

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
ICET/FAET/FAMEV/IB/ICHS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS

DINÂMICA DA INUNDAÇÃO EM FITOFISIONOMIAS DO PANTANAL MATO-
GROSSENSE

Laurienne Evelyn de Castro Borges

Cuiabá, fevereiro de 2016.

DINÂMICA DA INUNDAÇÃO EM FITOFISIONOMIAS DO PANTANAL MATO-
GROSSENSE

Laurienne Evelyn de Castro Borges

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Mato Grosso para a obtenção do título de mestre em Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Santos Silva Amorim
Co-orientadora: Prof. Dra. Isabela Codolo de Lucena

Cuiabá, fevereiro de 2016.

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

B732d Borges, Laurienne Evelyn de Castro Borges.
Dinâmica da inundação em fitofisnomias do Pantanal mato-grossense /
Laurienne Evelyn de Castro Borges Borges. -- 2016
xi, 47 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: Ricardo Santos Silva Amorim.

Co-orientadora: Isabela Codolo de Lucena.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto
de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós-Graduação em Recursos
Hídricos, Cuiabá, 2016.

Inclui bibliografia.

1. Planície de inundação. 2. Modelagem Hidrológica. 3. Solo. 4.
Umidade. 5. Precipitação. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS
Avenida Fernando Corrêa da Costa, 2367 - - Boa Esperança - Cep: 78060900 - CUIABÁ/MT
Tel : (65) 3615-8764 - Email : nearh@ufmt.br

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO : "Dinâmica do Nível e da Área de Inundação no Pantanal Mato-Grossense"

AUTORA : Mestranda Laurienne Evelyn de Castro Borges

Dissertação defendida e aprovada em 05/02/2016.

Composição da Banca Examinadora:

Presidente Banca / Doutor Ricardo Santos Silva Amorim

Orientador
Instituição : UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

Coorientadora Doutora Isabela Codolo de Lucena
Instituição : UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

Examinadora Externa Doutora Luisa Fernanda Vega
Instituição : Universidade de KIEL

Examinador Interno Doutor Oswaldo Borges Pinto Júnior
Instituição : UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

Examinador Suplente Doutor Ibraim Fantin da Cruz
Instituição : UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

Examinador Suplente Doutor Marcos Antônio Camargo Ferreira
Instituição : SEMA

CUIABÁ,03/02/2016.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Wolney Ferreira Borges e Simey Castro Borges, pela dedicação, amor e educação que me proporcionaram, sendo minha principal inspiração na busca pelo conhecimento, evolução, realização pessoal, profissional e, conseqüente, felicidade.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, presente em minha vida em todos os momentos, sendo o ser apoiador e motivador de fé, esperança, força e dedicação para aprender, agradecer, compartilhar e superar todos os desafios, bem como todas as dificuldades.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos, que ao longo de todo este processo estiveram presentes, contribuindo com seus conhecimentos e orientações durante a convivência dentro e extra sala de aula.

Aos Professores Doutores Ricardo Santos Amorim e Isabela Codolo de Lucena pela orientação que dedicaram na execução deste trabalho, orientação esta que foi concretizada mais do que na forma de relação aluno-professor, mas também de amizade, respeito e compreensão diante as particularidades do dia a dia de cada um. A vocês serei eternamente grata.

Aos membros da banca examinadora pela disponibilidade em avaliar este trabalho e também realizar todas as contribuições que resultam em sua melhoria, a fim de garantir uma adequada contribuição à ciência e a sociedade, esta última que deve ser sempre a principal beneficiada com os resultados dos estudos científicos.

Aos familiares, em especial os meus pais Wolney e Simey, ao meu Irmão Deo, a minha companheira Simone, e aos meus amigos Roberto Passos, Arlene Almeida, Ebe, Alan Libanio, Ana Rúbia e todos os demais que sempre me incentivaram e apoiaram na realização deste trabalho.

Ao Estado de Mato Grosso, que na forma da instituição “Secretaria de Estado de Meio Ambiente”, apoia a qualificação de seus servidores e me apoiou na compreensão da necessidade e homologação de meu pedido de licença para qualificação, esta homologada pela atual gestora do órgão, Secretaria de Meio Ambiente Ana Luisa de Ávila Peterlini.

Ao Serviço Social do Comércio (SESC) e toda a equipe de guarda parques e auxiliares da RPPN SESC Pantanal, pelo apoio durante as campanhas de campo, aos técnicos da Universidade Federal de Mato Grosso e estudantes da graduação e pós-graduação que auxiliaram nas viagens. Ao Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração (PELD)/ Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento do projeto e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

RESUMO

No Pantanal mato-grossense, a variação anual do nível de água, as diferenças do regime hidrológico, as variações da topografia e do tipo de solo proporcionam, além das áreas não inundáveis, zonas permanente, periodicamente e raramente inundadas. Neste contexto, estudos sobre a dinâmica do nível e da área de inundação, bem como dos fatores que a influenciam, como a precipitação e as características físicas e físico-hídricas do solo, podem subsidiar ações de restauração, conservação e gestão das planícies de inundação. Este trabalho teve como objetivo modelar a dinâmica da inundação em fitofisionomias do Pantanal mato-grossense, correlacionar a variação da inundação e do nível freático com a precipitação e as características físicas e físico-hídricas do solo. A pesquisa foi realizada em uma área de Cordilheira e quatro de Cambarás, todas localizadas na RPPN SESC Pantanal, Barão de Melgaço, MT, Brasil. Foi monitorado o nível freático ao longo de dois anos hidrológicos, quantificada a área inundada e realizada a descrição da relação existente do nível e área de inundação dos locais estudados com o nível de água do Rio Cuiabá. Além disto, por meio da análise de componentes principais e de correlação, foi verificada a relação da variação do nível de inundação e do nível freático com a precipitação e atributos físicos e físico-hídricos do solo. A partir de 1,36 m, o nível de água do Rio Cuiabá é fator determinante da intensidade e da duração da inundação. Foram obtidos modelos de regressão linear que, para o intervalo de 1,36 a 4,61 metros de nível de água do Rio Cuiabá, permitem estimar o nível freático, o nível de inundação e a área inundada. Foi verificado que a diferença da variação do nível de inundação entre as unidades de estudo está associada aos atributos físicos e físico-hídricos até a profundidade de 80 cm do solo, assim como a diferença da variação do nível freático, porém este último a partir de 80 cm de profundidade. No período de enchente, até a profundidade de 40 cm, a precipitação exerceu influência positiva sobre o processo de umedecimento do solo, sendo um indicativo de que a precipitação é fator determinante para o início do pulso de inundação das unidades de estudo.

Palavras-chave: planície de inundação; modelagem hidrológica; solo, umidade, precipitação

ABSTRACT

In the Mato Grosso Pantanal, the annual variation of water levels, differences in hydrological regime, variations in topography and soil type provide, in addition to a non-flooded areas, permanent, periodically and rarely flooded areas. In this context, studies on the flood level and fluid dynamics, as well as on the factors influencing it, such as precipitation and physical and water-physical characteristics of the soil, can support restoration, conservation and management of flood plains. The objective of this study was to model the fluid dynamics in phytophysionomies of the Pantanal of Mato Grosso, to correlate the variation of the flood and the water table with the precipitation and the physical and hydrological characteristics of the soil. The research was carried out in an area of the Cordillera and four of Cambarás, all located in the SESC Pantanal RPPN, Barão de Melgaço, MT, Brazil. The water table was monitored during two hydrological years, the flooded area was quantified and a description was made of the relationship between the level and flood area of the studied sites and the water level of the Cuiabá River. In addition, through the analysis of main components and correlation, it was verified the relation of the variation of the level of flood and the water table with the precipitation and physical and physical - water attributes of the soil. Starting from 1,36 m, the level of water of Rio Cuiabá is decisive factor of the intensity and of the duration of the flood. They were obtained models of lineal regression that, for the interval from 1,36 to 4,61 meters of level of water of Rio Cuiabá, they allow to esteem the water table, the flood level and the flooded area. It was verified that the difference of the flood level variation between the study units is associated with the physical and physical-water attributes up to 80 cm depth of the soil, as well as the difference of the water table variation, but the latter from 80 cm deep. During the flood period, up to 40 cm depth, precipitation exerted a positive influence on the soil moistening process, being an indication that precipitation is a determining factor for the beginning of the flood pulse of the study units.

Keywords: Inundation plain; hydrology modeling; soil; soil moisture; precipitation

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	X
LISTA DE TABELAS	XI
INTRODUÇÃO GERAL	12
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	14
CAPÍTULO 1 Dinâmica do nível e da área de inundação em fitofisionomias do Pantanal mato-grossense	17
Resumo	17
Introdução	17
Material e Métodos	19
Resultados e Discussão	22
Conclusões	30
Agradecimentos	31
Referências Bibliográficas	31
CAPÍTULO 2 Influência das características físicas e físico-hídricas do solo e da precipitação na dinâmica da inundação em fitofisionomias do Pantanal mato-grossense	34
Resumo	34
Introdução	34
Material e Métodos	36
Resultados e Discussão	40
Conclusões	49
Agradecimentos	49
Referências Bibliográficas	49
CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
ANEXO	54

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1 Dinâmica do nível e da área de inundação em fitofisionomias do Pantanal mato-grossense

Fig. 1 Localização da RPPN SESC Pantanal e das unidades de estudo.....20

Fig. 2 Variação temporal dos níveis freáticos das unidades de estudo: valores acima do nível da superfície do solo correspondem ao nível de inundação.....23

Fig. 3 Regressão linear entre o nível freático das unidades de estudo e o nível de água do Rio Cuiabá, com suas respectivas linhas de tendência e equações para os períodos de cheia, enchente, estiagem e vazante.....25

Fig. 4 Regressão linear entre o nível de inundação das unidades de estudo e o nível de água do Rio Cuiabá, com suas respectivas linhas de tendência e equações para os períodos de cheia e vazante.....26

Fig. 5 Regressão linear entre a quantidade de áreas inundadas das unidades de estudo e o nível de água do rio Cuiabá, com suas respectivas linhas de tendência e equações para os períodos de cheia e vazante.....28

Capítulo 2 Influência das características físicas e físico-hídricas do solo e da precipitação na dinâmica da inundação em fitofisionomias do Pantanal mato-grossense

Fig. 1 Localização da RPPN SESC Pantanal e das unidades de estudo.....37

Fig 2 Datalogger do sensor de umidade instalado no ‘Cambará jovem’ (modelo Em50, da Decagon Device).....38

Fig. 3 Sensor de nível freático instalado na “Cordilheira” (modelo WT-HR 2000, da TruTrack Data Loggers).....38

Fig. 4 Transmissor meteorológico (modelo WXT520, Vaisala Inc., Helsinki, Finland – Brandão, 2012).....40

Fig. 5 Perfil topográfico da área onde foram instaladas as unidades de estudo, com suas respectivas representações da classe textural para as profundidades de 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm, e distâncias entre as unidades de estudo.....41

Fig 6 Dispersão gráfica das variáveis físicas e físico-hídricas do solo e hídricas das unidades de estudo, que constituem os Fatores 1 e 2 para as profundidades de 0-20 cm (a), 20 – 40 cm (b), 40 – 60 cm (c) e 60 – 80 cm (d).....43

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1 Dinâmica do nível e da área de inundação em fitofisionomias do Pantanal mato-grossense

Tabela 1 Dados do monitoramento dos níveis freáticos nas unidades de estudo, para os anos hidrológicos de 2010/2011 (1º) e 2011/2012 (2º).....23

Tabela 2 Coeficientes de correlação entre os níveis freáticos das unidades de estudo, para os anos hidrológicos de 2010/2011 e 2011/2012.....24

Tabela 3 Coeficientes de correlação entre a quantidade de áreas inundadas das unidades de estudo.....27

Capítulo 2 Influência das características físicas e físico-hídricas do solo e da precipitação na dinâmica da inundação em fitofisionomias do Pantanal mato-grossense

Tabela 1 Dados do monitoramento dos níveis freáticos nas unidades de estudo, para os anos hidrológicos de 2010/2011 (1º) e 2011/2012 (2º).....41

Tabela 2 Médias dos atributos físicos e físico-hídrico do solo, das unidades de estudo para as camadas de 00 - 20, 20 - 40, 40 - 60, 60 - 80 e 80 - 100 cm de profundidade do solo.....45

Tabela 3 Coeficientes de correlação da precipitação e nível freático com a umidade, para as camadas de 00 - 20, 20 - 40, 40 - 60, 60 - 80 e 80 - 100 cm de profundidade do solo das unidades de estudo Cambará jovem e Cambará velho.....48

INTRODUÇÃO GERAL

As três grandes regiões hidrográficas presentes no estado de Mato Grosso são: região hidrográfica do Amazonas, região hidrográfica do Paraguai e região hidrográfica do Tocantins – Araguaia. Na região hidrográfica do Paraguai localiza-se a sub-região do Alto Rio Paraguai, que possui uma região alta, denominada Planalto, e uma região baixa e plana, denominada Pantanal (Allasia et al., 2004). A bacia do Alto Rio Paraguai possui 361.666 km², dos quais 138.183 km² (38, 21%) constituem o Pantanal localizado em território brasileiro, sendo que, desta área, 48.865 km² (35,36%) se encontra no estado de Mato Grosso e 89.318 km² (64,64%) no estado de Mato Grosso do Sul (Silva e Abdon, 1998).

O Pantanal é um bioma que se constitui em uma das maiores extensões de terras inundáveis no mundo, que engloba um mosaico de diferentes habitats e sustenta grande diversidade vegetal, animal e de solos (Beirigo et al., 2011).

A colonização do Pantanal mato-grossense se deu pela atividade extrativista, sendo a pesca praticada por ribeirinhos a principal delas (Mateus et al., 2004). A partir da década de 70, devido aos incentivos fiscais para ocupação e expansão da fronteira agrícola sobre o Cerrado, por meio de programas governamentais como o Polocentro e Polonoroeste, terras adjacentes ao Pantanal, localizadas no Planalto, foram desmatadas para o desenvolvimento das atividades de agricultura e pecuária (Padovani et al., 2004).

