J. Efeitos dos ciclos de umedecimento e secagem sobre a estabilidade de agregados em água de quatro latossolos Brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, p.509-515, 1996.

PINHEIRO, A.C.M; NUNES, C.A.; VIETORIS, V. SensoMaker: a tool for sensorial characterization of food products. **Ciência e Agrotecnologia**, v.37, p.199-201, 2013.

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

RODELA, L.G. **Unidades de Vegetação e Pastagens Nativas do Pantanal da Nhecolândia, Mato Grosso do Sul**.2006. 222p. Tese (doutorado) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

ROSCOE R.; BUURMAN, P.; VELTHORST, E.J.; VASCONCELLOS, C.A. Soil organic matter dynamics in density and particle-size fractions as revealed by the  $\delta^{13}C/\delta^{12}C$  isotopic ratio in a Cerrado's Oxisol. **Geoderma**, v.104, p.185-202, 2001.

ROSCOE, R.; BODDEY, R.M.; SALTON, J.C. Sistemas de manejo e matéria orgânica do solo. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F.M.; SALTON, J.C. (Ed.). **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: Modelagem matemática e métodos auxiliares**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. p.17-41.

SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. **Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Metrópole, 2008. 654p.

SANTOS, S.A.; CISPIM, S.M.A.; COMASTRI FILHO, J.A.; CARDOSO, E.L. Princípios de agroecologia no manejo das pastagens nativas do Pantanal. **Documentos** (Embrapa Pantanal. Impresso), v.63, p.1-35, 2004.

SISTI, C.P.J.; SANTOS, H.P. dos; 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 and Tillage Research**, v.76, p.39-58, 2004.

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

VICTORIA, R.L. ; FERNANDES, F.; MARTINELLI, L.A.; PICCOLO, C.M.; CAMARGO, P.B.; TRUMBORE, S. Past vegetation changes in the Brazilian Pantanal arboreal-grassy savanna ecotone by using carbon isotopes in the soil organic matter. **Global Change Biology**, v.1, p.165-171, 1995.

WEBER, O.L.S.; COUTO, E.G. Dinâmica da matéria orgânica no complexo Pantanal. In: SANTOS, G.A; SILVA, L.S.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo**. Porto Alegre: Metrópole, 2008, p.463-477.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E.S.; ALVARENGA, R.C. Organic-Matter Pools of Soil under Pines and Annual Cultures. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.41, p.1707-1722, 2010.

WEST, T.O.; POST, W.M. Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: a global data analysis. **Soil Science Society of America Journal**, v.66, p.1930-1946, 2002.

XAVIER, F.A.S.; MAIA, S.M.; RIBEIRO, K.A.; MENDONÇA, E.S.; OLIVEIRA, T.S. Effect of cover plants on soil C and N dynamics in different soil management systems in dwarf cashew culture. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.165, p.173-183, 2013.

ZINN, Y.L.; RESCK, D.V.S.; SILVA, J.E. Soil organic carbon as affected by afforestation with Eucalyptus and Pinus in the Cerrado region of Brazil. **Forest Ecology and Management**, v.166, p.285-294, 2002.

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

**ARTIGO 2 Atributos físicos, disponibilidade de água e índice de qualidade do solo em pastagens nativas no bioma Pantanal**

**Artigo nas normas da Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**

**RESUMO**

A pecuária é a principal atividade econômica do bioma Pantanal, sendo as pastagens nativas a base da alimentação de animais silvestres e bovinos. No entanto, o sistema de pastejo contínuo pode alterar a dinâmica da relação solo/água desta região. Assim, o presente estudo teve por objetivo analisar os atributos físicos, modelar a curva de retenção de água e determinar o índice de qualidade do solo (IQS) para pastagens nativas dominadas por *Axonopus purpusii*, *Hymenachne amplexicaulis* e *Mesosetum chaseae*, submetidas ao sistema de pastejo contínuo e sem pastejo por quatro anos, no Pantanal Sul-Mato-grossense. A densidade do solo, permeabilidade do solo a água, porosidade total, curvas de retenção de água e capacidade de água disponível foram determinados no laboratório. O IQS considerou os atributos químicos e físicos ideais para o crescimento radicular, armazenar e suprir água e nutrientes, e promover a conservação do solo. A pastagem com predominância de *H. amplexicaulis* apresentou maior porosidade total, macroporosidade, microporosidade, amplitude de umidade na curva de retenção de água e maior capacidade de água disponível. O processo de vedação não alterou a qualidade do solo, mas indica uma tendência de melhoria em todas as áreas quando não pastejadas. A dinâmica da retenção de água em Neossolos Quartzarênicos do Pantanal ocorre associada principalmente à fração orgânica do solo, que é modificada conforme a posição de ocorrência da pastagem na paisagem.

Palavras-chave: Curva de retenção de água. Qualidade estrutural. Porosidade.

**Physical properties, availability of water, and soil quality index in  
native pastures in Pantanal wetland biome, Brazil**

**ABSTRACT**

Livestock farming is the main economic activity in the Pantanal biome and native pastures are the staple diet of wild animals and cattle. However, the continuous grazing can alter the soil/water dynamics in this region. Thus, the this study aimed to analyze the physical properties, to model the water retention curve and to determine the soil quality index (SQI) for native pastures dominated by *Axonopus purpusii*, *Hymenachne amplexicaulis* and *Mesosetum chaseae*, under continuous grazing and ungrazed for four years in the South Pantanal of Mato Grosso, Brazil. Bulk density, soil water permeability, porosity, water retention curves and water capacity were determined in the laboratory. The SQI considered the ideal chemical and physical properties for root growth, storage and supply of water and nutrients and soil conservation. The pasture with a predominance of *H. amplexicaulis* had higher total porosity, macroporosity, microporosity, moisture amplitude on the water retention curve and higher water holding capacity. The pasture resting process did not alter the quality of the soil, but indicates a tendency for improvement in all areas when not grazed. The dynamics of water retention in the Quartzarenic Neosols of the Pantanal is mainly associated with the organic fraction of the soil, which is modified according to the position of occurrence of the grassland in the landscape.

Keywords: Water retention curve. Structural quality. Porosity.

## INTRODUÇÃO

A preocupação com a conservação dos recursos naturais tem sido crescente nas últimas décadas, especialmente em relação a biomas frágeis como o Pantanal. Para esta região, um dos fatores que regem a biodiversidade é a sua característica hidrológica peculiar (Sá et al., 1998; Junk & Silva, 1999), com dois regimes sazonais distintos, constituídos por épocas secas (de abril a setembro) e inundações (outubro a março) que variam com a intensidade e duração das precipitações (Garcia & Castro, 1986; Rao et al., 1996).

No Pantanal, a sub-região da Nhecolândia destaca-se como uma das mais importantes áreas de criação extensiva de gado de corte, sendo caracterizada por unidades de vegetação de aspectos diversos, em forma de mosaico (Pott, 1988). Estas unidades de vegetação apresentam elevada diversidade de espécies forrageiras, que são fonte de alimento para herbívoros silvestres, bovinos e equinos da região (Santos et al., 2002). No entanto, o uso espacial e temporal dessas unidades de vegetação por bovinos é influenciado pelas condições ambientais, especialmente precipitação pluviométrica (Santos 2001). Neste ambiente, as gramíneas mais palatáveis aos animais encontram-se em cotas mais baixas do relevo, em áreas alagáveis, ocorrendo escassez do alimento em condições de cheia extrema e a rebrota dessas forrageiras só acontece depois de as águas baixarem nos meses de maio e julho (Santos, 2001). Espécies hidrófilas como o capim-de-capivara (*Hymenachne amplexicaulis*) e as de áreas mais elevadas no mesorrelevo como o capim-mimoso (*Axonopus purpusii*) e a grama-do-cerrado (*Mesosetum chaseae*) fazem parte da dieta dos animais (Santos, 2001).

A redução da produtividade das pastagens nativas do Pantanal está relacionada à estacionalidade das pastagens, manejo inadequado e alta taxa de lotação animal. Desta forma, áreas de pastagens podem apresentar redução da

qualidade dos atributos químicos (Lourente et al., 2011) e físicos (Pignataro Netto et al., 2009) do solo. A deterioração das condições físicas de solos sob pastagem é atribuída ao pisoteio do gado, que proporciona compactação, expressa pelo aumento da densidade, da microporosidade e da resistência do solo à penetração, e da redução do espaço poroso total, da macroporosidade e dos valores das propriedades hidráulicas, o que resulta em menor capacidade de infiltração da água no solo e aumento da susceptibilidade a erosão (Hamza & Anderson, 2005; Colet et al., 2009; Hiltbrunner et al., 2012; Koubová et al., 2012).

A disponibilidade de água no solo apresenta elevada importância na determinação da qualidade do mesmo, sendo que sua dinâmica e retenção nos poros são diretamente afetadas pelo manejo e práticas culturais (Luterbacher et al., 2004; Liu et al., 2013). Alterações na distribuição do tamanho dos poros, resultados de modificações na estrutura do solo e associadas à compactação e à perda da estabilidade dos agregados refletem na retenção, no movimento e na disponibilidade de água no solo (Ng & Pang, 2000; Fernández-Gálvez & Barahona, 2005; Machado et al., 2008; Yang & Lu, 2012). Dessa forma, o conteúdo de água retido no solo em determinada tensão é resultado da ação conjunta e complexa de vários fatores, sendo eles: a estrutura do solo, por determinar o arranjo das partículas, a textura, o tipo e quantidade de argila, o teor de matéria orgânica (Indrawan et al., 2006; Wang & Wang, 2007; Miller et al., 2008; Klein et al., 2010) e a compactação do solo (Vanapalli et al., 1999; Miller et al., 2002).

A curva de retenção de água no solo (CRA) expressa à relação entre o potencial matricial do solo e o respectivo teor em água e é considerada uma ferramenta fundamental em estudos de qualidade do solo visando um aprimoramento das práticas de utilização e um manejo sustentável da produção (Yang & Lu, 2012). A CRA permite correlações entre os coeficientes das

equações matemáticas, que a descrevem, com diferentes propriedades do solo, como o teor de argila, o teor de matéria orgânica, a área superficial específica, consistência e a densidade do solo (Marinho & Chandler, 1993; Van den Berg et al., 1997; Bachmann & Van der Ploeg, 2002; Czachor et al., 2010). Dentre as informações obtidas pelas CRA, destaca-se a capacidade de água disponível (CAD), importante para o crescimento radicular, para as reações químicas, movimento e absorção de nutrientes e conseqüente produção das culturas (Beutler et al., 2002).

Neste contexto, o presente estudo teve por objetivo avaliar os atributos físicos do solo, modelar a curva de retenção de água e estabelecer índices que expressam a qualidade do solo, em três pastagens nativas submetidas ao sistema de pastejo contínuo e sem pastejo, no Pantanal Sul-Mato-Grossense.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Localização, clima, solo e sistemas de manejo**

O estudo foi conduzido na Fazenda Nhumirim, área experimental da Embrapa Pantanal, localizada na latitude 18° 59'06" e 19° 00'06"S e longitude 56° 39'40" e 55°40'40" W, sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Mato-grossense. A altitude varia entre 80 a 170 m e a precipitação média na parte que engloba a área da planície varia de 800 a 1200 mm. O comportamento hidrológico do Pantanal é influenciado por eventos climáticos locais e regionais, com clima tropical subúmido Aw, segundo Köppen, e temperatura média anual de 26 °C (Júnior et al., 1997).

Amostras de solos foram coletadas em três pastagens nativas, situadas em diferentes gradientes topográficos, com predominância de *Hymenachne amplexicaulis* (Ha), caracterizadas como áreas de bordas e interior de baías e

habitualmente úmidas; área com predominância de *Axonopus purpusii* (Ap), em posição topográfica ligeiramente superior às anteriores e sujeita à inundação sazonal; e campo limpo com predominância de *Mesosetum chaseae* (Mc), localizada em posição topográfica superior às anteriores e habitualmente seca (livre de inundações, exceção a grandes cheias). As pastagens foram submetidas ao sistema de pastejo contínuo e comparadas com áreas sem pastejo por quatro anos (parcelas de 10 x 10 m cercadas com fios de arame entre os anos de 2006 e 2010), constituindo seis tratamentos. A amostragem do solo foi realizada a partir de transectos em cada ambiente de estudo e consistiu de coletas de amostras deformadas e indeformadas na profundidade de 0-10 cm, com três repetições. O solo das áreas de estudo foi classificado como Neossolo Quartzarênico (Embrapa, 2013) e enquadrado na classe textural areia. A caracterização química das áreas estudadas é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 Valores de pH, cálcio trocável ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnésio trocável ( $\text{Mg}^{2+}$ ), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica efetiva (t), potássio disponível (K), fósforo disponível (P), saturação por alumínio (m) e matéria orgânica do solo (MOS) para diferentes sistemas de uso de pastagens no Pantanal da Nhecolândia, MS.

Manejo da pastagem	pH	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	SB	t	K	P	m	MOS
	$\text{H}_2\text{O}$		cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			mg dm <sup>-3</sup>		%	g kg <sup>-1</sup>
<i>Hymenachne amplexicaulis</i>									
Pastejado	5,6	4,3	1,2	6,3	6,4	328,7	2,6	1,5	6,5
Vedado	5,6	4,0	0,8	5,7	5,8	355,7	1,8	1,6	5,4
<i>Axonopus purpusii</i>									
Pastejado	5,2	0,3	0,1	0,5	0,9	22,0	2,9	46,7	1,2
Vedado	5,2	0,5	0,2	0,5	1,0	25,7	2,6	45,2	1,3
<i>Mesosetum chaseae</i>									
Pastejado	5,7	0,1	0,1	0,3	0,6	23,7	3,9	53,6	0,6
Vedado	5,6	0,1	0,1	0,3	0,5	24,3	3,2	46,6	0,7

### **Análises de laboratório**

Para análise dos atributos físicos do solo, a densidade do solo ( $D_s$ ) foi determinada em amostras com estrutura indeformada, coletadas com o amostrador de Uhland (Blake & Hartge, 1986). A condutividade hidráulica do solo saturado ( $K_s$ ) foi determinada por meio de permeâmetro de carga constante, seguindo metodologia descrita por Lima et al. (1990), com o uso de amostras indeformadas previamente saturadas por capilaridade. O volume total de poros (VTP) foi determinado segundo expressão preconizada por Danielson & Sutherland (1986) e a distribuição de poros por tamanho foi determinada utilizando-se unidade de sucção, com 60 cm de altura de coluna de água, para separação de macro e microporos. O volume de água retido nas amostras após o equilíbrio foi relacionado à microporosidade, sendo a macroporosidade obtida por diferença (Grohmann, 1960; Oliveira, 1968).

Para a obtenção das curvas de retenção de água (CRA), as amostras foram submetidas às tensões de 1, 2, 4, 6, 10 kPa na unidade de sucção e 33, 100, 500 e 1500 kPa no extrator de Richards (Embrapa, 1997). Por meio dos dados obtidos foram ajustadas a CRA, segundo o modelo de van Genuchten (1980), com restrição de Mualem,  $m = [1-(1/n)]$  empregando para isto o software SWRC desenvolvido por Dourado Neto et al. (2000). A partir das CRA foram calculadas a amplitude total de água e a capacidade de água disponível (CAD), que corresponde à diferença entre o conteúdo de água retido na capacidade de campo de 6 kPa (Rivers & Shipp, 1978; Costa et al.; 2009) e no ponto de murcha permanente de 1500 kPa, de acordo com Oliveira et al. (2003).

Os resultados foram submetidos à análise de variância e quando significativos foi realizado o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade pelo programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2011).

### Determinação do Índice de Qualidade do Solo

A avaliação do índice de qualidade do solo (IQS) foi realizada a partir do modelo proposto por Karlen & Stott (1994), na qual o índice é gerado a partir de um modelo aditivo que considera as funções principais do solo e os indicadores de qualidade a elas associados, sendo atribuídos pesos tanto para as funções como para os indicadores, e seu cálculo processou-se em duas etapas, conforme fórmulas 1 e 2.

$$Q_{FPn} = I_1(w_1) + I_2(w_2) + \dots + I_n(w_n) \quad (1)$$

$$IQS_2 = Q_{FP1}(W_{FP1}) + Q_{FP2}(W_{FP2}) + Q_{FP3}(W_{FP3}) + \dots + Q_{FPn}(W_{FPn}) \quad (2)$$

Em que:

QFPn - refere-se à qualidade da função principal do solo;

I - refere-se aos escores padronizados dos indicadores de qualidade relacionados a cada função principal;

w - refere-se aos ponderadores relacionados a cada indicador ou a cada função principal; e

IQS - é o índice integrado da qualidade do solo.