Até recentemente, uma das maiores ameaças a região do Planalto era o desmatamento, entretanto, este se estendeu para dentro da própria planície pantaneira e mais de 40% dos habitats de florestas e savanas já foram alterados pela pecuária, muitas vezes com a introdução de espécies de gramíneas exóticas (Padovani et al., 2004).

A conversão de habitats naturais do Cerrado adjacente ao Pantanal resulta em processos erosivos severos, com a deposição de sedimentos nas depressões da planície e alteração dos padrões do fluxo da água e dos regimes hidrológicos (Harris et al., 2005).

O grande desafio para o uso sustentável dos recursos naturais do Pantanal passa pela compreensão dos processos ecológicos responsáveis pela produtividade e biodiversidade existentes na região, sendo que o principal conceito envolvido é o “pulso de inundação” (Resende, 2008).

O pulso de inundação, que é a variação temporal do nível d’água, regula os processos ecológicos que ocorrem no Pantanal (Junk et al., 1989). As características hidrológicas mais relevantes do pulso sazonal de inundação são: a frequência, geralmente uma vez por ano; a profundidade da inundação que varia de 10 cm a

2 m ou mais; e a duração da inundação variando de 1 a 2 meses ou mais (Hamilton, 2002). O ciclo de inundação é monomodal (Junk et al., 1989) e, de ano para ano, as cheias apresentam diferenças de amplitude, com variação no tempo e espaço (Girard et al., 2010).

Na região do Pantanal mato-grossense, onde se encontra localizada a área objeto de estudo desta dissertação (divisa entre Barão de Melgaço – MT e Poconé – MT, próximo ao Porto Cercado), a inundação é reflexo da variação anual do nível de água que ocorre no rio Cuiabá e rio São Lourenço. Além disto, é altamente influenciada pela precipitação e difícil drenagem da água da chuva através do solo (Messias, 2011), havendo assim um ciclo de umedecimento e secagem da planície (Messias et al, 2013).

Em geral, no mês de outubro se inicia as chuvas terminando entre os meses de fevereiro e maio, sendo julho e agosto caracterizados como meses secos na região (Biudes, 2008). Com a inundação os espaços porosos do solo são ocupados pela água, o que dificulta as trocas gasosas entre as raízes das plantas, os microrganismos e o ambiente (Lobo e Joly, 2000). Portanto, o Pantanal é habitável apenas pelas espécies que são tolerantes as particularidades do ambiente (Crawford, 1992), que é condicionado pelo ciclo de inundações.

Deste modo, podemos afirmar que as variáveis que caracterizam a dinâmica da inundação como a intensidade, a duração, a área inundada e a frequência, são fatores determinantes para a diversidade das espécies vegetais e animais que se estabelecem na planície de inundação. No entanto, o comportamento destas variáveis é influenciado pelo nível de água dos rios e canais, pelas características físico-hídricas do solo e pela precipitação.

Apesar da importância da dinâmica da inundação para a ecologia do Pantanal, esse processo ainda não é bem compreendido. Isso se deve, principalmente, à falta do emprego de métodos de análise e tecnologias que permitam caracterizar e monitorar de forma contínua o ambiente, além de permitir que se façam cenários e previsões do comportamento da dinâmica como um todo (Padovani, 2010).

Considerando a importância, a necessidade e a possibilidade de se caracterizar e modelar a dinâmica da inundação para o entendimento dos processos hidrológicos e ecológicos que ocorrem no Pantanal e, conseqüentemente, subsidiar ações de restauração, conservação e gestão de planícies de inundação, o objetivo deste estudo foi modelar a dinâmica do nível e área de inundação em fitofisionomias no Pantanal mato-grossense em função do nível de água do Rio Cuiabá, bem como estabelecer suas relações com as características físico-hídricas do solo e precipitação.

Diante deste contexto, o presente trabalho foi desenvolvido em dois capítulos. O primeiro capítulo foi intitulado “Dinâmica do nível e da área de inundação em fitofisionomias do Pantanal mato-grossense” cujo objetivo foi modelar a dinâmica do nível e da área de inundação em fitofisionomias do Pantanal mato-grossense, tendo como variável preditora o nível de água do Rio Cuiabá. O segundo capítulo foi intitulado “Influência das características físico-hídricas do solo e precipitação na dinâmica da inundação em fitofisionomias do pantanal mato-grossense” cujo objetivo foi avaliar a relação entre a dinâmica da inundação em fitofisionomias do Pantanal mato-grossense com as características físico-hídricas do solo e precipitação regional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Allasia, D. G.; Collischonn, W; Collischonn, B.; Tucci, C.E.M; Failache, N.; Germano, A. Modelo hidrológico da bacia do Alto Paraguai. In: III Simpósio do centro oeste de hidrologia, 2004, Goiânia. Anais do III Simpósio do centro oeste de hidrologia. ABRH, 2004.

Beirigo, R. M.; Torrado, P. V.; Stape, J.L.; Couto, E. G.; Andrade, G. R. P. Solos da Reserva Particular do Patrimônio Natural SESC Pantanal. 7. ed. Conhecendo o Pantanal, 2011. 77p.

Brandão, A. A. Dinâmica temporal do efluxo de CO₂ do solo em área de cerrado no Pantanal matogrossense. Cuiabá: UFMT, Instituto de Física, 2012. 73p. Dissertação Mestrado.

Biudes, M.S. Balanço de Energia em área de vegetação monodominante de cambará e pastagem no norte do Pantanal. 2008. 142p. Tese (Doutorado em agricultura tropical). Faculdade de Agronomia e medicina veterinária, Universidade Federal de Mato Grosso, 2008.

Crawford, R.M.M. 1992. Oxygen availability as an ecological limit to plant distribution. *Advances in Ecological Research*, 23: 95-185.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). 2008. Centro de Pesquisa Agropecuária do Pantanal. Pulso de Inundação – Processo Ecológico Essencial à Vida no Pantanal. Emiko Kawakami de Resende. – Corumbá: Embrapa Pantanal.

Girard, P.; Fantin-Cruz, I.; Oliveira, S. M. L.; Hamilton, S. K. Small-scale spatial variation of inundation dynamics in a floodplain of the Pantanal (Brazil). *Hydrobiologia* (The Hague. Print), v. 638, p. 223-233, 2010.

Hamilton, S. K. Hydrological controls of ecological structure and function in the Pantanal wetland (Brazil). *The Ecohydrology of South American Rivers and Wetlands*. IAHS Special Publication. n. 6, p. 133-158, 2002.

Harris, M. B.; Tomas, W. M.; Mourão, G.; Silva, C. J.; Guimarães, E.; Sonoda, F.; Fachim, E. Desafios para proteger o Pantanal brasileiro: ameaças e iniciativas em conservação. *Megadiversidade*, n. 1, p. 156 – 164, 2005.

Junk, W. J.; Bailey, P. B.; Sparks, R. E. The flood pulse concept in river-floodplain systems. *Can. J. Fish. aquat. Sci.* v. 106, p.10-127, 1989.

Lobo, P.C. & Joly, C.A. 2000. Aspectos ecofisiológicos da vegetação de mata ciliar do Sudeste do Brasil. In: Rodrigues, R.R., & Leitão Filho H.F., (eds). *Matas ciliares: conservação e recuperação*. São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo, p. 143-157.

Mateus, L.A.F.; Penha, J.M.F.; Petreire, M. Fishing resource in the rio Cuiabá basin, Pantanal do Mato Grosso, Brazil. *Sociedade Brasileira de Ictiologia*, v. 2, n. 4, p. 2117-227, 2004.

Messias, I.A.M. Monitoramento contínuo do potencial redox e de variáveis complementares em ambiente hipersazonal no Pantanal de Barão de Melgaço. 57p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2011.

Padovani C. R.; Leite da Cruz, M. L.; Padovani, S. L. A. G. Desmatamento do Pantanal Brasileiro para o ano 2000. In: Simpósio sobre Recursos Naturais e Sócio-econômicos do Pantanal, 2004.

Padovani, C. R. Dinâmica espaço-temporal das inundações do Pantanal. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, 2010. 174p. Tese Doutorado

Silva, J. S. V.; Abdon, M. M. Delimitação do Pantanal Brasileiro e suas sub-regiões. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 33, p. 1703-1711, 1998. Número especial.

CAPÍTULO 1

Dinâmica do nível e da área de inundação em fitofisionomias do Pantanal mato-grossense

Resumo: No Pantanal, a variação anual do nível de água, as diferenças do regime hidrológico, as variações da topografia e do solo proporcionam, além das áreas não inundáveis, zonas permanente, periodicamente e raramente inundadas. Portanto, estudos sobre a dinâmica do nível de água e da área de inundação podem subsidiar ações de restauração, conservação e gestão de planícies de inundação. Objetivou-se modelar a dinâmica da inundação em fitofisionomias do Pantanal, sendo uma área de Cerrado (Cordilheira) e três áreas de Cambarás, todas localizadas na RPPN SESC Pantanal, Barão de Melgaço, MT, Brasil. Foi monitorado o nível freático ao longo de dois anos hidrológicos, quantificada a área inundada e realizada a descrição da relação existente do nível e área de inundação dos locais estudados com o nível de água do Rio Cuiabá. A partir de 1,36 m, o nível de água do Rio Cuiabá é fator determinante da intensidade e da duração da inundação. Foram obtidos modelos de regressão linear que, para o intervalo de 1,36 a 4,61 metros de nível de água do Rio Cuiabá, permitem estimar o nível freático, o nível de inundação e a área inundada.

Palavras-chave: Planície de inundação; Modelagem hidrológica; Previsão de inundação; Ano hidrológico

Introdução

O Pantanal é uma planície sazonalmente inundada, onde as diferenças locais do regime hidrológico, somadas às variações de topografia e do solo proporcionam, além das áreas não inundáveis, zonas permanente, periodicamente e raramente alagadas (Junk et al., 1989). A inundação associada ao regime hidrológico provoca os processos de expansão, contração e fragmentação dos sistemas aquáticos, o que caracteriza alta complexidade estrutural. Estes processos proporcionam o estabelecimento de conectividade entre diferentes tipos de compartimentos, como rio e planície, rio e lagoa, lagoa e planície, entre os próprios compartimentos da planície ou ainda entre uma combinação de todos esses ambientes (Fantin-Cruz et al., 2010).

O mosaico paisagístico e funcional da planície de inundação, decorrente das modificações sazonais (Junk et al., 1989) associadas às condições edafoclimáticas, topográficas e hidrológicas, resulta em habitats

específicos para a existência de uma grande variedade de plantas e animais, com diferentes níveis de tolerância à inundação e a seca (Cunha & Junk, 2000).

Sem as inundações, o Pantanal certamente teria outra configuração, tanto biótica quanto abiótica. Em função desta forte influência sobre o ecossistema, a modelagem do funcionamento da dinâmica das águas na planície de inundação torna-se necessária, para conter a ocupação e a utilização inadequada dos recursos naturais do Pantanal (Gradella, 2012).

O uso sustentável dos recursos naturais existentes no Pantanal passa pela compreensão do pulso de inundação (Resende, 2008). No entanto, este não pode ser totalmente compreendido sem a caracterização do seu principal componente: a dinâmica da inundação, que é definida como o padrão de tempo e espaço em que o processo de inundação ocorre de forma contínua dentro de um ano ou ao longo de muitos anos (Benke et al., 2000).

Para compreensão e quantificação da circulação de água entre os compartimentos das planícies inundáveis, existem dois componentes relevantes: o volume e a área que a água ocupa nas planícies (Barbosa et al., 2006). Um conjunto de medidas, produzidos em escala local, como topografia, extensão de inundação e nível de água contribuem para descrever o pulso de inundação (Bates et al. 2014) e definir, por exemplo, que o grau de conectividade entre os compartimentos é determinado pela amplitude da inundação (Neiff, 1999).

A modelagem da sazonalidade da inundação, monitoramento e mapeamento das áreas inundáveis (Padovani, 2010), a descrição da dinâmica da inundação e avaliação da conectividade entre os compartimentos de uma planície de inundação (Fantim-Cruz et al., 2010), a variabilidade espacial e temporal dos níveis de água ao longo de um perfil topográfico localizado na planície de inundação (Girard 2010), o mapeamento, o monitoramento e a caracterização da inundação (Zarista, 2013) são exemplos de trabalhos realizados no Pantanal. Os resultados destes trabalhos contribuíram para o conhecimento da dinâmica da inundação e das áreas inundadas, bem como para a compreensão dos seus processos hidrológicos e ecológicos.

A partir da identificação dos fatores que controlam o nível e a área de inundação, é possível propor um modelo preditivo do pulso de inundação. O modelo pode auxiliar na compreensão do impacto de alterações hidrológicas e do nível do rio sobre a biodiversidade, visto que as variações espaciais e sazonais nas condições hídricas determinam a variação na biodiversidade aquática (Davidson et al., 2012) e a distribuição de espécies de plantas em áreas úmidas (Murray-Hudson et al., 2014). Os resultados obtidos com estes estudos podem subsidiar ações de conservação, restauração e gestão de planícies de inundação.

Considerando a necessidade de complementar o conhecimento a respeito da dinâmica da inundação com informações que poderão ser utilizadas para constituir cenários passados e futuros através de análises de series temporais, o presente estudo teve como modelar a dinâmica do nível e da área de inundação em fitofisionomias do Pantanal mato-grossense, tendo como variável preditora o nível de água do Rio Cuiabá.

Material e Métodos

O presente trabalho foi conduzido de dezembro de 2010 a outubro de 2012, na Reserva Particular de Patrimônio Natural (RPPN) do Serviço Social do Comércio (SESC), no município de Barão de Melgaço, Mato Grosso, Brasil. A RPPN possui uma área de 107.600 hectares, posicionada no interflúvio dos Rios Cuiabá e São Lourenço (Fig. 1).