Neste estudo foram definidas quatro funções do solo relacionadas com a sustentabilidade do sistema: receber, armazenar e suprir água; promover o crescimento das raízes; armazenar, suprir e ciclar nutrientes; e promover a conservação do solo. Para cada função do solo foi assumida a igualdade de importância, com atribuição de peso 0,25 para cada uma delas (Tabela 2). As funções principais foram escolhidas de acordo com o objetivo da avaliação e

estas foram acompanhadas de indicadores físicos e químicos relacionados diretamente com sua medida. Os pesos numéricos foram atribuídos às funções de acordo com o grau de importância da mesma para o funcionamento do solo, no desempenho da função para a qual o índice está sendo calculado. Para a determinação dos indicadores, podem ser usados critérios socioeconômicos, necessidades de cultivo, necessidades dos agricultores e preocupações ambientais (Souza, 2005).

O somatório dos pesos de todas as funções principais deve resultar no valor 1,0 (um). Esse é o valor do IQS para um solo ideal em relação ao objetivo considerado. Quando o solo apresenta limitações e não tem qualidade o valor é zero, sendo este o menor valor possível. Após atribuir os pesos relativos para as funções, foram identificados e priorizados os indicadores que influenciam cada uma das funções, em diversos graus. Indicadores de nível 1,0 (um) são mais diretamente relacionados com a função e quanto maior o nível do indicador maior sua associação com a função. Assim como para as funções principais, pesos numéricos devem ser atribuídos para os indicadores. Da mesma forma, o somatório geral dos pesos dos indicadores em cada nível deve ser igual a 1,0 (um).

Tabela 2 Funções principais do solo e indicadores de qualidade selecionados para determinação do índice de qualidade do solo (IQS) para o Pantanal da Nhecolândia, MS.

Funções principais	Ponderador das funções	Indicador de qualidade <sup>1</sup>	Ponderador dos indicadores	Limite críticos	
				Inferior	Superior
Receber, armazenar e suprir água	0,25	Ks	0,15	127	
		Macro	0,15	0,10	0,30
		Ds	0,20		1,20
		MO	0,40	4,00	
		Pt	0,20	0,36	0,55
Promover o crescimento de raízes	0,25	MO	0,15	4,00	
		Ds	0,15		1,20
		Pt	0,20	0,36	0,55
		SB	0,40	1,20	
		M%	0,20		50
Armazenar, suprir e ciclar nutrientes	0,25	MO	0,40	4,00	
		SB	0,30	1,20	
		m%	0,15		50
		pH	0,15	5,00	6,50
Promover a conservação do solo	0,25	T	0,10	4,00	
		Ks	0,25	127	
		MO	0,20	4,00	
		Pt	0,15	0,36	0,55
		Macro	0,15	0,10	0,30
		Ds	0,15		1,20

<sup>1</sup>Ks – permeabilidade do solo saturado; Macro – macroporosidade; Ds – densidade do solo; MOS – matéria orgânica do solo; Pt – porosidade total; SB – soma de bases trocáveis; m – saturação por alumínio; T – Capacidade de troca catiônica a pH 7.

Os indicadores de qualidade por possuírem diferentes unidades de medida foram padronizados para escores que variam de 0 a 1, sendo realizada por meio da função de padronização de escores desenvolvida por Wymore (1993) e apresentada por meio da fórmula 3.

$$v = \frac{1}{1 + ((B - L)/(x - L))^{2S(B+x-2L)}} \quad (3)$$

Em que:

v - é a pontuação padronizada;

B - o valor crítico ou limite-base do indicador, onde a pontuação equivale a 0,5;

L - o limite inferior ou o pior valor do indicador, podendo ser zero;

S - a inclinação da tangente da curva no limite-base ou no valor crítico do indicador; e

x - o valor do indicador medido no campo.

Para aplicar a equação de Wymore (1993), inicialmente foi necessário calcular a inclinação (S) da tangente da curva de pontuação no valor crítico do indicador, conforme fórmula 4.

$$S = \frac{\log\left(\frac{1}{v}\right) - 1}{\log\left(\frac{B - L}{x - L}\right) * 2(B + x - 2 * L)} \quad (4)$$

A curva de padronização do tipo “mais é melhor” possui declividade (S) positiva e é utilizada para padronização de indicadores em que os maiores valores melhoram a qualidade do solo, a exemplo da soma de bases, CTC efetiva, matéria orgânica, estabilidade de agregados, permeabilidade do solo saturado, carbono orgânico total (Figura 1a); “valor ótimo” possui inclinação positiva até o valor ótimo e é utilizada para indicadores que apresentam um efeito positivo na qualidade do solo até determinado valor, a partir do qual sua influência é detrimental ou negativa, a exemplo da porosidade total, macroporosidade, pH, (Figura 1b). As curvas de padronização do tipo “menos é

melhor” possui declividade negativa e padronizam indicadores como a densidade do solo, resistência à penetração, saturação por alumínio, em que a qualidade está associada a menores valores dos mesmos (Figura 1c). A inclinação (S) da curva de padronização de escore no valor crítico é determinada utilizando-se planilhas eletrônicas em programas de computador.

De acordo com Melo Filho et al. (2007), na padronização dos atributos são utilizados dois valores-limite dos indicadores de qualidade, o superior e o inferior, e um valor crítico. Os valores-limite superiores são quando a função de pontuação equivale a 1, quando a propriedade do solo medida está em nível ótimo. Os valores-limite inferiores são aqueles em que a função de pontuação equivale a 0 (zero), quando a propriedade do solo está em nível inaceitável. Os valores críticos são aqueles nos quais a função de pontuação é igual a 0,5. Tanto as curvas de padronização quanto os valores-limite superiores, inferiores e críticos devem ser criteriosamente estabelecidos. No modelo proposto por Karlen & Stott (1994) o índice de qualidade do solo foi estabelecido tomando-se como referência uma condição ideal para o pleno desempenho das funções do solo.

Os índices de qualidade do solo gerados foram avaliados por meio da análise de agrupamento de dados, definindo-se o número de grupos pelo critério de Ward. As médias de cada grupo foram comparadas entre si e diferenciadas dos demais pelo teste t ( $p = 0,05$ ), sendo as análises conduzidas no software estatístico R, utilizando-se o pacote cluster (Maechler et al., 2005).

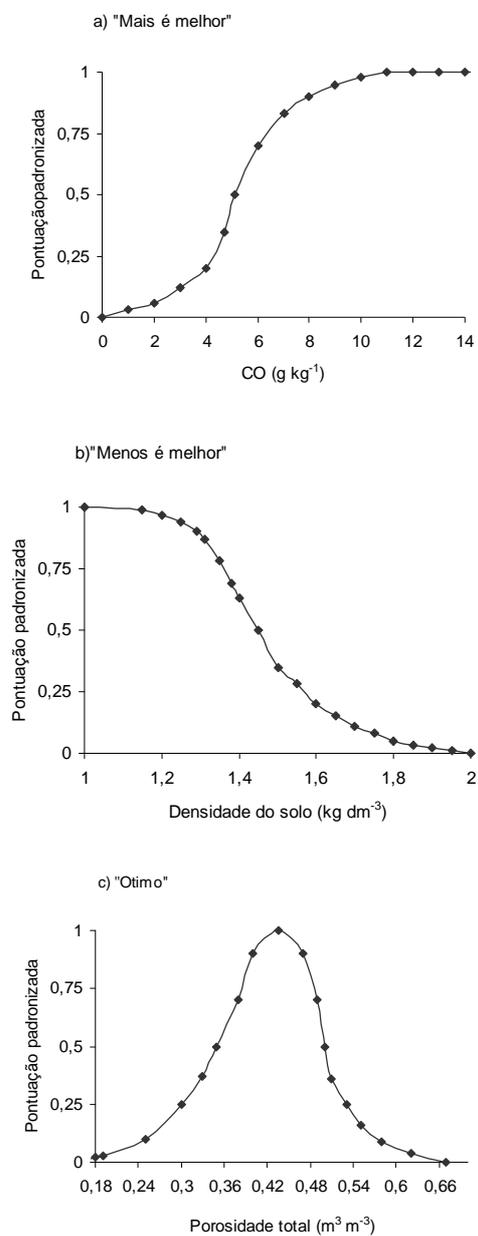


Figura 1 Funções de pontuação padronizadas conforme a natureza do indicador de qualidade do solo (Karlen & Stott, 1994).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A pastagem nativa com predominância de *H. amplexicaulis* apresentou menor densidade do solo em relação às demais áreas (Tabela 3), tanto na parte vedada quanto pastejada, devido aos elevados teores de matéria orgânica no solo (Tabela 1). As pastagens com predominância de *A. purpusii* e *M. chaseae* apresentaram valores de densidade do solo superiores a área de *H. amplexicaulis*. No entanto, todos os valores de densidade do solo determinados para as áreas de pastagens encontram-se abaixo de 1,65 Mg. m<sup>-3</sup>, valor considerado restritivo ao desenvolvimento do sistema radicular em solos arenosos, segundo Reichert et al. (2003).