Para os anos hidrológicos estudados, 2010/2011 e 2011/2012, a temperatura média anual foi 26°C, no verão, e 23°C, no inverno (Brandão et al., dados não publicados). A precipitação total anual foi de 1629 mm, no ano hidrológico de 2010/2011 (Brandão, 2012), e 1579 mm, no ano hidrológico de 2011/2012 (Brandão et al., dados não publicados). Do total anual, 1340 mm e 840 mm ocorreram durante os meses de dezembro a abril (Verão) dos anos hidrológicos de 2010/ 2011 e 2011 /2012, respectivamente.

Para realização da pesquisa, foram selecionadas quatro unidades de estudo distribuídas ao longo do gradiente de inundação e a jusante do Rio Cuiabá, em sentido perpendicular a sua margem esquerda. As altitudes entre estas unidades variaram de 126 a 144 metros, sendo uma inserida em área coberta por espécies vegetais típicas do Cerrado, denominada de Cordilheira, e as outras três localizadas em áreas cobertas por florestas monodominantes de Cambará (*Vochysia divergens* Pohl), também conhecidas como Cambarazal (Fig. 1).

A escolha destas unidades esta relacionado ao fato de já terem sido objeto de estudos a respeito dos solos, da flora e da fauna, cujos resultados podem contribuir ou ser complementados com o estudo da dinâmica da inundação.

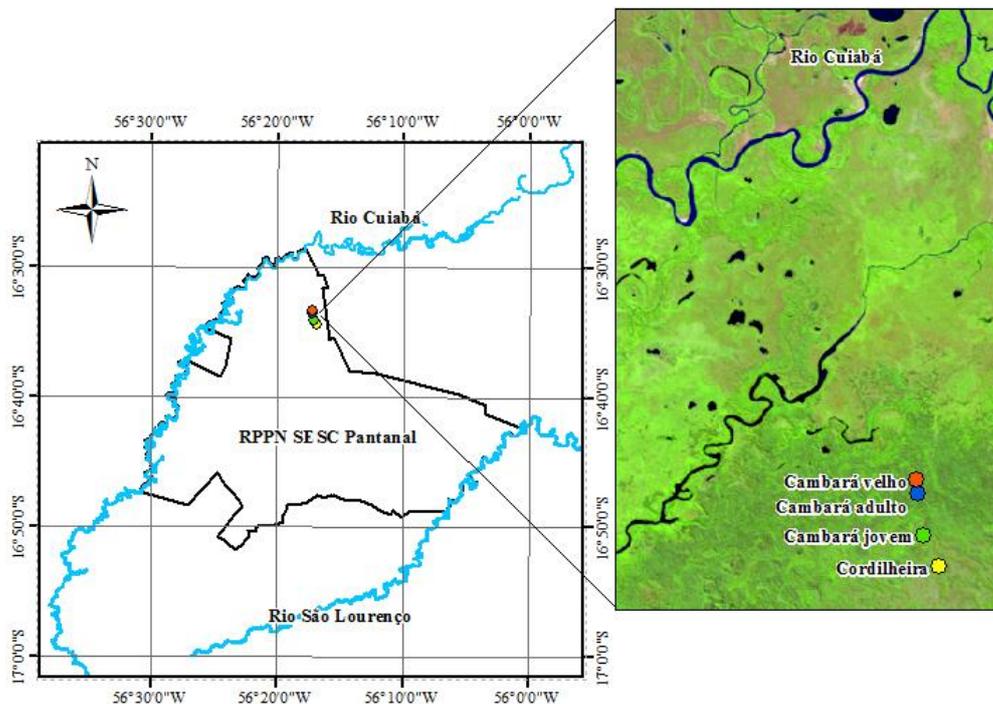


Fig. 1 Localização da RPPN SESC Pantanal e das unidades de estudo

A Cordilheira, unidade de estudo mais distante do Rio Cuiabá (10,4 km), foi assim chamada devido à presença de um cordão arenoso supostamente livre de inundação, exceto em grandes cheias (Junk et al., 1989). Esta unidade possui solo do tipo Planossolo Háplico Alftico Gleissólico (Milesi, 2010; Messias et al., 2013) e nela foi realizado o monitoramento do nível freático.

As unidades de estudo localizadas em áreas cobertas por florestas monodominantes de *Vochysia divergens* possuem solo do tipo Gleissolo Háplico Alumínico Neofluvisólico (Milesi, 2010), e são diferentes entre si pela estrutura de tamanho e idade da população de Cambará (Arieira & Cunha, 2012). Desta forma, em função da idade, conforme proposto por Arieira & Cunha (2012), e distância do rio Cuiabá, estas unidades foram denominadas de “Cambará jovem” (48 anos e 9,8 km), “Cambará adulto” (100 anos e 8,8 km) e “Cambará velho” (156 anos e 8,3 km). Nestas, além do monitoramento do nível freático, foi quantificada a variação da área inundada em um hectare (100 m x 100 m) de cada uma delas.

Para o monitoramento do nível freático, foi instalado em cada uma das unidades de estudo um poço de observação, perfurado até o alcance do lençol freático, sendo 4,7 metros na Cordilheira, 5,7 metros no Cambará jovem, 4,8 metros no Cambará adulto e 4,4 metros no Cambará velho. Em cada um dos poços foi colocado um sensor de nível (modelo WT-HR 2000, da TruTrack Data Loggers), os quais registraram o nível freático diariamente às 7 e 17 h.

Também foram realizadas campanhas de campo a cada quinze dias, para a coleta dos dados registrados pelos sensores e realização de medidas diretas do nível freático existente nos poços de observação. Os níveis freáticos, com valores de altura igual ou abaixo daquela equivalente ao nível da superfície do solo, foram denominados “nível freático” e os registrados acima “nível de inundação”.

Os dados registrados pelos sensores foram avaliados através de equações lineares significativas ($p \leq 0,01$) que apresentaram coeficientes angulares próximo a 1 (um), interceptos próximos a zero e altos valores de coeficientes de determinação ($R^2 > 0,96$). Estas equações foram obtidas a partir da análise de regressão linear entre as medidas diretas realizadas nos poços de observação e os dados registrados pelos sensores.

Através de uma seção de réguas fluviométricas, instaladas no Rio Cuiabá pelo SESC Pantanal, na região de Porto Cercado, foram obtidos para os anos hidrológicos de estudo dados diários as 7 e 17 horas do nível de água do Rio Cuiabá, conforme as orientações de operação de estações hidrométricas da Agência Nacional de Águas (<http://hidroweb.ana.gov.br/>).

Para um maior detalhamento das análises deste estudo, os anos hidrológicos foram divididos em quatro períodos nomeados “enchente” (novembro a janeiro), “cheia” (fevereiro a abril), “vazante” (maio a julho) e “estiagem” (agosto a outubro). Desta forma, com os dados de nível freático das unidades de estudo e do nível de água do Rio Cuiabá, foram realizados os seguintes procedimentos:

- a) Representação gráfica da variação temporal dos níveis freáticos nas unidades de estudo, ao longo dos anos hidrológicos de 2010/2011 e 2011/2012;
- b) Correlação entre os níveis freáticos das unidades de estudo, sendo determinados os coeficientes de Pearson para os períodos de enchente, cheia, vazante e estiagem;
- c) Correlação e regressão linear dos níveis freáticos e níveis de inundação das unidades de estudo com o nível de água do Rio Cuiabá, para os períodos de enchente, cheia, vazante e estiagem, sendo determinados os coeficientes de Pearson, coeficientes de determinação e equações, representando a relação linear existente entre estas variáveis.

Para a quantificação da variação da área inundada nas unidades de estudo “Cambará jovem”, “Cambará adulto” e “Cambará velho”, foram realizados os seguintes passos:

- a) Levantamento planialtimétrico com o uso de GPS Geodésico (modelo GTR-A^{BT}, da Techgeo);
- b) Elaboração de um Modelo Digital de Elevação de Terreno - MDE, para uma área de 1 ha de cada uma das unidades de estudo, com o uso do *Shuttle Radar Topography Mission* – SRTM, disponibilizado no banco de dados geomorfométricos do Brasil, do projeto Topodata, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais –

INPE. Estes dados, com o uso do software ArcGis, versão 10.1, foram mesclados com os do levantamento planialtimétrico e interpolados através da Krigagem, sendo gerado um MDE com resolução espacial de 1 metro;

b) Reclassificação do MDE, com o uso dos valores de nível freático, deixando-o composto por duas classes, uma representando o intervalo de altitude em que as áreas se encontravam inundadas (classe: Área inundada) e a outra o intervalo de altitude em que as áreas se encontravam secas (classe: Área não inundada);

c) Quantificação das áreas classificadas como “Área inundada” e “Área não inundada”;

d) Correlação entre as áreas inundadas das unidades de estudo, sendo determinados os coeficientes de Pearson;

e) Correlação e regressão linear das áreas inundadas com o nível de água do Rio Cuiabá. Foram determinados os coeficientes de Pearson, coeficientes de determinação e equações, representando a relação linear existente entre estas variáveis.

Para a realização das análises estatísticas e elaboração de suas respectivas representações gráficas foi utilizado o software SPSS Statistics, versão 20, da IBM.

Resultados e Discussão

Os maiores níveis freáticos foram registrados para o ano hidrológico de 2010/2011 (Tabela 1), com ocorrência de inundação em todas as unidades de estudo, exceto a Cordilheira (Fig. 2).

Nos períodos estudados, o aumento do nível freático ocorreu de forma intensa a partir do final do período de enchente e durante todo o período de cheia (Fig. 2), atingindo no Cambará velho o maior nível de inundação com valores iguais a 1,65 metros no mês de abril de 2011 e 0,85 metros no mês de março de 2012 (Tabela 1). Neste mesmo período, também foram observados os maiores níveis de água do Rio Cuiabá, sendo 4,51 metros, no ano de 2011, e 3,98 metros, no ano de 2012.

A precipitação regional total acumulada foi de 1629 mm no ano hidrológico de 2010/2011 (Brandão, 2012) e 1579 mm no ano hidrológico de 2011/2012 (Brandão et al., dados não publicados), dos quais 1340 mm e 840 mm ocorreram durante os períodos de enchente e cheia dos anos de 2010/2011 e 2011/2012, respectivamente. Portanto, durante o período de enchente e cheia do ano hidrológico de 2011/2012, ocorreu uma redução de 37% na quantidade de chuvas e, além disto, os níveis máximos de inundação e quantidade de

dias inundados nas unidades de estudo foram menores (Tabela 1). Consequentemente, a Cordilheira e o Cambará jovem não inundaram (Fig. 2).

A diminuição do nível freático nas unidades de estudo ocorreu de forma gradual ao longo dos períodos de vazante, estiagem e início do período de enchente, sendo este último aquele em que foram registrados os menores valores do nível freático (Fig. 2). Além disto, durante os períodos de cheia, vazante e estiagem as variações dos níveis freáticos das unidades foram similares (Fig. 2).

Tabela 1 Dados do monitoramento dos níveis freáticos nas unidades de estudo, para os anos hidrológicos de 2010/2011 (1º) e 2011/2012 (2º)

Dados	Unidade de estudo							
	Cordilheira		Cambará jovem		Cambará adulto		Cambará velho	
	1º	2º	1º	2º	1º	2º	1º	2º
Nível freático máximo (m)	4,41	4,09	6,47	4,22	6,39	5,64	6,12	5,32
Nível máximo de inundação (m)	0	0	0,77	0	1,59	0,84	1,65	0,85
Quantidade de dias inundados	0	0	46	0	109	77	104	77

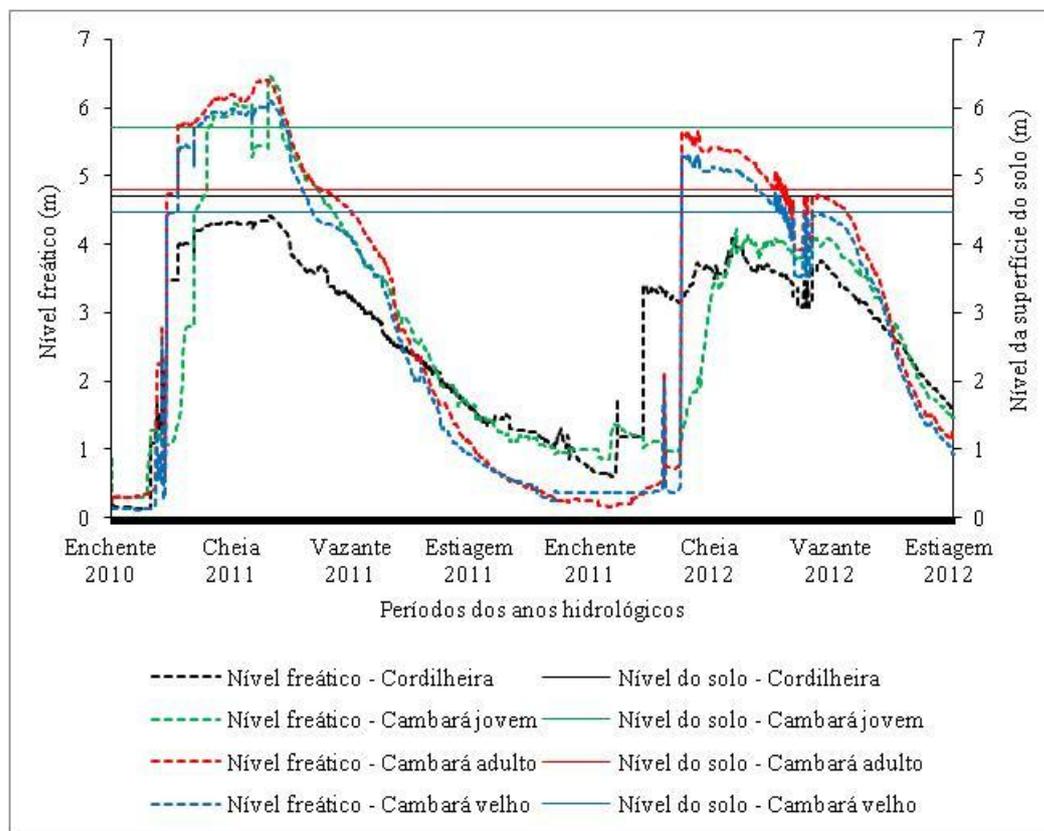


Fig. 2 Variação temporal dos níveis freáticos das unidades de estudo: valores acima do nível da superfície do solo correspondem ao nível de inundação

Entre os níveis freáticos monitorados nas unidades de estudo, foi constatada correlação positiva significativa ($p \leq 0,01$) em todos os períodos estudados. No entanto, a maior incidência de correlações maiores que 0,8 ocorreram nos períodos de cheia, vazante e estiagem, confirmando assim a variação similar dos níveis freáticos durante estes períodos (Tabela 2).

Tabela 2 Coeficientes de correlação entre os níveis freáticos das unidades de estudo, para os anos hidrológicos de 2010/2011 e 2011/2012

Enchente			
Unidade de estudo	Cambará jovem	Cambará adulto	Cambará velho
Cordilheira	0,532**	0,515**	0,550**
Cambará jovem	-	0,133*	0,198**
Cambará adulto	-	-	0,940**
Cheia			
Unidade de estudo	Cambará jovem	Cambará adulto	Cambará velho
Cordilheira	0,881**	0,967**	0,981**
Cambará jovem	-	0,892**	0,902**
Cambará adulto	-	-	0,989**
Vazante			
Unidade de estudo	Cambará jovem	Cambará adulto	Cambará velho
Cordilheira	0,859**	0,941**	0,957**
Cambará jovem	-	0,920**	0,891**
Cambará adulto	-	-	0,992**
Estiagem			
Unidade de estudo	Cambará jovem	Cambará adulto	Cambará velho
Cordilheira	0,962**	0,976**	0,978**
Cambará jovem	-	0,981**	0,975**
Cambará adulto	-	-	0,987**

** e * - significativos ao nível de 1% e 5% de probabilidade.

Com exceção do período de enchente, para todos os demais períodos dos anos hidrológicos estudados foi possível estabelecer entre o nível freático das unidades de estudo e o nível de água do Rio Cuiabá, modelos de regressão linear com equações significativas ($p \leq 0,05$) e $R^2 > 0,63$ (Fig. 3).

Isto significa que com a inundação e conexão dos cursos d'água na planície, o nível de água do Rio Cuiabá passa a ser fator determinante da variação do nível freático das unidades de estudo, no entanto, durante o período de enchente não influencia expressivamente no início da ascensão do nível freático (Fig. 3).

Esta constatação corrobora com o descrito sobre o efeito do balanço hídrico vertical no fluxo de água entre os canais e as planícies de inundação, onde ao longo do Rio Cuiabá, em tempos de chuva (período de

enchente), o equilíbrio da água vertical sobre a várzea é predominantemente positiva, representando uma entrada de água para a planície de inundação (Paz et al., 2014). Sendo assim, a ausência de relação linear entre o nível freático das unidades de estudo e o nível de água do Rio Cuiabá no período de enchente, pode estar relacionada à entrada de água vertical na planície de inundação, onde a quantidade de chuva aliada às características pedológicas existentes na planície seriam os promotores do início da ascensão do nível freático.

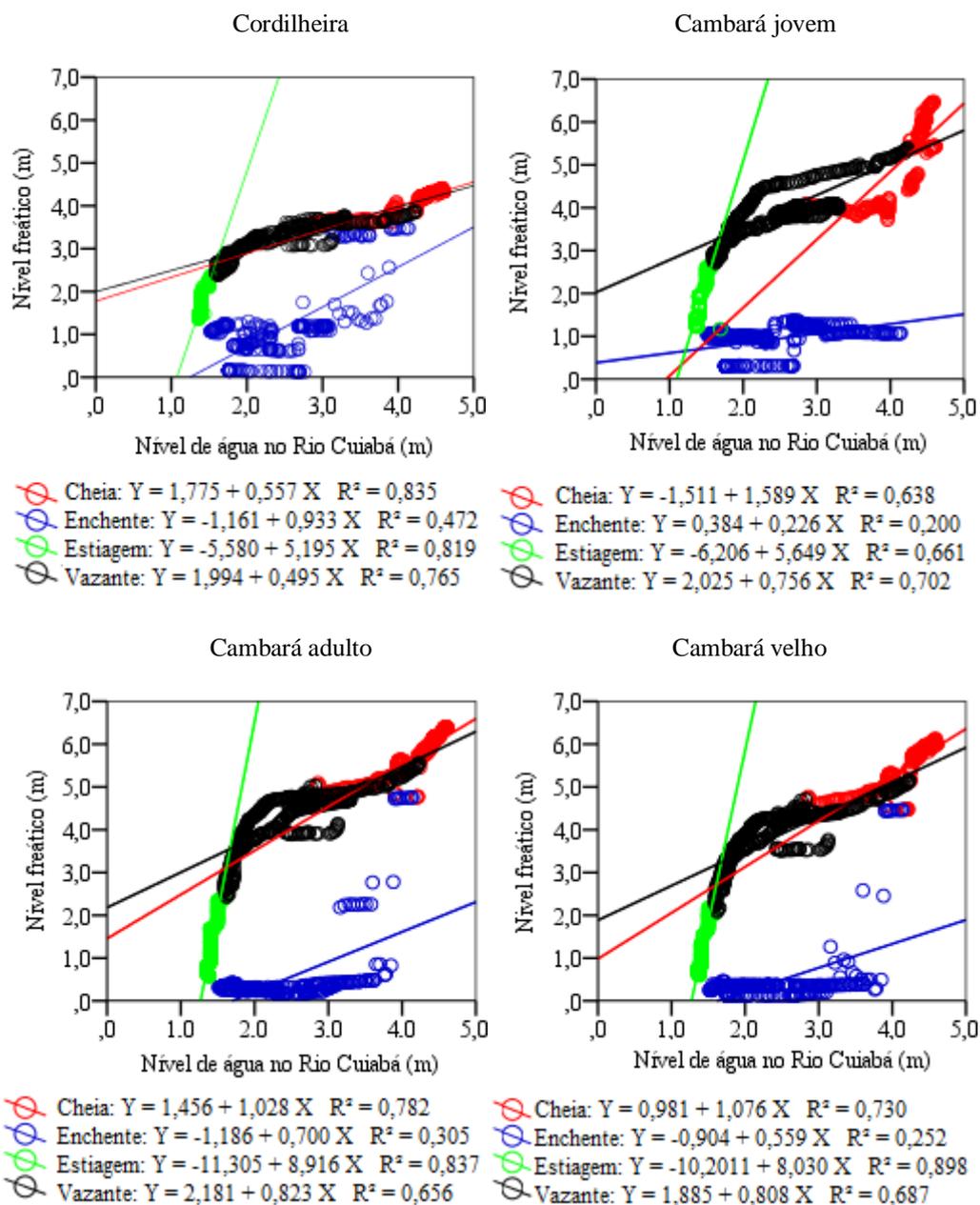


Fig. 3 Regressão linear entre o nível freático das unidades de estudo e o nível de água do Rio Cuiabá, com suas respectivas linhas de tendência e equações para os períodos de cheia, enchente, estiagem e vazante

As equações possibilitam estimativas do nível freático das unidades de estudo a partir do nível de água do Rio Cuiabá, no entanto, é necessário considerar que o nível de água do rio se encontrava entre intervalos de valores de 1,52 a 4,14 metros, no período de enchente, 2,86 a 4,61 metros, no período de cheia, 1,60 a 4,23 metros, no período de vazante e 1,36 a 1,58 metros, no período de estiagem.

Para o Cambará jovem, no período de cheia, e para os Cambarás adulto e velho, nos períodos de cheia e vazante, também foi possível estabelecer entre o nível de inundação e o nível de água do Rio Cuiabá, modelos de regressão linear, com equações significativas ($p \leq 0,05$) e $R^2 > 0,66$ (Fig. 4).

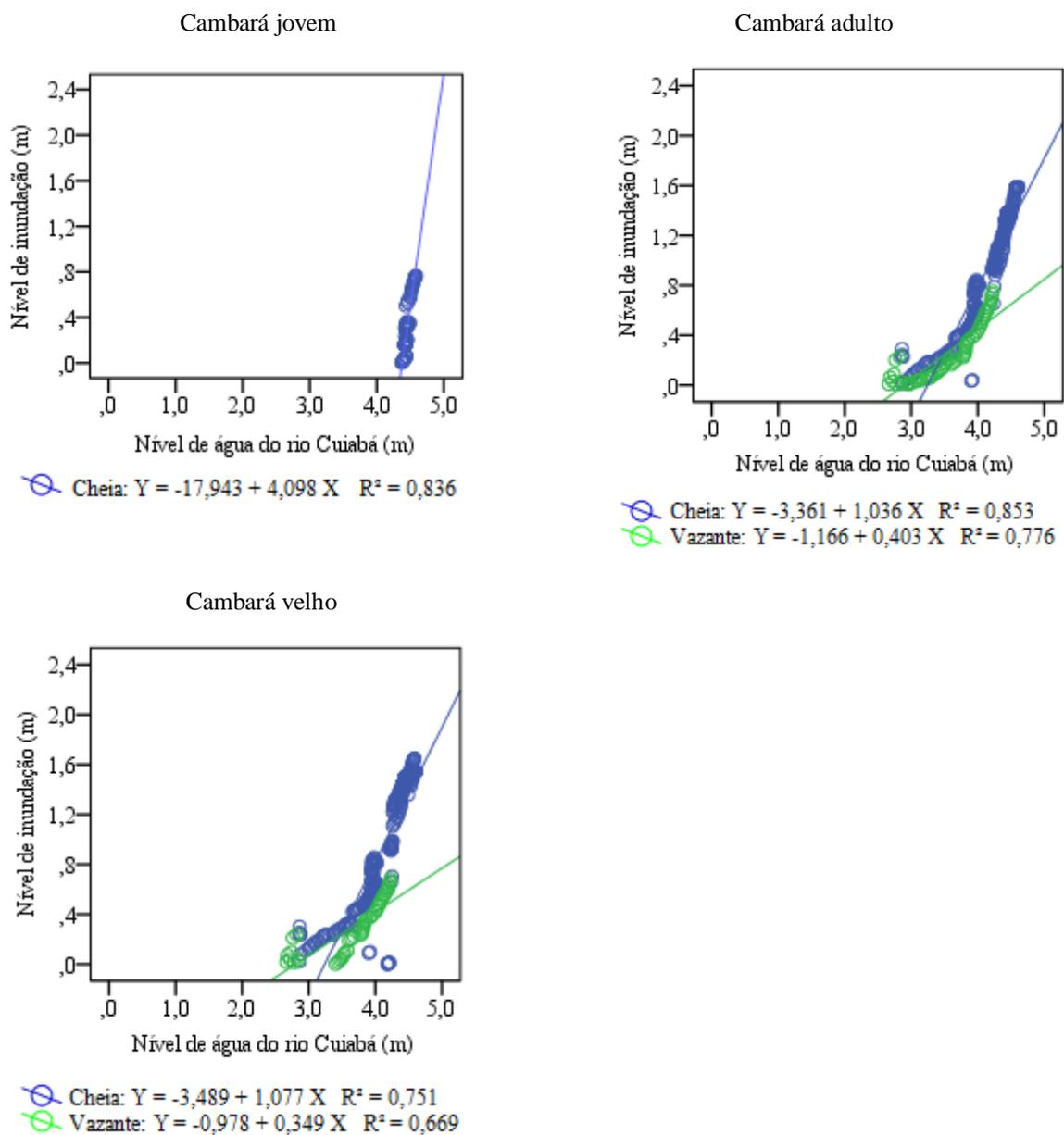


Fig. 4 Regressão linear entre o nível de inundação das unidades de estudo e o nível de água do Rio Cuiabá, com suas respectivas linhas de tendência e equações para os períodos de cheia e vazante

Estas equações possibilitam estimativas do nível de inundação nas unidades de estudo, devendo ser considerado que a equação para o período de cheia do Cambará jovem foi obtida quando o nível de água do Rio Cuiabá se encontrava no intervalo de 4,37 a 4,61 metros. Já as equações dos Cambarás adulto e velho, quando o nível de água do rio se encontravam no intervalo de 2,86 a 4,61 metros, no período de cheia, e 2,66 a 4,23 metros, no período de vazante.

No Cambará jovem, houve inundação durante 46 dias do período de cheia do ano hidrológico de 2010/2011, logo, não se estabeleceu uma relação linear do nível de inundação desta unidade com o nível de água do Rio Cuiabá no período de vazante.

A correlação observada entre a quantidade de áreas inundadas das unidades de estudo, sugere que com a inundação existe conexão entre elas e, logo, a área inundada de uma exerce influência sobre a área inundada de outra (Tabela 3).

Tabela 3 Coeficientes de correlação entre a quantidade de áreas inundadas das unidades de estudo

Cheia		
Unidade de estudo	Cambará adulto	Cambará velho
Cambará jovem	0,848**	0,664**
Cambará adulto	-	0,922**
Vazante		
Unidade de estudo	Cambará adulto	Cambará velho
Cambará jovem	0,998**	0,737**
Cambará adulto	-	0,738**

** - significativos ao nível de 1% de probabilidade.

Para os períodos de cheia e vazante, dos anos hidrológicos estudados, também foi observado que existe relação entre a área inundada das unidades de estudo e o nível de água do Rio Cuiabá, possibilitando a obtenção de modelos de regressão linear constituídos por equações significativas ($p \leq 0,05$) e $R^2 > 0,63$ (Fig. 5). Estas equações permitem estimar a área inundada das unidades de estudo a partir do nível de água do Rio Cuiabá, sendo importante considerar que para o estabelecimento das mesmas o nível de água do rio se encontrava entre os intervalos de valores exibidos na Tabela 4.