O pastejo dos animais aumentou a densidade do solo apenas na pastagem com predominância de *A. purpusii* (Tabela 3), possivelmente devido ao maior pastejo que este ambiente está submetido, pois se encontra em uma cota intermediária da paisagem e que possui fator facilidade de exploração pelo gado durante o ano. O pisoteio animal reflete na compactação do solo e no aumento da densidade do solo (Hiltbrunner et al., 2012; Wendling et al., 2012), o que proporciona maior resistência física à expansão radicular (Hartmann et al., 2012; Grzesiak et al., 2013).

A presença de pastejo não modificou a permeabilidade do solo a água para as pastagens estudadas. As áreas de ocorrência do *M. chaseae*, sob pastejo contínuo e vedada, apresentaram os maiores valores de permeabilidade do solo à água, com valores de 672 e 444 mm h<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabela 3). Os menores valores de permeabilidade encontrados nas áreas de predominância de *A. purpusii* e *H. amplexicaulis* ocorrem devido à localização mais baixa no terreno, próximo ao lençol freático, onde o solo, mesmo durante o período de estiagem, permanece habitualmente úmido (Cardoso, 2008).

Tabela 3 Valores médios de densidade e permeabilidade do solo em diferentes pastagens nativas no Pantanal da Nhecolândia, MS.

Tratamentos	Densidade do solo		Permeabilidade	
	----- kg dm <sup>-3</sup> -----		----- mm h <sup>-1</sup> -----	
	Pastejado	Vedado	Pastejado	Vedado
Ha	0,76Ba	0,83Ca	46,6Ba	175,0Ba
Ap	1,57Aa	1,47Bb	184,0Ba	277,3Ba
Mc	1,62Aa	1,60Aa	444,0Aa	672,0Aa

Ha - *Hymenachne amplexicaulis*; Ap - *Axonopus purpusii*; Mc - *Mesosetum chaseae*. Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas, dentro do mesmo atributo, na coluna ou por letras minúsculas, dentro do mesmo tratamento, na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

O processo de compactação do solo proporciona concomitante, aumento da densidade do solo e redução no volume do espaço poroso. No entanto, nem todos os poros reduzem proporcionalmente, sendo que vários autores têm relatado uma redução, devido à compactação dos poros, principalmente dos macroporos (Bullock et al., 1985; Richard et al., 2001; Matthews et al., 2010; Berisso et al., 2012). Estas características podem ser observadas nos resultados obtidos de VTP e macroporos, que tiveram seus valores inversamente proporcionais aos de densidade do solo (Tabela 4). Resultados semelhantes e que refletem a compactação do solo foram obtidos por Flores et al. (2007). Cardoso et al. (2010) observaram que as áreas do Pantanal mais utilizadas para o pastejo apresentam leve tendência à degradação, mas ainda assim não foram constatados valores considerados restritivos ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas.

O volume total de poros do solo, macro e microporosidade foram maiores nas áreas de *H. amplexicaulis*; que nas demais pastagens (Tabela 4). Este resultado deve-se ao maior teor de carbono total desta pastagem e a menor frequência de pastejo, visto que estas áreas estão em posição rebaixada na

paisagem e inundadas durante algum período do ano. No entanto, Cardoso et al. (2011) encontraram maiores valores de porosidade total e macroporosidade nas unidades livres de inundações.

Valores de macroporos superiores a  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  são necessários para permitir as trocas gasosas e o crescimento das raízes da maioria das culturas (Taylor & Ashcroft, 1972). Nota-se nos resultados, que a macroporosidade, em todas as pastagens, encontra-se acima deste valor ideal, sugerindo condições satisfatórias ao desenvolvimento das plantas. Pesquisas mostram que a compactação do solo reduz o volume de macroporos enquanto os microporos permanecem praticamente inalterados (Schaffer et al., 2007; Dorner et al., 2010). No entanto, para a área de *H. amplexicaulis*, o pastejo aumentou a quantidade de macroporos e não alterou os microporos, não ocorrendo resultados semelhantes nas demais áreas.

Tabela 4 Valores médios de volume total de poros (VTP), macro e microporos do solo em diferentes pastagens nativas no Pantanal da Nhecolândia, MS.

Tratamentos	VTP		Macro		Micro	
	----- $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ -----					
	Pastejado	Vedado	Pastejado	Vedado	Pastejado	Vedado
Ha	0,61Aa	0,58Aa	0,54Aa	0,50Ab	0,06Aa	0,07Ba
Ap	0,38Ba	0,43Ba	0,27Ba	0,29Ba	0,11Aa	0,14Aa
Mc	0,38Ba	0,39Ba	0,29Ba	0,26Ba	0,09Aa	0,13Aa

Ha - *Hymenachne amplexicaulis*; Ap - *Axonopus purpusii*; Mc - *Mesosetum chaseae*. Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas, dentro do mesmo atributo, na coluna ou por letras minúsculas, dentro do mesmo tratamento, na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

A pastagem nativa com predominância de *H. amplexicaulis* apresentou maior amplitude de umidade na CRA (Tabela 5), sendo  $0,15 - 0,98 \text{ g.g}^{-1}$  para o

sistema sem pastejo e 0,16 - 0,96 g.g<sup>-1</sup> para o pastejo contínuo (Figura 2). Isso pode ser atribuído à elevada porosidade (Tabela 4) e a condição de inundação periódica a que esta pastagem está submetida, onde nos períodos de cheia a anaerobiose inibe a decomposição e consequente disponibilização da matéria orgânica (Moyano et al., 2012), conservando-a no ambiente. Resultados semelhantes foram obtidos por Zhu & Cheng (2013), que estudaram o impacto dos ciclos de umedecimento e secagem na decomposição da matéria orgânica do solo.

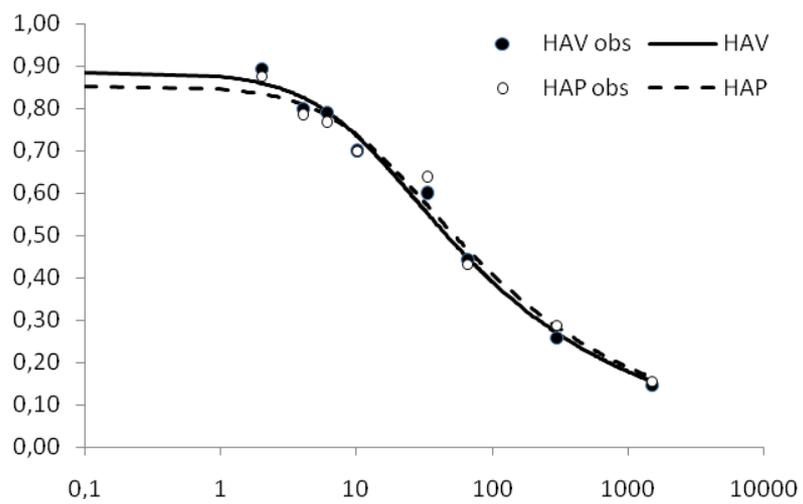
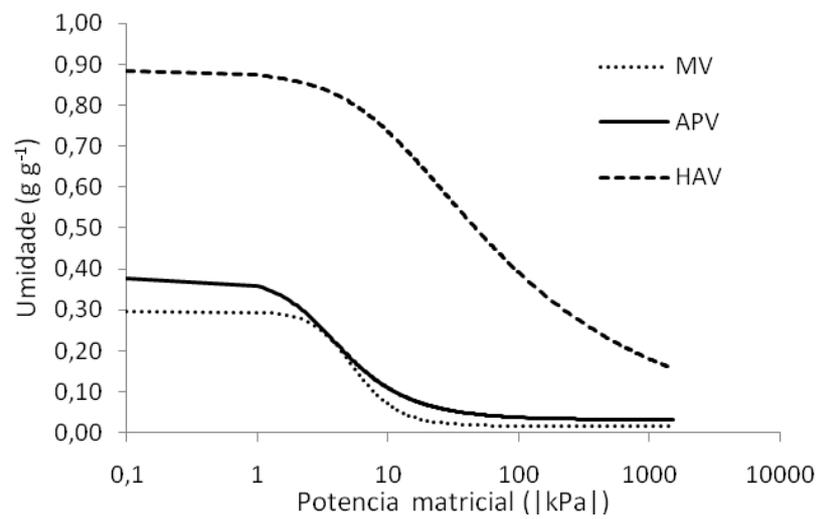
As pastagens nativas que apresentaram menores valores de amplitude de umidade na CRA foram AP e M, independente do manejo (Tabela 5) As baixas amplitudes encontradas nestas pastagens podem ser relacionadas aos baixos teores de MO, quando comparados com a pastagem de *H. amplexicaulis*, visto que o acúmulo de matéria orgânica geralmente está associado a uma melhora das condições físicas do solo, especialmente pelos benefícios que ela pode trazer à sua estrutura (Lal, 2009; Powlson et al., 2012; Nascente et al., 2013; Plaza et al., 2013). Para Emerson & McGarry (2003) e Silva et al. (2011), a presença de matéria orgânica provoca um aumento da porosidade e das cargas negativas do solo, resultando em um aumento da capacidade de retenção de água, principalmente nos solos arenosos, que são solos bastante frágeis (Carneiro et al., 2009).