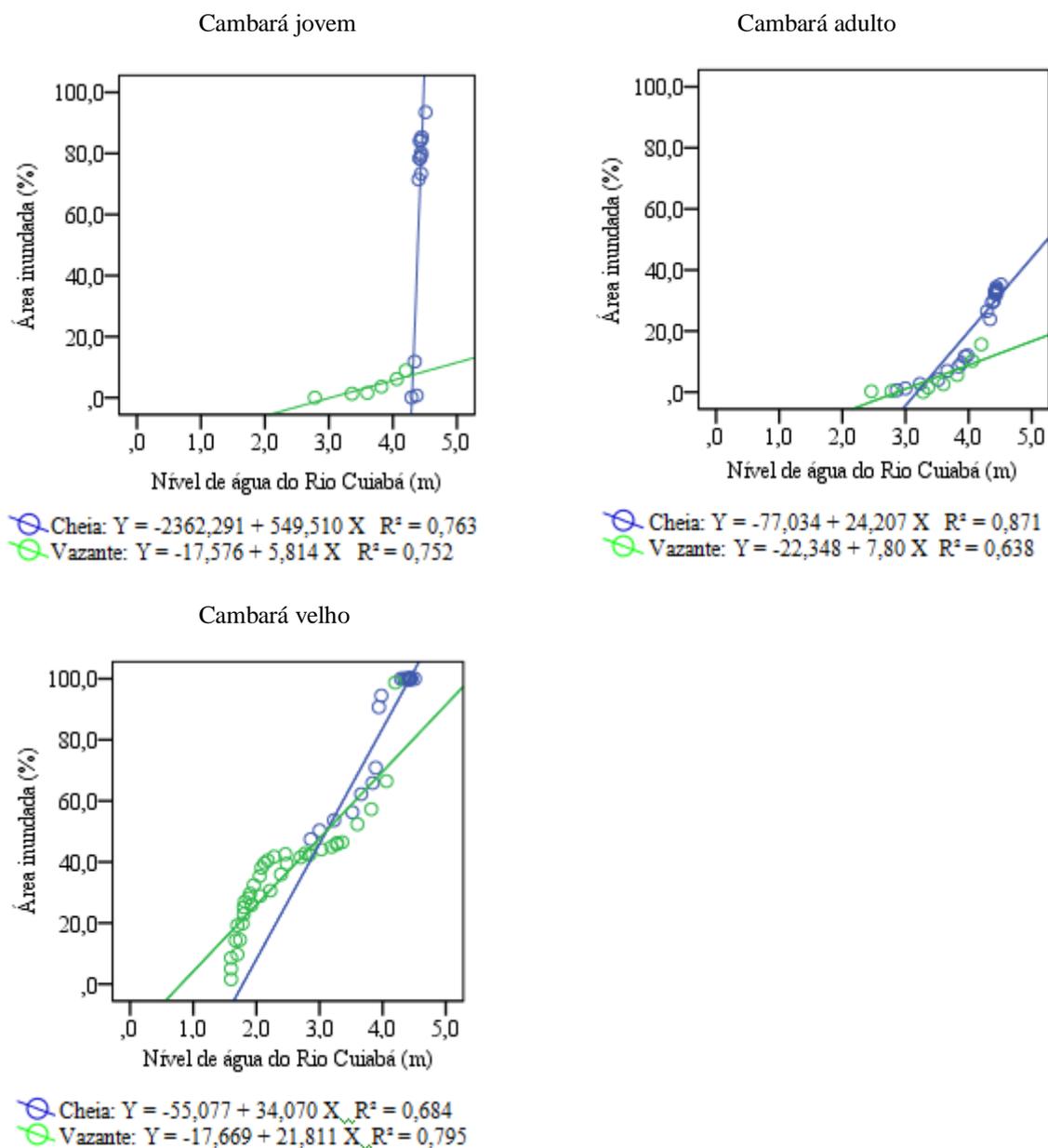


Fig. 5 Regressão linear entre a quantidade de áreas inundadas das unidades de estudo e o nível de água do rio Cuiabá, com suas respectivas linhas de tendência e equações para os períodos de cheia e vazante

Tabela 4 Intervalo de valores do nível de água do Rio Cuiabá, para os quais se obtiveram os modelos de regressão linear expostos na figura 5

Período	Nível de água do Rio Cuiabá (metros)		
	Cambará jovem	Cambará adulto	Cambará velho
Cheia	4,37 a 4,61	2,86 a 4,61	2,86 a 4,61
Vazante	3,36 a 4,20	2,46 a 4,20	1,60 a 4,20

A área inundada é um dos componentes da dinâmica de inundação e pode ser representado por modelos hidrológicos já descritos para a planície do Pantanal (Castro et al., 2014). Este componente varia espacialmente em função da hidrografia do rio e canais (Girard et al., 2010).

No período de cheia, a partir de 2,86 metros de nível de água, o Rio Cuiabá apresentou relação com o nível de inundação das unidades de estudo. Girard et al. (2010), no estudo da variabilidade espacial e temporal dos níveis de água em um transecto de uma planície alagável perpendicular ao Rio Cuiabá, constatou, para o mesmo período do ano hidrológico, a existência de mesma relação, porém a partir do momento que o nível de água do rio alcançou 3 metros, ou seja, uma diferença de 14 centímetros entre os valores.

No estudo de Girard et al. (2010), a abordagem ficou limitada a relação do nível de água do Rio Cuiabá com o nível de inundação que foi monitorado em um transecto da planície de inundação, sendo assim, os resultados deste trabalho complementam os de Girard et al. (2010), pois possibilitaram constatar que, além do nível de inundação, nível freático e área inundada na planície também possuem relação com o Rio Cuiabá, sendo isto observado não somente durante o período de cheia, como também durante os períodos de vazante e estiagem, até o momento em que o rio se encontrava com no mínimo com 1,36 metros de nível de água.

No ano hidrológico de 2010/2011, no Cambará jovem, foi observado de um dia para outro uma variação brusca na quantidade de área inundada, passando de 0,7% de área inundada para 73,4% em 03/03/2011, quando o nível de água do rio era 4,40 metros, e de 71,4% para 11,8% em 28/04/2011, quando o nível de água do rio era 4,34 metros. Isto ocorreu no período de cheia e as unidades de estudo Cambará adulto e Cambará velho já se encontravam parcialmente (30%) e totalmente inundados, respectivamente. No ano hidrológico de 2011/2012, o Cambará jovem não inundou. Neste ano o nível de água máximo alcançado pelo Rio Cuiabá foi 3,98 metros e as unidades de estudo Cambará adulto e Cambará velho já se encontravam parcialmente inundados, 12 e 94%, respectivamente. Este cenário permite inferir que o Cambará jovem inunda somente a partir do momento que o Rio Cuiabá atinge 4,40 metros e as unidades de estudo Cambará adulto e Cambará velho estando inundadas atuam como uma “ponte”, possibilitando conexão do Cambará jovem com o Rio Cuiabá.

Além da conexão com Rio Cuiabá, a pedologia pode explicar o comportamento da dinâmica da água no Cambará jovem, uma vez que esta unidade, apesar de ter o solo classificado como Gleissolo Háplico Alumínico Neofluviossólico (Milesi, 2010), possui características favoráveis à perda de água, pois se encontra a 750 metros de distância da Cordilheira, em uma área de transição com o solo classificado como Planossolo Háplico Alítico Gleissólico (Milesi, 2010; Messias et al., 2013), e de 0 a 20 e de 20 a 60 centímetro de profundidade, possui solo com classe textural franco-arenosa e franco-argilo-arenosa, respectivamente (Borges et al., dados não publicados).

O estabelecimento de equações distintas para cada unidade de estudo está associado à distância delas em relação ao Rio Cuiabá. O nível e a área de inundação associada à distância e ao nível do Rio Cuiabá pode exercer influência direta sobre a dinâmica da vegetação, fatores que auxiliam na compreensão do processo de distribuição e da monodominância de *V. divergens* de diferentes idades na planície do Pantanal.

A descrição do comportamento do nível freático, do nível de inundação e da proporção de áreas inundadas nas unidades de estudo, relacionada ao nível de água do rio Cuiabá, corrobora com as informações existentes em trabalhos como o de Padovani (2010) e de Paz et. al. (2014). Padovani (2010) afirma que na RPPN SESC Pantanal a inundação ocorre pelo transbordamento do rio Cuiabá e dos rios das sub-regiões vizinhas, como o rio São Lourenço, sendo ainda a bacia a montante receptora de grande quantidade de precipitação no período chuvoso. As unidades de estudo se encontram próximas ao Porto Cercado, região da planície alagável do Rio Cuiabá que se localiza em uma área regularmente inundada por causa do transbordamento do canal principal do rio, mas que não armazena água ao longo do tempo, portanto, seca completamente após a inundação (Paz et. al., 2014).

A principal contribuição deste trabalho foi o detalhamento da dinâmica do nível freático, nível de inundação e área inundada, por meio do monitoramento destas variáveis, realizado ao longo de dois anos hidrológicos, ou seja, contemplando todo o ciclo da dinâmica da inundação (enchente, cheia, vazante e estiagem). Foram definidos modelos de regressão linear que, dentro de determinados limites de nível de água do Rio Cuiabá e período do ano hidrológico, podem ser utilizadas para fazer análises de series temporais a respeito dos componentes da dinâmica da inundação.

Tendo em vista a constatação de que no período de enchente não houve relação entre o nível freático e o nível de água do Rio Cuiabá, tornam-se necessários estudos que objetivem comprovar e explicar se fatores como as características pedológicas e o regime pluviométrico são determinantes para o início do pulso de inundação, o que contribuiria para a descrição do modelo de inundação no Pantanal descrito por Euliss et al. (2004).

Conclusões

1) Existe correlação significativa entre o nível de água do Rio Cuiabá e o nível freático, nível de inundação e área inundada das unidades de estudo, desde que o nível de água do Rio Cuiabá seja igual ou maior que 1,36 metros.

2) Para todos os períodos dos anos hidrológicos, exceto o de enchente, foi possível estabelecer para as unidades de estudo modelos de regressão linear que permite estimar o nível freático, o nível de inundação e a área inundada a partir do nível de água do Rio Cuiabá.

Agradecimentos Ao Serviço Social do Comércio (SESC) e toda a equipe de guarda parques e auxiliares da RPPN SESC Pantanal, pelo apoio durante as campanhas de campo, aos técnicos da Universidade Federal de Mato Grosso e estudantes da graduação e pós-graduação que auxiliaram nas viagens de campo. Ao Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração (PELD)/ Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento do projeto e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos.

Referências Bibliográficas

Arieira, J. & C. N. Cunha, 2012. Estrutura Populacional do Cambará (*Vochysia divergens* Pohl, vochysiaceae), espécie monodominante em floresta inundável no pantanal mato-grossense. *Oecologia Australis* 16: 819-831.

Barbosa, C. C. F. B., E. M. L. de M. Novo, J. M. Melack, R.M. Freitas & W. P. Filho, 2006. Metodologia de análise da dinâmica de área e volume inundável: o exemplo da várzea do lago grande de curuai. *Revista Brasileira de Cartografia* 1: 1-10.

Bates, P. D., J. C. Neal, D. Alsdorf & G. J. P. Schumann, 2014. Observing Global Surface Water Flood Dynamics. *Surveys in Geophysics* 35: 839-852.

Brandão, A. A., 2012. Dinâmica temporal do efluxo de CO₂ do solo em área de cerrado no Pantanal matogrossense. Universidade Federal de Mato Grosso, Master thesis dissertation: 73pp.

Benke, A. C., I. Chaubey, G. M. Ward & E. L. Dun, 2000. Flood Pulse Dynamics of an Unregulated River Floodplain in the Southeastern U.S. Coastal Plain. *Ecology* 81: 2730-2741.

Castro, A. A., A. Cuartas, M. Coe, A. Koumrouyan, P. Panday, P. Lefebvre, C. Padovani, M. Costa, G. S. Oliveira, 2014. Modeling the hydrological patterns on Pantanal wetlands, Brazil. In: American Geophysical Union, Fall Meeting, San Francisco.

Cunha, C. N. & W. J. Junk, 2000. The impact of flooding on distribution of woody plant communities in the Pantanal of Poconé, Mato Grosso, Brazil. In Workshop on Neotropical Ecosystems – Achievements and Prospects of Cooperative Research Hamburg, German-Brazilian: 3-8.

Davidson, T. A., A. W. Mackay, P. Wolski, R. Mazebedi, M. Murray-Hudson & M. Todd, 2012. Seasonal and spatial hydrological variability drives aquatic biodiversity in a flood-pulsed, sub-tropical wetland. *Freshwater Biology* 57: 1253-1265.

Euliss, Jr. N. H., J. W. LaBaugh, L. H. Fredrickson, D. M. Mushet, M. K. Laubhan, G. A. Swanson, T. C. Winter, D. O. Rosenberry & R. D. Nelson, 2004. The wetland continuum: a conceptual framework for interpreting biological studies. *Wetlands* 24: 448-458.

Fantin, C. I., P. Girard, P. Zeilhofer & W. Collischonn, 2010. Dinâmica de inundação. In Fernandes, I. M., C.A. Signor, & J. Penha (orgs.), Centro de Pesquisa do Pantanal, Cuiabá: 25-36.

Girard, P., I. Fantin-Cruz, S. M. L. Oliveira & S. K. Hamilton, 2010. Small-scale spatial variation of inundation dynamics in a floodplain of the Pantanal (Brazil). *Hydrobiologia* 638: 223-233.

Gradella, F. S, 2012. Morfologia do relevo da porção sul do megaleque fluvial do Taquari, Pantanal da Nhecolândia, Brasil. Universidade Estadual de São Paulo. Tese de Doutorado: 80pp.

Junk, W. J., P. B. Bailey & R. E. Sparks, 1989. The flood pulse concept in riverfloodplain systems. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* 106: 10-127.