A maior capacidade de água disponível foi determinada na pastagem de HA, com 0,55 g.g<sup>-1</sup> para o sistema sem pastejo e 0,53g.g<sup>-1</sup> para pastejo contínuo (Tabela 5), o que pode ser atribuído à sua posição mais baixa no relevo e maior suscetibilidade à inundação, associado aos maiores teores de MO. Os baixos valores de CAD nas pastagens dominadas por *A. purpusii* e *M. chaseae* evidenciam uma elevada capacidade adaptativa dessas gramíneas à condição de baixa disponibilidade de água.

Tabela 5 Valores médios de capacidade de água disponível (CAD) e amplitude de umidade para Neossolo Quartzarênico em pastagens nativas, submetidas ao pastejo e vedação, no Pantanal da Nhecolândia, MS.

Tratamentos	CAD (g/g)	Amplitude (g/g)
Ha-V	0.55 b	0.83 b
Ha-P	0.53 b	0.81 b
Ap-V	0.09 a	0.31 a
Ap-P	0.14 a	0.33 a
Mc-V	0.13 a	0.30 a
Mc-P	0.13 a	0.30 a

Ap-V - *Axonopus purpusii* vedado; Ap-P - *Axonopus purpusii* pastejado; Ha-V - *Hymenachne amplexicaulis* vedado; Ha-P - *Hymenachne amplexicaulis* pastejado; Mc-V - *Mesosetum chaseae* vedado; Mc-P - *Mesosetum chaseae* pastejado. Médias seguidas pelas mesmas letras, nas colunas, não diferem entre si pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade.



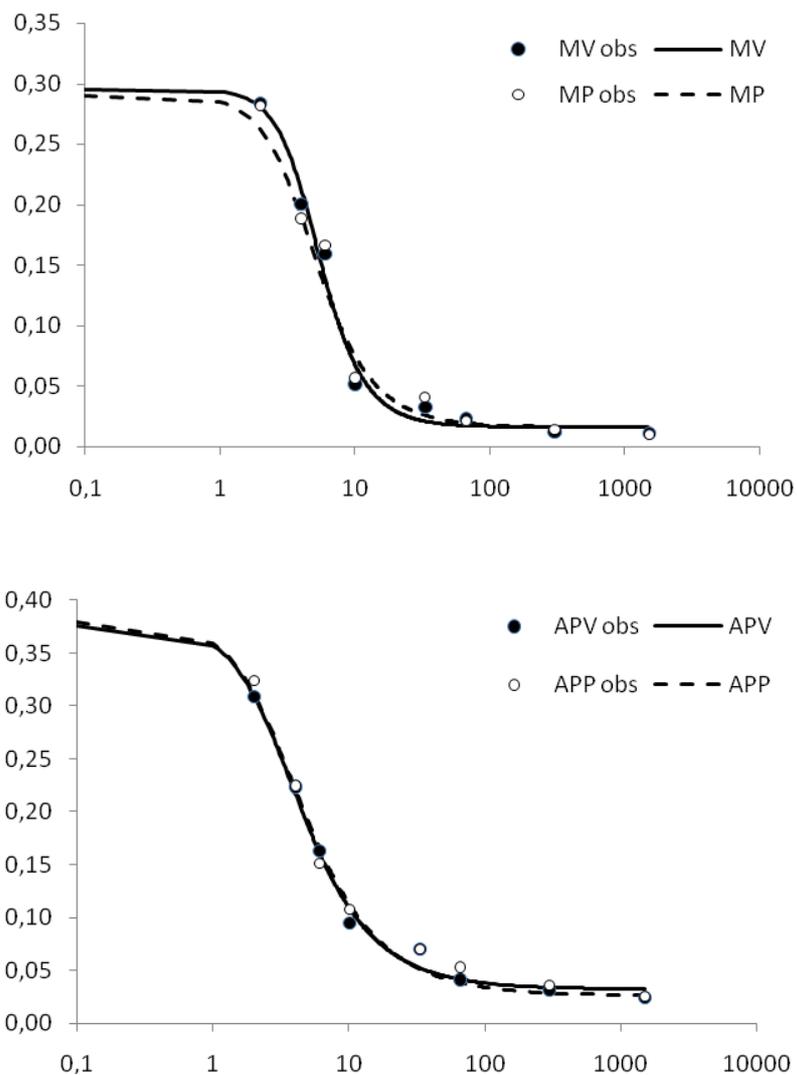


Figura 2 Curvas de retenção de água de um Neossolo Quartzarênico, na camada de 0-10 cm, em ambientes vedados e pastejados na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul-Mato-Grossense. APV - *Axonopus purpusii* vedado; APP - *Axonopus purpusii* pastejado; HAV - *Hymenachne amplexicaulis* vedado; HAP - *Hymenachne amplexicaulis* pastejado; MV - *Mesosetum chaseae* vedado; MP - *Mesosetum chaseae* pastejado.

Destaca-se que não ocorreram diferenças entre os sistemas sem pastejo por quatro anos e sob pastejo contínuo, dentro da mesma pastagem. Sendo que, provavelmente, o tempo de ausência de pastejo não foi suficiente para promover melhorias no comportamento da CRA pela regeneração natural do sistema ou o pastejo contínuo não foi severo o suficiente para comprometer o comportamento da CRA, evidenciando um estágio de conservação satisfatório, ou seja, um sistema de produção de baixo impacto. Por outro lado, pode-se inferir que o sistema sob pastejo contínuo não promoveu alterações no comportamento da curva durante o período, sugerindo, segundo Cardoso et al. (2011), considerável resiliência dessas pastagens nativas, corroborado pelo uso sob pastejo contínuo há mais de duzentos anos, sem jamais incluir qualquer tipo de adubação e, em geral, sem apresentar severa degradação aparente.

Os parâmetros utilizados para a construção dos modelos das curvas encontram-se na tabela 6. A equação de van Genuchten (1980) explicou mais de 95% da retenção de água do solo ( $R^2 > 0,95$ ) para todas as amostras, demonstrando a alta precisão dos valores estimados. Os coeficientes  $m$ ,  $n$  e  $\alpha$  foram estatisticamente significativos, pois estes não apresentaram valores nulos em seus limites de confiança, conforme recomendam Glantz & Slinker (1990).

Os valores do IQS não indicaram alterações da qualidade do solo entre os sistemas vedados e pastejados (Tabela 2). O IQS foi dividido em funções principais do solo, a saber: receber, armazenar e suprir água (RASA); promover o crescimento de raízes (PCR); armazenar, suprir e ciclar nutrientes (ASCN); e promover a conservação do solo (PCS), sendo que cada função contribuiu com 25% do IQS.

A avaliação final do IQS foi limitada às classes utilizadas por Melo Filho et al. (2009): IQS < 0,50 (ruim); IQS entre 0,50 a 0,70 (média); e IQS  $\geq$  0,71 (ótima). Desta forma, conforme a posição na paisagem, as pastagens podem ser separadas entre aquelas com ótima qualidade do solo, representada pela  $H$ .