Messias, I. A. M., E. G. Couto, R. S. S. Amorim, M. S. Johnson & O. B. P. Junior, 2013. Monitoramento contínuo do potencial redox e de variáveis complementares em ambiente hipersazonal no pantanal norte. *Revista Brasileira Ciência do Solo* 37: 632-639.

Milesi, J., 2010. Análise temporal do carbono orgânico de solos sob diferentes fitofisionomias do pantanal mato-grossense. Universidade Federal de Mato Grosso, Master thesis dissertation: 56pp.

Murray-Hudson, M., P. Wolski, F. Murray-Hudson, M. T. Brown & K. Kashe, 2014. Disaggregating, Hydroperiod: Components of the Seasonal Flood Pulse as Drivers of Plant Species Distribution in Floodplains of a Tropical Wetland. *Wetlands* 34: 927-942.

Neiff, J. J., 1999. El regimen de pulsos em rios y grandes humedales de Sudamerica. In: Malvarez, A. I. (ed.), *Tópicos sobre humedales subtropicales y templados de Sudamerica*, Buenos Aires: 97-146.

Padovani, C. R., 2010. Dinâmica espaço-temporal das inundações do Pantanal. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Centro de Energia Nuclear na Agricultura. Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado: 174pp.

Paz, A. R., W. Collischonn, J. M. Bravo, P. D. Bates & C. Baugh, 2014. The influence of vertical water balance on modelling Pantanal (Brazil) spatio-temporal inundation dynamics. *Hydrological Processes* (Print) 28: 3539-3553.

Resende, E. K., 2008. Pulso de inundação: processo ecológico essencial à vida no Pantanal. Embrapa Pantanal, Corumbá.

Zarista, S., 2013. Monitoramento da dinâmica de inundação no Pantanal norte com uso de índices evi e lswi do modis. Cuiabá: Universidade Federal de Mato Grosso, Master thesis dissertation: 61pp.

CAPÍTULO 2

Influência das características físicas e físico-hídricas do solo e da precipitação na dinâmica da inundação em fitofisionomias do Pantanal mato-grossense

Resumo: A dinâmica da inundação é caracterizada pela intensidade, duração, área inundada e frequência de inundação, mas o comportamento destas variáveis depende da precipitação e das características do solo. Considerando a necessidade de descrever esta relação, o objetivo deste estudo foi correlacionar a variação da inundação e do nível freático em fitofisionomias do Pantanal mato-grossense com a precipitação e as características físicas e físico-hídricas do solo. A pesquisa foi realizada em uma área de Cordilheira e quatro de Cambarás, todas localizadas na RPPN SESC Pantanal, Barão de Melgaço, MT, Brasil. Por meio da análise de componentes principais e correlação de Pearson, foi verificado que a diferença da variação do nível de inundação entre as unidades de estudo está associada aos atributos físicos e físico-hídricos até a profundidade de 80 cm do solo, assim como o nível freático, porém este último a partir de 80 cm de profundidade. No período de enchente, até a profundidade de 40 cm, a precipitação exerceu influência positiva sobre o processo de umedecimento da camada superficial do solo, sendo um indicativo de que a precipitação é fator determinante para o início do pulso de inundação das unidades de estudo.

Palavras-chave: nível de inundação, nível freático, perfil do solo, umidade

Introdução

No Pantanal, as inundações periódicas anuais e/ou plurianuais são provocadas pela associação entre a baixa declividade do relevo, chuvas periódicas e a predominância de litologias sedimentares recentes que dificultam o escoamento das águas superficiais (Brasil, 1974, 1982; Silva, 1990). Com a diversidade de sedimentos, a planície é constituída por regiões que apresentam naturalmente uma dinâmica hídrica própria, e este conjunto é determinante para a definição dos processos pedogenéticos que atuam na região (Couto et al., 2002).

As inundações no Pantanal estão diretamente relacionadas ao regime de precipitação pluviométrica (Cardoso et al, 2010; Paz et al., 2011), sendo que as cheias na parte Norte, nas regiões de Cuiabá, Santo

Antônio de Leverger e Barão de Melgaço, ocorrem durante o período mais chuvoso, de janeiro a março, atingindo a parte Sul, na região de Corumbá, em abril, maio e junho (Brasil, 1974, 1982; Silva, 1990).

O acúmulo de águas pluviais pelo aporte de água proveniente do planalto adjacente, pelo lento e difícil escoamento superficial das águas que extravasam dos rios, corixos e vazantes, e pela elevação do nível freático também são fatores determinantes da inundação (Silva, 1995). O ciclo periódico de seca e inundação, chamado também de pulso de inundação (Junk et al., 1989), confere à planície características biogeoquímicas e ecológicas particulares que sustentam serviços ambientais vitais (Calheiros e Oliveira, 2010). Associado ao regime hidrológico, o ciclo provoca os processos de expansão, contração e fragmentação dos sistemas aquáticos, o que caracteriza uma alta complexidade estrutural (Fantin-Cruz et al., 2010).

Devido à sua história geomorfológica, à sua localização às margens de três grandes domínios fitogeográficos e também à influência dos seus principais rios, o Pantanal apresenta uma notável heterogeneidade de ambientes. Essa heterogeneidade impossibilita uma caracterização generalizada, o que implica na presença de diversos pantanais ou áreas passíveis de individualização por características naturais próprias em termos de duração dos pulsos de inundação, cobertura vegetal, persistência da umidade ao longo do ano, granulometria dos sedimentos e fertilidade dos solos (Penatti, 2014).

Os solos do Pantanal, influenciados pela natureza do material de origem e pelo regime de inundações periódicas a que estão submetidos, têm características físico-hídricas e químicas diferenciadas, desde a extrema pobreza em bases trocáveis à saturação em sódio bastante elevada, constituição essencialmente arenosa à ocorrência de grandes quantidades de argilas expansivas, mudanças texturais abruptas em profundidade e outros (Santos et al., 1997).

O conhecimento do regime pluviométrico e sua influência sobre a dinâmica da inundação, das inter-relações existentes entre solo e fatores hidrológicos são de extrema importância para o monitoramento dos impactos causados pelo excesso ou falta prolongada das chuvas nas diversas sub-regiões do Pantanal. A geração de conhecimentos e tecnologias deve formar uma base técnico-científica de referência para as ações de manejo dentro dos princípios da sustentabilidade (Calheiros e Fonseca Jr., 1996), pois a inundação interfere em atividades socioeconômicas como o turismo e atividades agropecuárias (Moraes et al, 2013).

A dinâmica da inundação é caracterizada pela intensidade, duração, área inundada e a frequência de inundação (Hamilton, 2002). No entanto, o comportamento destas variáveis pode variar em função da precipitação e da difícil drenagem da água das chuvas através do solo (Messias, 2011). Ao estimar o balanço hídrico vertical na planície do Pantanal, Paz et al. (2014) afirmou que o processo hídrico pode ser melhor

caracterizado a partir de variáveis como a cobertura da vegetação e tipos de solo. Embora a inundação esteja associada ao nível do rio, também pode ser fortemente influenciado pela quantidade de água armazenada no solo antes da inundação e pela chuva local (Chen et al. 2013). Neste contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar a relação entre a dinâmica da inundação em fitofisionomias do Pantanal mato-grossense com as características físico-hídricas do solo e precipitação regional.

Material e Métodos

O presente trabalho foi conduzido de dezembro de 2010 a outubro de 2012, na Reserva Particular de Patrimônio Natural (RPPN) do Serviço Social do Comércio (SESC), no município de Barão de Melgaço, Mato Grosso, Brasil. A RPPN possui uma área de 107.600 hectares, posicionada no interflúvio dos Rios Cuiabá e São Lourenço (Fig. 1).

Para os anos hidrológicos estudados, 2010/2011 e 2011/2012, a temperatura média anual foi 26°C, no verão, e 23°C, no inverno (Brandão et al., dados não publicados). A precipitação total anual foi de 1629 mm, no ano hidrológico de 2010/2011 (Brandão, 2012), e 1579 mm, no ano hidrológico de 2011/2012 (Brandão et al., dados não publicados). Do total anual, 1340 mm e 840 mm ocorreram durante os meses de dezembro a abril (Verão) dos anos hidrológicos de 2010/ 2011 e 2011 /2012, respectivamente.

Para realização da pesquisa, foram selecionadas cinco unidades de estudo distribuídas ao longo do gradiente de inundação e a jusante do Rio Cuiabá, em sentido perpendicular a sua margem esquerda. As altitudes entre estas unidades variaram de 126 a 144 metros, sendo uma inserida em área coberta por espécies vegetais típicas do Cerrado, denominada de Cordilheira, e as outras três localizadas em áreas cobertas por florestas monodominantes de Cambará (*Vochysia divergens* Pohl), também conhecidas como Cambarazal (Fig. 1).

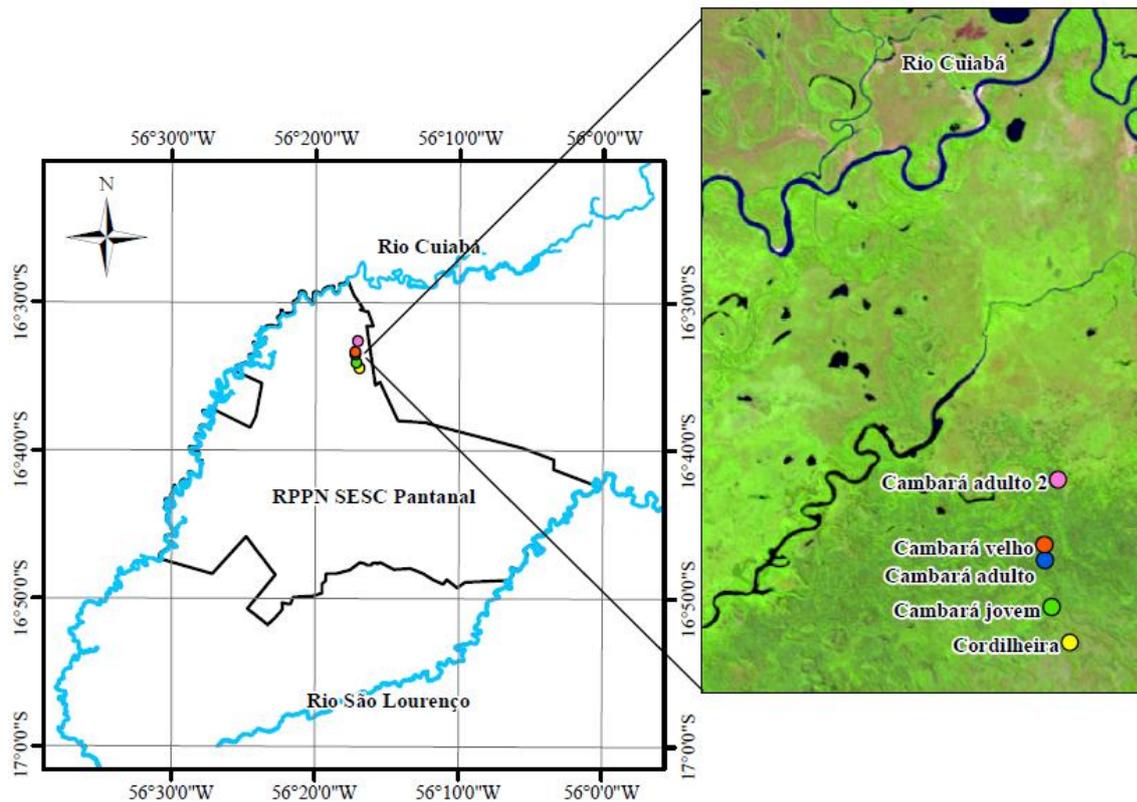


Fig. 1 Localização da RPPN SESC Pantanal e das unidades de estudo

A Cordilheira, unidade de estudo mais distante do Rio Cuiabá (10,4 km), foi assim chamada devido à presença de um cordão arenoso supostamente livre de inundação, exceto em grandes cheias (Junk et al., 1989). Esta unidade possui solo do tipo Planossolo Háptico Alítico Gleissólico (Milesi, 2010; Messias et al., 2013).

As unidades de estudo localizadas em áreas cobertas por florestas monodominantes de *Vochysia divergens* possuem solo do tipo Gleissolo Háptico Alumínico Neofluvisólico (Milesi, 2010), e são diferentes entre si pela estrutura de tamanho e idade da população de Cambará (Arieira & Cunha, 2012). Desta forma, em função da idade, conforme proposto por Arieira & Cunha (2012), e distância do rio Cuiabá, estas unidades foram denominadas de “Cambará jovem” (48 anos e 9,8 km), “Cambará adulto” (100 anos e 8,8 km), “Cambará velho” (156 anos e 8,3 km) e “Cambará adulto 2” (102 anos e 7,2 km).

Nas unidades de estudo “Cambará jovem” e “Cambará velho”, foram instalados cinco sensores de umidade (modelo ECH20, da Decagon Device) nas camadas de 00 - 20, 20 - 40, 40 - 60, 60 - 80 e 80 - 100 centímetros de profundidade do solo. Tais sensores registraram valores de umidade diariamente as 7 e 17 horas, sendo os dados armazenados em um datalogger (modelo Em50, da Decagon Device) e coletados a cada 15 dias, durante o período de dezembro de 2010 a outubro de 2012 (Fig. 2).



Fig. 2 Datalogger do sensor de umidade instalado no ‘Cambará jovem’ (modelo Em50, da Decagon Device)

Durante o período de dezembro de 2010 a outubro de 2012 também foi realizado o monitoramento do nível freático. Para isso, foi instalado em cada uma das unidades de estudo um poço de observação, perfurado até o alcance do lençol freático, sendo 4,7 metros na Cordilheira, 5,7 metros no Cambará jovem, 4,8 metros no Cambará adulto, 4,4 metros no Cambará velho e 4,1 no Cambará adulto 2. Em cada um dos poços, foi colocado um sensor de nível (modelo WT-HR 2000, da TruTrack Data Loggers), os quais registraram o nível freático diariamente às 7 e 17 h.