*amplexicaulis* e aquelas com qualidade do solo ruim, *A. purpusii* e *M. chaseae*. Esta diferença entre as pastagens ocorre, pois na determinação do IQS, os limites críticos dos indicadores foram estabelecidos buscando o pleno desenvolvimento da função do solo; com isto, foram encontrados valores variados de qualidade do solo para os sistemas estudados.

Tabela 6 Parâmetros utilizados na construção dos modelos das curvas de retenção de água no solo e seus respectivos coeficientes de determinação.

Modelo	R <sup>2</sup>	m	n	$\alpha$
Ha-V	0.96	0.273	1.375	0.237
Ha-P	0.95	0.265	1.361	0.237
Ap-V	0.99	0.581	2.398	1.051
Ap-P	0.98	0.536	2.170	0.312
Mc-V	0.98	0.631	2.710	0.246
Mc-P	0.97	0.588	2.433	0.264

Ap-V - *Axonopus purpusii* vedado; Ap-P - *Axonopus purpusii* pastejado; Ha-V - *Hymenachne amplexicaulis* vedado; Ha-P - *Hymenachne amplexicaulis* pastejado; Mc-V - *Mesosetum chaseae* vedado; Mc-P - *Mesosetum chaseae* pastejado. R<sup>2</sup> - Coeficiente de determinação; m, n,  $\alpha$  - parâmetros de ajuste do modelo.

Dentre os atributos indicadores da qualidade do solo, a matéria orgânica faz parte de todas as funções do solo, devido sua grande importância e por ser um dos principais indicadores de qualidade do solo, sendo que sua participação corresponde a 35% do IQS. Assim, o teor de matéria orgânica do solo foi o principal responsável para a classificação das áreas de *H. amplexicaulis* pastejadas e vedadas na classe de ótima qualidade do solo. Estas pastagens apresentam elevados teores de matéria orgânica, pois se localizam em ambientes sujeitos à inundação anual. Desta forma, a maior umidade e a menor disponibilidade de oxigênio no solo, proporcionam reduzida decomposição dos

materiais orgânicos e maior acúmulo de carbono (Moreira & Siqueira, 2006; Peltoniemi et al., 2012).

Tabela 5 Funções principais dos solos e índice de qualidade do solo (IQS) para pastagens do Pantanal da Nhecolândia, MS.

Sistema de uso e manejo	Funções principais dos solos				IQS
	Receber, armazenar e suprir água	Promover o crescimento de raízes	Armazenar, suprir e ciclar nutrientes	Manter a conservação do solo	
<i>Hymenachne amplexicaulis</i>					
Pastejado	0,1473a	0,2074a	0,2372a	0,1139a	0,7058a
Vedado	0,1711a	0,2037a	0,2257a	0,1573a	0,7578a
<i>Axonopus purpusii</i>					
Pastejado	0,1035a	0,0651a	0,0746a	0,1171a	0,3603a
Vedado	0,1132a	0,0730a	0,0735a	0,1326a	0,3924a
<i>Mesosetum chaseae</i>					
Pastejado	0,1053a	0,0535a	0,0656a	0,1216a	0,3459a
Vedado	0,1114a	0,0617a	0,0730a	0,1268a	0,3729a

Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada pastagem, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $P < 0.05$ ).

Shukla et al. (2006) e Franzluebbbers (2002) consideram a matéria orgânica do solo o indicador ideal para avaliar qualidade do solo, fundamentados no fato que várias funções e processos biológicos, físicos e químicos que ocorrem no solo, estão relacionados diretamente com a presença de matéria orgânica. Entretanto, segundo Duval et al. (2013), a MOS, por si só, é um indicador pobre de qualidade do solo, principalmente para mostrar as mudanças de curto prazo. A única forma de aperfeiçoar a utilização desta ferramenta é por

meio de uma melhor compreensão do funcionamento do sistema produtivo. De acordo com Doran & Parkin (1994), um indicador da qualidade do solo deve atender aos seguintes critérios: elucidar processos do ecossistema e relacionar aos processos-modelo, integrar propriedades biológicas, físicas e químicas do solo e os respectivos processos, ser acessível a muitos usuários e aplicável às condições de campo, ser sensível às variações de manejo e de clima ao longo do tempo, e, quando possível, ser componente de banco de dados já existente.

As áreas de *A. purpusii* e *M. chaseae* apresentaram reduzidos teores de matéria orgânica do solo, tanto nas áreas pastejadas quanto vedadas, e foram classificadas com qualidade do solo ruim. Conforme Cardoso et al. (2009), a ausência de pastejo por três anos não é suficiente para elevar os teores de matéria orgânica de pastagens livre de inundação do Pantanal. Segundo estes autores, isto ocorre devido ao fato de a textura do solo ser arenosa e de haver baixa fertilidade natural dos solos, o que reflete na baixa capacidade de os campos naturais em pastejo contínuo formarem biomassa aérea e depositarem substratos orgânicos na superfície do solo. Desta forma, estes campos naturais são submetidos a permanente desfolha imposta pela pressão de pastejo, o que caracteriza esses ambientes como sistemas marcados apenas pela extração de biomassa e, basicamente, sem nenhuma reposição.

Para a determinação do índice de qualidade do solo, as funções "Promover o crescimento de raízes - PCR" e "Armazenar, suprir e ciclar nutrientes - ASCN" foram as mais fortemente afetadas devido aos baixos teores de matéria orgânica nas pastagens de *A. purpusii* e *M. chaseae*. A função PCR inclui os atributos matéria orgânica, densidade do solo, porosidade total, soma de bases e saturação por alumínio como os indicadores de qualidade para esta função. Desta forma, a redução de um destes indicadores proporciona dificuldades para o crescimento de raízes em profundidade. Os atributos químicos, matéria orgânica, soma de bases, saturação por alumínio e pH são os

indicadores de qualidade da função ASCN e estão relacionados diretamente com a fertilidade dos solos. Esta função é facilmente modificada pela adição de corretivos da acidez e fertilizantes, não sendo esta prática comum nos solos do Pantanal da Nhecolândia.

Cardoso (2008) identificou redução da qualidade do solo em pastagens do Pantanal da Nhecolândia devido à maior degradação dos atributos químicos e físicos nesses campos naturais. Nesse caso, determinada pela pressão mecânica sobre o solo, decorrente do pisoteio dos animais, e pela reduzida quantidade de aporte orgânico no solo, condicionada pela permanente desfolha promovida pelo pastejo. Aliado a isto, a região pantaneira possui temperaturas elevadas, que proporcionam a rápida decomposição do material orgânico pelos microrganismos (Hilasvuori et al., 2013).

## CONCLUSÕES

A pastagem nativa caracterizada pela predominância de *Hymenachne amplexicaulis* e localizada em posição rebaixada da paisagem apresenta maior porosidade total, macroporosidade, microporosidade e capacidade de água disponível que as demais pastagens.

O sistema de pastejo contínuo nas três pastagens nativas estudadas não influenciou a permeabilidade do solo, a água e o volume total de poros.

A matéria orgânica possui elevada influência na qualidade dos solos estudados, visto que os ambientes onde ela se apresenta em menor quantidade são os que tiveram menores valores de CAD e amplitude de umidade na CRA.

O processo de vedação das pastagens aos animais não alterou o índice de qualidade do solo, o que indica que o uso prolongado das pastagens nativas não comprometeu a sustentabilidade deste bioma.

## REFERÊNCIAS

BACHMANN, J.; VAN DER PLOEG, R.R. A review on recent developments in soil water retention theory: interfacial tension and temperature effects. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v.165, p.468–478, 2002.

BERISSO, F.E; SCHJONNING, P.; KELLER, T.; LAMANDÉ, M.; ETANA, A.; DE JONGE, L.W.; IVERSEN, B.V.; ARVIDSSON, J.; FORKMAN, J. Persistent effects of subsoil compaction on pore size distribution and gas transport in a loamy soil. **Soil and Tillage Research**, v.122, p.42:51, 2012.

BEUTLER, A.N; CENTURION, J.F.; SOUZA, Z.M.; ANDRIOLI, I.; ROQUE, C.G. Retenção de água em dois tipos de Latossolos sob diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.829-834, 2002.

BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p.363-375.

BULLOCK, P.; NEWMAN, A.C.D.; THOMASSON, A.J. Porosity aspects of the regeneration of soil structure after compaction. **Soil and Tillage Research**, v.5, p.325–341, 1985.

CARDOSO, E.L. Qualidade do solo em sistemas de pastagens cultivada e nativa na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Mato-Grossense. 2008. 154p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

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

CARDOSO, E.L.; SANTOS, S.A.; SILVA, M.L.N.; FERREIRA, M.M.; FREITAS, D.A.F. Atributos físicos do solo sob diferentes fitofisionomias na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul-Mato-Grossense. **Boletim de Pesquisa**, v.99, p.1-13, 2010.

CARDOSO, E.L.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; FREITAS, D.A.F. Qualidade química e física do solo sob vegetação arbórea nativa e pastagens no Pantanal Sul-Mato-Grossense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.613-622, 2011.

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

COLET, M.J.; SVERZUT, C.B.; WEIRICH NETO, P.H. ; SOUZA, Z.M. Alteração em atributos físicos de um solo sob pastagem após escarificação. **Ciência e Agrotecnologia**, v.33, p.361-368, 2009.

COSTA, C.S.; RODRIGUES, J.J.V.; CAVALCANTI, A.C.; MARINHO, L.B.; ALMEIDA NETO, L.A.; SILVA, T.J.A. Água disponível em um Neossolo Quartzarênico após adição de um condicionador mineral do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.524-530, 2009.

CZACHOR, H.; DOERR, S. H.; LICHNER, L. Water retention of repellent and subcritical repellent soils: new insights from model and experimental investigations. **Journal of Hydrology**, v.380, p.104–111, 2010.

DANIELSON, R.E.; SUTHERLAND, P.L. Porosity. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p.443- 461.

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

DORNER, J.; SANDOVAL, P.; DEC, D. The role of soil structure on the pore functionality of an Ultisol. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v.10, p.495–508, 2010.

DOURADO NETO, D.; NIELSEN, D.R.; HOPMANS, J.W.; REICHARDT, K.; BACCHI, O.O.S. Software to model soil water retention curves (SWRC, version 2.0). **Scientia Agricola**, v.57, p.191-192, 2000.

DUVAL, M.E.; GALANTINI, J.A; IGLESIAS, J.O; CANELO, S.; MARTINEZ, J.M.; WALL, L. Analysis of organic fractions as indicators of soil quality under natural and cultivated systems. **Soil and Tillage Research**, v.131, p.11–19, 2013.

EMERSON, W.W.; McGARRY, D. Organic carbon and soil porosity. **Australian Journal of Soil Research**, v.41, p.107-118, 2003.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3 ed. Rio de Janeiro: Embrapa CNPS, 2013. 353p.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: CNPS, 1997. 212p.

FERNÁNDEZ-GÁLVEZ, J.; BARAHONA, E. Changes in soil water retention due to soil kneading. **Agricultural Water Management**, v.76, p.53-61, 2005.

FERREIRA, D.F. Sisvar: A computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, p.1039-1042, 2011.

FLORES, J.P.C.; ANGHINONI, I.; CASSOL, L.C.; CARVALHO, P.C.F.; LEITE, J.G.D.B.; FRAGA, T.I. Atributos físicos do solo e rendimento de soja em sistema plantio direto em integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.771-780, 2007.

FRANZLUEBBERS, A.J. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. **Soil and Tillage Research**, v.66, p.95-106, 2002.

GARCIA, E.A.C.; CASTRO, L.H.R. Análise da frequência de chuva no Pantanal Mato-grossense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.21, p.909-925, 1986.

GLANTZ, S.A.; SLINKER, B.K. **Primer of applied regression and analysis of variance**. New York: McGraw-Hill, 1990. 777p.

GROHMANN, F. Distribuição e tamanho de poros em três tipos de solos do Estado de São Paulo. **Bragantia**, v.19, p.319-328, 1960.

GRZESIAK, S.; GRZESIAK, M.T.; HURA, T.; MARCIŃSKA, I.; RZEPKA, A. Changes in root system structure, leaf water potential and gas exchange of maize and triticale seedlings affected by soil compaction. **Environmental and Experimental Botany**, v.88, p.2-10, 2013.

HAMZA, M.A.; ANDERSON, W.K. Soil compaction in cropping systems – a review of the nature, causes and possible solutions. **Soil and Tillage Research**, v.82, p.121–145, 2005.

HARTMANN, P.; ZINK, A.; FLEIGE, H.; HORN, R. Effect of compaction, tillage and climate change on soil water balance of arable Luvisols in Northwest Germany. **Soil and Tillage Research**, v.124, p. 211-218, 2012.

HILASVUORI, E.; AKUJÄRVI, A.; FRITZE, H.; KARHU, K.; LAIHO, R.; MÄKIRANTA, P.; OINONEN, M.; PALONEN, V.; VANHALA, P.; LISKI, J. Temperature sensitivity of decomposition in a peat profile. **Soil Biology and Biochemistry**, v.67, p.47–54, 2013.

HILTBRUNNER, D.; SCHULZE, S.; HAGEDORN, F.; SCHMIDT, M.W.I.; ZIMMERMANN, S. Cattle trampling alters soil properties and changes soil microbial communities in a Swiss sub-alpine pasture. **Geoderma**, v.170, p.369-377, 2012.

INDRAWAN, I.G.B., RAHARDJO, H.; LEONG, E.C. Effects of coarse-grained materials on properties of residual soil. **Engineering Geology**, v.82, p.154–164, 2006.

JÚNIOR, J.H.C.; SANDANIELO, A.; CANAPPELE, C.; PRIANTE FILHO, N.; MUSIS, C.R.; SORIANO, B.M.A. Climatologia. In: BRASIL (Ed.). **Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai (Pantanal) - PCBAP**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal 1997. p.295-334.

JUNK, W.J.; SILVA, C.J. O conceito do pulso de inundação e suas implicações para o Pantanal de Mato Grosso. In: SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SÓCIO-ECONÔMICOS, 2., 1996, Corumbá. **Anais**. Brasília: SPI, 1999. p.17-28.

KARLEN, D.L.; STOTT, D.E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p.53-72.

KIRSCHBAUM, M.U.F. The temperature dependence of organic-matter decomposition—still a topic of debate. **Soil Biology and Biochemistry**, v.38, p.2510–2518, 2006.

KIRSCHBAUM, M.U.F. The temperature dependence of soil organic matter decomposition and the effect of global warming on soil organic carbon storage **Soil Biology and Biochemistry**, v.27, p.753–760, 1995.

KLEIN, V.A.; BASEGGIO, M.; MADALOSSO, T.; MARCOLIN, C.D. Textura do solo e a estimativa do teor de água no ponto de murcha permanente com psicrômetro. **Ciência Rural**, v.40, p.1550-1556, 2010.

KOUBOVÁ, A.; GOBERNA, M.; ŠIMEK, M.; CHROŇÁKOVÁ, A.; PIŽL, V.; INSAM, H.; ELHOTTOVÁ, D. Effects of the earthworm *Eisenia andrei* on methanogens in a cattle-impacted soil: A microcosm study. **European Journal of Soil Biology**, v.48, p.32-40, 2012.

LAL, R. Challenges and opportunities in soil organic matter research. **European Journal of Soil Science**, v.60, p.158-169, 2009.

LIMA, J.M.; CURI, N.; RESENDE, M.; SANTANA, D.P. Dispersão do material de solo em água para avaliação indireta da erodibilidade de latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, p.85-90, 1990.

LIU, X.; FAN, Y.; LONG, J.; WEI, R.; KJELGREN, R.; GONG, C.; ZHAO, J. Effects of soil water and nitrogen availability on photosynthesis and water use efficiency of *Robinia pseudoacacia* seedlings. **Journal of Environmental Sciences**, v.25, p.585-595, 2013.

LOURENTE, E.R.P.; MERCANTE, F.M.; ALOVISI, A.M.T.; GOMES, C.F.; GASPARINI, A.S.; NUNES, C.M. Atributos microbiológicos, químicos e

físicos do solo sob diferentes sistemas de manejo sob condições de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.41, p.20-28, 2011.

LUTERBACHER, J.; DIETRICH, D.; XOPLAKI, E.; GROSJEAN, M.; WANNER, H. European seasonal and annual temperature variability, trends and extremes since 1500. **Science**, v.303, p.1499–1503, 2004.

MACHADO, J.L.; TORMENA, C.A.; FIDALSKI, J.; SCAPIM, C.A. Inter-relações entre as propriedades físicas e os coeficientes da curva de retenção de água de um Latossolo sob diferentes sistemas de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, p.32, v.495-502, 2008.