Foram realizadas campanhas de campo a cada quinze dias, para a coleta dos dados registrados pelos sensores e realização de medidas diretas do nível freático existente nos poços de observação. Os níveis freáticos, com valores de altura igual ou abaixo daquela equivalente ao nível da superfície do solo, foram denominados “nível freático” e os registrados acima “nível de inundação”.



Fig. 3 Sensor de nível freático instalado na “Cordilheira” (modelo WT-HR 2000, da TruTrack Data Loggers)

Os dados registrados pelos sensores de nível freático foram avaliados através de equações lineares significativas ($p \leq 0,01$), que apresentaram coeficientes angulares próximo a 1 (um), interceptos próximos a zero e altos valores de coeficientes de determinação ($R^2 > 0,96$). Estas equações foram obtidas a partir da análise de regressão linear entre as medidas diretas realizadas nos poços de observação e os dados registrados pelos sensores.

Em todas as unidades de estudo foram coletadas amostras de solo, 550 deformadas e 225 indeformadas, para a determinação do teor de Carbono Orgânico Total (COT) e dos atributos físico e físico-hídricos do solo. As amostras de solo deformadas foram submetidas à determinação da umidade (U), análise granulométrica (textura) e teor de carbono orgânico total, e as de solo indeformadas na obtenção da densidade aparente (Dap), porosidade total (PT) e condutividade hidráulica (K0). Todas as análises foram realizadas conforme metodologia Embrapa (1997).

O teor de carbono, a determinação dos atributos físico e físico-hídricos do solo e os valores de nível de freático foram estatisticamente avaliados por meio da técnica de Análise da Componente Principal (ACP), com rotação ortogonal de Varimax. Tal procedimento foi realizado para identificar quais componentes explicam no mínimo 70% da variância dos dados. A matriz de correlação dos dados foi transformada em uma matriz fatorial, contendo cargas fatoriais para cada variável. As cargas fatoriais foram então interpretadas para identificar a estrutura latente das variáveis. Para identificar o número de fatores a serem extraídos, foi definido o critério da raiz latente, onde todos os fatores com autovalores maiores do que 1 (um) foram considerados significantes.

Para a realização das análises, foram ainda obtidos para a região do estudo, os dados do nível de água do Rio Cuiabá e de precipitação pluviométrica.

Através de uma seção de régua fluviométrica, instaladas no Rio Cuiabá pelo SESC Pantanal, na região de Porto Cercado, foram registrados diariamente dados do nível de água do Rio Cuiabá as 7 e 17 horas, conforme as orientações de operação de estações hidrométricas da Agência Nacional de Águas (<http://hidroweb.ana.gov.br/>).

Os dados de precipitação foram medidos por um transmissor meteorológico, instalado na unidade de estudo “Cordilheira” na altura de dois metros (Fig. 4). Esse equipamento realizou medidas numa frequência de 10 Hz da precipitação acumulada média diária (mm) e intensidade da precipitação (mm/h). Os dados foram armazenados em um datalogger, (modelo CR1000, Campbell Scientific, Logan, Utah, USA) em intervalos de 30 minutos, e coletados mensalmente (Brandão, 2012).

Com os dados de umidade do solo fez-se correlação de Pearson com os valores de nível freático e precipitação pluviométrica, sendo os anos hidrológicos divididos em quatro períodos, nomeados: “enchente” (novembro a janeiro), “cheia” (fevereiro a abril), “vazante” (maio a julho) e “estiagem” (agosto a outubro).



Fig. 4 Transmissor meteorológico (modelo WXT520, Vaisala Inc., Helsinki, Finland - Brandão, 2012)

Para a realização das análises estatísticas e elaboração de suas respectivas representações gráficas foi utilizado o software SPSS Statistics, versão 20, da IBM.

Resultados e Discussão

A precipitação regional total acumulada foi de 1629 mm no ano hidrológico de 2010/2011 (Brandão, 2012) e 1579 mm no ano hidrológico de 2011/2012 (Brandão et al., dados não publicados), dos quais 1340 mm e 840 mm ocorreram durante os períodos de enchente e cheia dos anos de 2010/2011 e 2011/2012, respectivamente. Portanto, durante o período de enchente e cheia, ocorreu uma redução de 37% na quantidade de chuvas no segundo ano hidrológico.

Assim como a precipitação, o maior nível de água do rio Cuiabá também foi registrado para o ano hidrológico de 2010/2011 (4,61 metros; Tabela 1). Para este mesmo ano, o maior nível de inundação foi de 1,65 metros, registrado no Cambará velho (Tabela 1). Com a redução da precipitação em 2011/ 2012, o nível máximo de água do rio foi de 3,98 metros e o nível de inundação máximo registrado foi de 0,85 m também no Cambará velho (Tabela 1).

Tabela 1 Dados do monitoramento dos níveis freáticos nas unidades de estudo, para os anos hidrológicos de 2010/2011 (1º) e 2011/2012 (2º)

Dados	Unidade de estudo									
	Cordilheira		Cambará jovem		Cambará adulto		Cambará velho		Cambará adulto 2	
	1º	2º	1º	2º	1º	2º	1º	2º	1º	2º
Nível freático máximo (m)	4,41	4,09	6,47	4,22	6,39	5,64	6,12	5,32	5,50	4,67
Nível máximo de inundação (m)	0,00	0,00	0,77	0,00	1,59	0,84	1,65	0,85	1,40	0,57
Quantidade de dias inundados	0,00	0,00	46	0,00	109	77	104	77	104	74
Nível máximo de água do rio Cuiabá (m)	4,61	3,98	4,61	3,98	4,61	3,98	4,61	3,98	4,61	3,98

Os perfis dos solos das unidades de estudo são constituídos por classes texturais diversas, desde areia até muito argilosa, e a avaliação dos atributos físicos e físico-hídricos permitiu constatar que existe heterogeneidade de classes texturais, mesmo em unidades muito próximas, como os Cambarás adulto e velho (Fig. 5). Esse resultado está associado à distribuição espacial e temporal de diferentes processos sedimentares no Pantanal, o que consequentemente influenciou na distribuição do solo (Nascimento 2012). Nascimento et al. (2013) também identificou que em camadas mais profundas a textura difere entre os perfis de solo próximos ao rio Cuiabá. Esses autores também sugerem que o contraste textural desses solos está relacionado ao processo de deposição dos sedimentos denominado de avulsão.

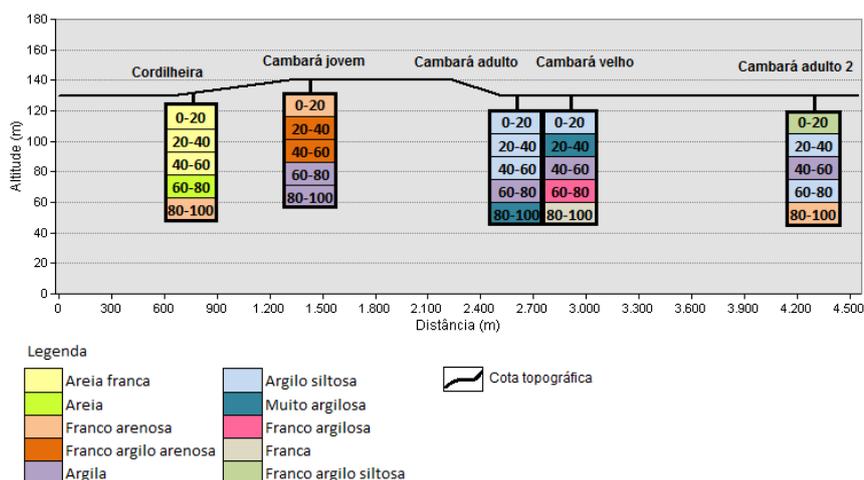


Fig. 5 Perfil topográfico da área onde foram instaladas as unidades de estudo, com suas respectivas representações da classe textural para as profundidades de 0 - 20, 20 - 40, 40 - 60, 60 - 80 e 80 - 100 cm, e distâncias entre as unidades de estudo

Os fatores 1 e 2, obtidos através da análise de componentes principais, explicaram 86% da variância total dos dados na profundidade de 00 a 20 cm, 80% na profundidade de 20 a 40 cm, 84% na de 40 a 60 cm, 82% de 60 a 80 cm e 87% de 80 a 100 cm (Fig. 6).

Nas camadas de 00 a 60 cm de profundidade do solo, o fator 1 é caracterizado pela inundação, cuja variação está relacionada às características físicas e físico-hídricas do solo (Fig. 6 a - c). Na camada de 60 a 80 cm de profundidade do solo, o Fator 1 é caracterizado pelo nível freático e nível máximo de inundação, os quais também tem relação com as características físicas e físico-hídricas do solo (Fig. 6 d). A partir da camada de 80 a 100 cm de profundidade do solo, somente o nível freático relacionado aos atributos físicos e físico-hídricos do solo caracterizam o Fator 1 (Fig. 6 e).

Portanto, as características físicas e físico-hídricas do solo regem as diferenças da dinâmica da inundação existente entre as unidades de estudo, tendo relação com o nível de inundação até a camada de 80 cm de profundidade e com o nível freático a partir de 80 cm de profundidade do solo (Fig. 6 a -e) . Isto corrobora e complementa os resultados de Borges et al (dados não publicados), que concluiu que quando as unidades de estudo estão inundadas, o fator determinante da variação do nível freático é o nível de água do Rio Cuiabá, ou seja, não é o solo. Situação contrária, foi observada quando o nível freático se encontrava em ascensão, neste caso, a variação não se mostrou expressivamente influenciada pelo Rio Cuiabá, no entanto, conforme os resultados deste estudo apresentou relação com as características do solo.

As variáveis que compõem o Fator 1, até a profundidade de 60 cm do solo, diferenciaram principalmente as unidades de estudo Cordilheira e Cambará jovem (Figura 6 a - c). De 60 - 80 cm de profundidade, diferenciaram a Cordilheira dos demais ambientes (Figura 6 d) e, de 80 – 100 cm, evidenciou similaridades entre a Cordilheira, o Cambará velho e o Cambará adulto 2, sendo estas unidades distintas do Cambará jovem e do Cambará adulto.

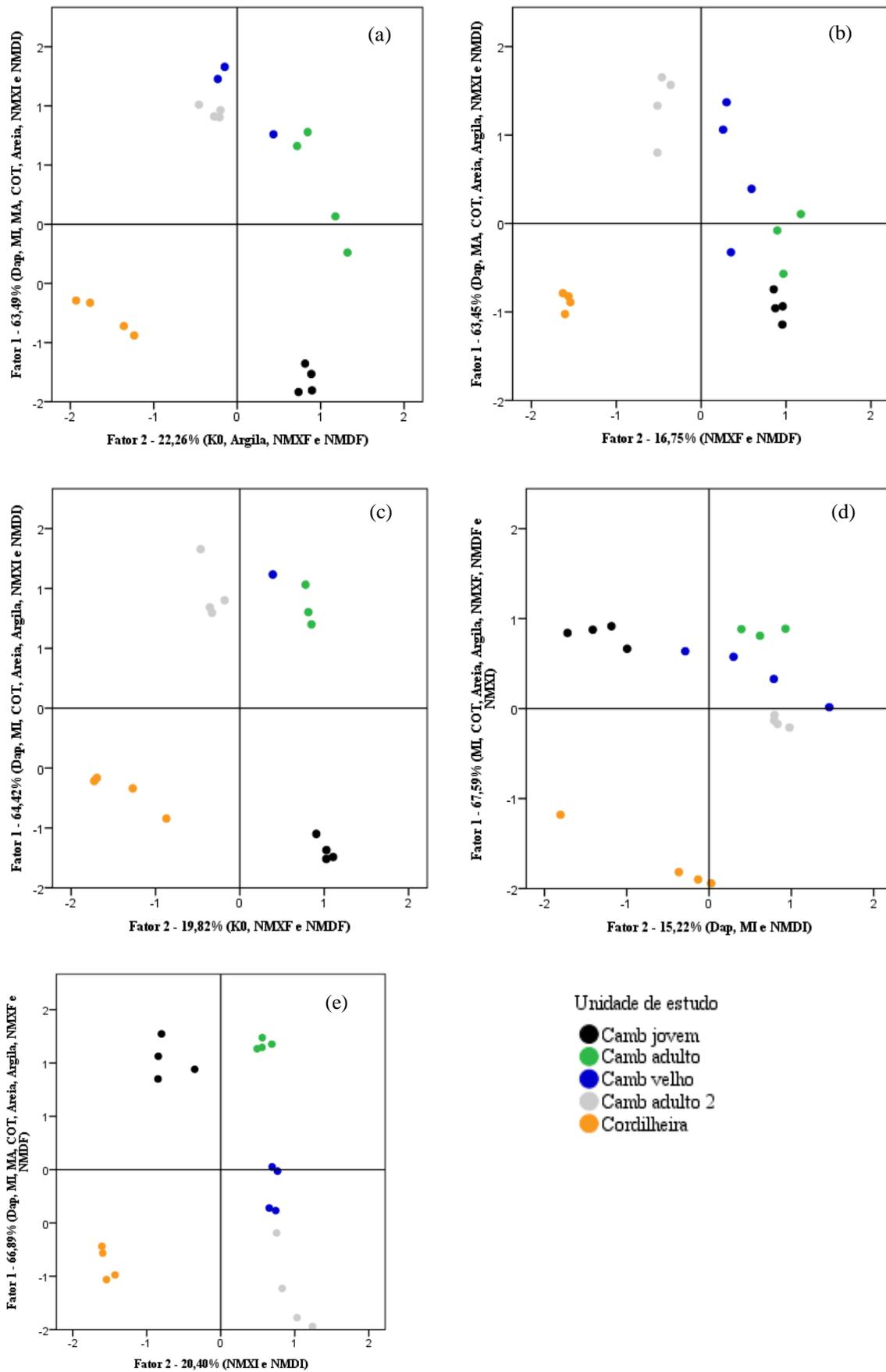


Fig 6 Dispersão gráfica das variáveis físicos e físico-hídricas do solo e hídricas das unidades de estudo que constituem os Fatores 1 e 2 para as profundidades de 0 - 20 cm (a), 20 - 40 cm (b), 40 - 60 cm (c) e 60 - 80

cm (d). Legenda: Dap - densidade aparente, MI - microporosidade, MA - macroporosidade, COT – carbono orgânico total, NMXI - nível máximo de inundação, MNDI - nível médio de inundação, NMXF - nível freático máximo, NMDF - nível freático médio, K0 - condutividade hidráulica do solo

A heterogeneidade das características físicas e físico hídricas do solo pode ser constatada através dos valores médios dos atributos, expostos na Tabela 2. A densidade aparente, a macroporosidade e o teor de areia do Cambará jovem, quando comparado às demais unidades de estudo, permite concluir que o mesmo é menos susceptível ao acúmulo de água.