MAECHLER, M.; ROUSSEEUW, P.; STRUYF, A.; HUBERT, M. Cluster Analysis Basics and Extensions, Cluster R package, Viena, 2005.

MARINHO, F. A. M.; CHANDLER, R. J. Aspects of the behavior of clays on drying. In: HOUSTON, S. L. & WRAY, W. K. (Ed.). **Unsaturated Soils** New York: ASCE Geotechnical, 1993. p.77–90.

MATTHEWS, G.P.; LAUDONE, G.M.; GREGORY, A.S.; BIRD, N.R.A.; MATTHEWS, A.G.D.; WHALLEY, W.R. Measurement and simulation of the effect of compaction on the pore structure and saturated hydraulic conductivity of grassland and arable soil. **Water Resources Research**, v.46, p.1-13, 2010.

MELO FILHO, J. F. de; SOUZA, A. L. V.; SOUZA, L. S. Determinação do índice de qualidade subsuperficial em um Latossolo Amarelo Coeso dos Tabuleiros Costeiros, sob floresta natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1599-1608, 2007.

MILLER, C.J.; YESILLER, N.; YALDO, K.; MERAYYAN, S. Impact of soil type and compaction conditions on soil water characteristic. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, v.128, p.722–742, 2002.

MILLER, G.A.; KHOURY, C.N.; MURALEETHARAN, K.K.; LIU, C.Y.; KIBBEY, T.C.G. Effects of soils skeleton deformations on hysteretic soil water characteristic curves: Experiments and simulations. **Water Resources Research**, v.44, p.1-10, 2008.

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

MOYANO, F.E.; VASILYEVA, N.; BOUCKAERT, L.; COOK, F.; CRAINE, J.; YUSTE, J.C.; DON, A.; EPRON, D.; FRANZLUEBBERS, A.; ILSTEDT, U.; KÄTTERER, T.; ORCHARD, V.; REICHSTEIN, M.; REY, A.; RUAMPS, L.; SUBKE, J.A.; THOMSEN, I.K.; CHENU, C. The moisture response of soil heterotrophic respiration: interaction with soil properties. **Biogeosciences**, v.9, p.1173-1182, 2012.

NASCENTE, A.S.; LI, Y.C.; CRUSCIOL, C.A.C. Cover crops and no-till effects on physical fractions of soil organic matter. **Soil and Tillage Research**, v.130, p.52–57, 2013.

NG, C.W.W.; PANG, Y.W. Influence of stress state on soil-water characteristics and slope stability. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, v.126, p.157–166, 2000.

OLIVEIRA, G.C.; DIAS JUNIOR, M.S.; RESCK, D.V.S.; CURI, N. Alterações estruturais e comportamento compressivo de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, p.291-299, 2003.

OLIVEIRA, L. B. Determinação da macro e microporosidade pela mesa de tensão em amostras de solo com estrutura indeformada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.3, p.197-200, 1968.

PELTONIEMI, K.; STRAKOVÁ, P.; FRITZE, H.; IRÁIZOZ, P.A.; TAINA PENNANEN, T.; LAIHO, R. How water-level drawdown modifies litter-decomposing fungal and actinobacterial communities in boreal peatlands. **Soil Biology and Biochemistry**, v.51, p.20-34, 2012.

PIGNATARO NETTO, I.T.; KATO, E.; GOEDERT, W. J. Atributos físicos e químicos de um latossolo vermelho-escuro sob pastagens com diferentes históricos de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1441-1448, 2009.

PLAZA, C.; COURTIER-MURIAS, C.; FERNÁNDEZ, J.M.; POLO, A.; SIMPSON, A.J. Physical, chemical, and biochemical mechanisms of soil organic matter stabilization under conservation tillage systems: A central role for microbes and microbial by-products in C sequestration. **Soil Biology and Biochemistry**, v.57; p.124-134, 2013.

POTT, A. **Pastagens no Pantanal**. Corumbá: EMBRAPA-CPAP, 1988. 58p. (EMBRAPA-CPAP. Documentos, 7).

POWLSON, D.S.; BHOGAL, A.; CHAMBERS, B.J.; COLEMAN, K.; MACDONALD, A.J.; GOULDING, K.W.T.; WHITMORE, A.P. The potential to increase soil carbon stocks through reduced tillage or organic material additions in England and Wales: a case study. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.146, p.23-33, 2012.

RAO, V.B.; CAVALCANTI, I.F.A.; HADA, K. Annual variation of rainfall over Brazil and water vapor characteristics over South America. **Journal of Geophysical Research**, v.101, p.26539-26551, 1996.

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

RICHARD, G.; COUSIN, I.; SILLON, J.F.; BRUAND, A.; GUÉRIF, J. Effect of compaction on the porosity of a silty soil: influence on unsaturated hydraulic properties. **European Journal of Soil Science**, v.52, p.49–58, 2001.

RIVERS, E.D.; SHIPP, R.F. Soil water retention as related to particle size in selected sands and loamy sands. **Soil Science**, v.126, p.94-100, 1978.

SÁ, L.D.A.; SAMBATTI, S.B.M.; GALVAO, G.P. Ondeleta de Morlet aplicada ao estudo da variabilidade do nível do rio Paraguai em Ladário, MS. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, p.1775-1785, 1998.

SANTOS, S.A. Caracterização dos recursos forrageiros nativos da sub-região da Nhecolândia, Pantanal, Mato-Grosso do Sul, Brasil. 2001. 190p. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia Campus de Botucatu, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

SANTOS, S.A.; COSTA, C.; SOUZA, G.S.; POTT, A.; ALVAREZ, J.M.; MACHADO, S.R. Composição Botânica da Dieta de Bovinos em Pastagem Nativa na Sub-Região da Nhecolândia, Pantanal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, p.1648-1662, 2002.

SCHÄFFER, B.; STAUBER, M.; MULLER, R.; SCHULIN, R. Changes in the macro-pore structure of restored soil caused by compaction beneath heavy

agricultural machinery: a morphometric study. **European Journal of Soil Science**, v.58, p.1062–1073, 2007.

SHUKLA, M.K.; LAL, R.; EBINGER, M. Determining soil quality indicators by factor analysis. **Soil and Tillage Research**, v.87, p.194-204, 2006.

SILVA, D.C.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; OLIVEIRA, A.H.; SOUZA, F.S.; MARTINS, S.G.; MACEDO, R.L.G. Atributos do solo em sistemas agroflorestais, cultivo convencional e florestas nativa. **Revista de Estudos Ambientais**, v.13, p.77-86, 2011.

SOUZA, A.L.V. **Avaliação da qualidade de um Latossolo Amarelo Coeso argissólico dos Tabuleiros Costeiros, sob floresta natural**. 2005. 95p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal da Bahia, Cruz das Almas.

TAYLOR, S.A.; ASHCROFT, G.L. **Physical edaphology**. San Francisco: W.H. Freeman, 1972. 532p.

VAN DEN BERG, M.; KLAMT, E.; VAN REEUWIJK, L.P.; SOMBROEK, W.G. Pedotransfer functions for the estimation of moisture retention characteristics of Ferralsols and related soils. **Geoderma**, v.78, p.161-180, 1997.

VAN GENUCHTEN, M.T.A. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of American Journal**, v.44, p.892-897, 1980.

VANAPALLI, S. K.; FREDLUND, D. G.; PUFAHL, D. E. The influence of soil structure and stress history on the soil-water characteristics of a compacted till. **Geotechnique**, v.49, p.143–159, 1999.

WANG, X.; WANG, L.B. Dynamic analysis of a water–soil–pore water coupling system. **Computers and Structures**, v.85, p.1020:1031, 2007.

WENDLING, B.; VINHAL-FREITAS, I.C.; OLIVEIRA, R.C.; BABATA, M.M.; BORGES, E.N. Densidade, agregação e porosidade do solo em áreas de conversão do cerrado floresta de pinus em pastagem e plantio direto. **Bioscience Journal**, v.28, p.256-265, 2012.

WYMORE, A. W. **Model-based systems engineering: an introduction to the mathematical theory of discrete systems and to the tricategory theory of system design**. Boca Raton: CRC, 1993. 710p.

YANG, S.; LU, T.H. Study of soil-water characteristic curve using microscopic spherical particle model. **Pedosphere**, v.22, p.103-111, 2012.

ZHU, B.; CHENG, W. Impacts of drying-wetting cycles on rhizosphere respiration and soil organic matter decomposition. **Soil Biology and Biochemistry**, v.63, p.89-96, 2013.