Tabela 2 Médias dos atributos físicos e físico-hídrico do solo, das unidades de estudo para as camadas de 00 - 20, 20 - 40, 40 - 60, 60 - 80 e 80 - 100 cm de profundidade do solo

Atributos do solo	Profundidade (cm)	Unidades de estudo				
		Cambará Jovem	Cambará Adulto	Cambará Velho	Cambará Adulto 2	Cordilheira
K0 (cm/h)	00-20	2,27 C	6,49 B	9,62 AB	6,24 BC	16,55 A
	20-40	0,38 B	16,01 A	8,25 AB	9,17 AB	5,73 A
	40-60	0,45 B	0,49 B	0,22 B	1,44 A	3,57 A
	60-80	0,15 C	0,73 B	0,19 C	1,98 BC	8,28 A
	80-100	0,15 C	0,57 A	0,16 BC	0,32 AB	0,60 A
Dap (g/cm³)	00-20	1,44 A	0,77 B	0,54 B	0,55 B	1,32 A
	20-40	1,52 A	1,19 C	1,02 C	0,96 C	1,44 B
	40-60	1,55 A	1,33 C	1,24 C	1,21 C	1,48 B
	60-80	1,57 A	1,50 AB	1,45 AB	1,41 B	1,59 A
	80-100	1,46 BC	1,35 C	1,59 B	1,59 AB	1,72 A
MA (%)	00-20	10,14 B	17,10 A	14,56 AB	13,64 AB	8,87 B
	20-40	7,84 BC	8,27 B	10,04 AB	19,46 A	5,65 C
	40-60	6,98 A	4,94 AB	5,04 AB	9,13 A	4,91 B
	60-80	5,34 AB	6,12 AB	3,99 B	7,47 A	4,72 B
	80-100	2,23 B	4,41 B	3,71 B	11,12 A	4,78 B
MI (%)	00-20	33,41 C	41,16 B	53,69 A	59,54 A	38,20 BC
	20-40	27,29 C	38,98 A	40,90 A	35,69 AB	30,82 B
	40-60	28,79 D	41,45 AB	44,48 A	40,99 B	32,97 C
	60-80	31,53 C	40,50 A	36,25 B	39,69 AB	33,12 BC
	80-100	39,97 B	45,71 A	32,15 C	27,19 D	27,98 D
PT (%)	00-20	43,54 E	58,26 C	68,26 B	73,18 A	47,07 DE
	20-40	35,14 C	45,50 B	50,94 AB	55,15 A	36,46 C
	40-60	35,77 B	45,39 A	49,52 A	50,12 A	37,88 B
	60-80	36,87 B	46,62 A	40,24 B	47,15 A	37,84 B
	80-100	42,19 B	50,11 A	35,87 C	38,31 BC	32,75 D
COT (%)	00-20	0,37 C	2,99 AB	5,64 A	4,78 A	0,66 BC
	20-40	0,26 C	0,47 B	0,50 B	0,69 A	0,12 D
	40-60	0,20 C	0,46 A	0,42 B	0,50 AB	0,10 C
	60-80	0,26 B	0,38 A	0,27 B	0,32 AB	0,06 C
	80-100	0,31 B	0,43 A	0,24 BC	0,16 BC	0,11 C
Areia (%)	00-20	65,82 B	7,22 D	14,88 CD	15,99 C	83,97 A
	20-40	60,72 B	6,01 C	2,47 D	7,64 C	80,84 A
	40-60	67,76 B	4,20 D	5,76 C	5,38 CD	80,06 A
	60-80	33,31 B	8,99 C	31,89 B	5,70 D	91,01 A
	80-100	8,89 C	6,01 C	41,21 B	71,43 A	82,36 A
Argila (%)	00-20	18,51 C	43,74 A	37,04 AB	31,94 B	4,05 D
	20-40	20,91 C	51,10 B	66,27 A	46,85 B	2,37 D
	40-60	21,87 C	51,51 B	57,92 A	53,78 AB	3,84 D
	60-80	35,42 BC	49,55 A	30,92 C	45,04 AB	1,52 D
	80-100	50,11 B	59,85 A	23,72 C	7,59 D	11,09 CD
Silte (%)	00-20	12,40 B	44,28 A	46,69 A	50,53 A	8,00 B
	20-40	16,76 C	39,66 A	27,91 B	45,11 A	13,72 C
	40-60	9,02 D	41,55 A	33,48 B	37,71 AB	14,62 C
	60-80	28,34 C	38,53 AB	34,97 B	46,18 A	4,47 D
	80-100	38,59 A	31,37 B	32,07 AB	18,65 C	4,48 D

Médias na mesma linha seguidas de mesma letra não diferem entre as unidades de estudo, pelo teste de Kruskal-Wallis.

Para o Cambará Jovem, no início da enchente (dezembro de 2010), a umidade da camada superficial do solo apresentou significativa relação com a precipitação regional. A partir do segundo mês de enchente (janeiro de 2011), o nível freático passa a exercer efeito positivo sobre todo o perfil do solo, sendo o fator condicionante da umidade. Na estiagem (setembro de 2011), a associação positiva da umidade com o nível freático permanece apenas para as camadas mais profundas (40 – 100 cm). Isso indica que houve o rebaixamento do nível freático e, conseqüentemente, a redução do seu efeito sobre a camada superficial do solo. No final do período de estiagem (outubro de 2011), em todo o perfil do solo a umidade foi negativamente associada ao nível freático. Isso indica que em relação aos meses anteriores houve ainda mais redução do nível freático, no entanto, o solo continuou úmido, provavelmente em função da sua capacidade de retenção de água. Importante ressaltar que, apesar de ser caracterizado como seco, é no mês de outubro que se inicia a precipitação (Brandão, 2012). No início da enchente (novembro de 2011), foi observado aumento da precipitação (Brandão, 2012) e associação positiva deste fator com a umidade da camada superficial do solo e, conseqüentemente, negativa com o nível freático (Tabela 3).

No Cambará velho foi observada a ausência de relação entre a umidade e a precipitação no início da enchente (dezembro de 2010) e a existência de correlação negativa com o nível freático. Isto significa que o nível freático se encontrava baixo, no entanto, o perfil do solo estava úmido, provavelmente em função da capacidade de retenção de água do solo. Com a elevação do nível freático ainda no período de enchente (janeiro de 2011) e gradual redução ao longo dos períodos de vazante e até a estiagem (agosto de 2011), a correlação da umidade com o nível freático foi positiva em todas as camadas do perfil do solo. Ainda no período de estiagem, ocorreu associação positiva da umidade com o nível freático para as camadas intermediárias e profundas (20 – 100 cm em setembro de 2011, 40 – 100 cm em outubro de 2011), e negativas na camada superficial (0-20). Isto indica que houve o rebaixamento do nível freático, com redução do seu efeito sobre a umidade da camada superficial do solo que, no entanto, continuou úmida em função da retenção de água (Tabela 3).

Diferentemente do ano hidrológico de 2010/2011, no ano hidrológico de 2011/2012, o Cambará velho apresentou relação significativa da umidade com a precipitação nas camadas superficiais do solo (00 - 40 cm; Tabela 3). Provavelmente, isto é decorrente do fato de que no segundo ano hidrológico a precipitação acumulada foi 37% menor do que no primeiro ano, logo, o nível de água do Rio Cuiabá, bem como o nível freático foram menores e não condicionou a umidade das camadas superficiais do solo da mesma forma que a enchente do ano de 2010/2011. Com o nível de água do Rio Cuiabá e o nível freático mais baixo no ano de 2011/2012, a

influencia da precipitação ficou mais evidente, sendo então constatada a correlação significativa nas camadas superficiais do solo.

Conforme Paz et al. (2014), o processo hídrico vertical contribui para a compreensão do período de enchente principalmente para as áreas que não estão diretamente conectadas aos principais canais fluviais. Neste estudo, a contribuição do processo hídrico vertical foi confirmada, pois no início do período de enchente a umidade das camadas superficiais do solo das unidades de estudo Cambará jovem e Cambará adulto apresentaram relação com a precipitação.

Os resultados obtidos permitiram confirmar as suposições descritas por diversos autores (Milesi 2011, Paz et al. 2014, Chen et al. 2013), de que a dinâmica da inundação é caracterizada pela intensidade, duração, área inundada e frequência de inundação (Hamilton, 2002). No entanto, o comportamento destas variáveis depende da precipitação e da forma como se dá a drenagem da água da chuva através do solo, que estão associados a diferentes tipos de solo e cobertura vegetal.

Tabela 3 Coeficientes de correlação da precipitação e nível freático com a umidade, para as camadas de 00 - 20, 20 - 40, 40 - 60, 60 - 80 e 80 - 100 cm de profundidade do solo das unidades de estudo Cambará jovem e Cambará velho

Cambará jovem							
Ano	Mês	Variáveis	Profundidades (cm)				
			0 - 20	20 - 40	40 - 60	60 - 80	80 - 100
2010	12	Precipitação (mm)	0,634*	0,018	0,163	0,436	0,178
		Nível de água (m)	0,112	-0,109	-0,385*	-0,109	-0,288
	1	Precipitação (mm)	-0,012	0,045	-0,024	-0,019	-0,020
		Nível de água (m)	0,927**	0,915**	0,907**	0,926**	0,924**
	6	Precipitação (mm)	0,475	0,515	0,519	0,507	0,543
		Nível de água (m)	0,982**	0,967**	0,968**	0,971**	0,962**
	7	Precipitação (mm)	0,530	0,531	0,575	0,592	0,606
		Nível de água (m)	0,982**	0,967**	0,944**	0,955**	0,841**
	8	Precipitação (mm)	0,217	0,023	-0,036	-0,038	0,159
		Nível de água (m)	0,857**	0,934**	0,945**	0,918**	0,978**
2011	9	Precipitação (mm)	0,245	-0,614	-0,713*	0,429	0,232
		Nível de água (m)	0,149	-0,426**	0,534**	0,850**	0,879**
	10	Precipitação (mm)	-0,283	0,015	0,085	0,364	. ^c
		Nível de água (m)	-0,660**	-0,537*	-0,457*	-0,754**	. ^c
	11	Precipitação (mm)	0,577*	0,368	-0,221	-0,118	-0,008
		Nível de água (m)	-0,665**	-0,400**	-0,407**	-0,430**	-0,370**
	12	Precipitação (mm)	0,386*	0,330	0,302	0,153	0,031
		Nível de água (m)	0,825**	0,771**	0,714**	0,782**	0,379**
	1	Precipitação (mm)	0,418*	0,437*	0,412*	0,276	0,104
		Nível de água (m)	0,389**	0,291*	0,537**	0,855**	-0,041
	3	Precipitação (mm)	0,785	0,316	0,485	0,722	0,769
		Nível de água (m)	0,220	0,035	0,267	0,401	0,466
2012	4	Precipitação (mm)	0,248	-0,443	-0,617*	-0,710**	-0,536
		Nível de água (m)	-0,252	0,074	0,265*	0,377**	0,295*
	5	Precipitação (mm)	0,385	0,832**	0,345	0,310	0,386
		Nível de água (m)	-0,279*	0,482**	0,550**	0,510**	0,032
	6	Precipitação (mm)	0,617	-0,114	-0,101	0,121	0,051
		Nível de água (m)	0,727**	0,792**	0,892**	0,949**	0,937**
Cambará Velho							
2010	12	Precipitação (mm)	,387	,224	,161	,012	-,235
		Nível de água (m)	-,584**	-,681**	,394*	,041	-,492**
	1	Precipitação (mm)	,090	,166	-,286	-,159	,043
		Nível de água (m)	,388**	,732**	,351*	,594**	,986**
	8	Precipitação (mm)	,040	,038	,146	,319	,762
		Nível de água (m)	,908**	,912**	,963**	,927**	,975**
	9	Precipitação (mm)	-,217	,118	,238	,206	-,979*
		Nível de água (m)	-,516**	,977**	,984**	,950**	,946**
2011	10	Precipitação (mm)	-,326	-,027	,029	,137	-,664
		Nível de água (m)	-,775**	,237	,967**	,945**	,975**
	11	Precipitação (mm)	,344	,568*	,084	-,054	-,071
		Nível de água (m)	,492**	,488**	,612**	,525**	,263*
	12	Precipitação (mm)	,362*	,430*	,181	,101	,635**
		Nível de água (m)	,151	,153	-,132	-,092	,344**
2012	1	Precipitação (mm)	,362*	,276	,011	-,084	-,155
		Nível de água (m)	-,168	-,210	-,460**	,290*	,094

** Significativos ao nível de 1% e 5% de probabilidade

c. Pelo menos uma das variáveis é constante.

Conclusões

1. Durante o período de enchente, a precipitação apresentou relação com a umidade do solo até a profundidade de 40 cm, sendo um indicativo de que a precipitação é fator determinante para o início do pulso de inundação das unidades de estudo.

2. A diferença da variação do nível de inundação e do nível freático entre as unidades de estudo é principalmente regida pelas características físicas e físico - hídricas do solo até a camada de 80 cm de profundidade, para o nível de inundação, e a partir de 80 cm de profundidade para o nível freático.

Agradecimentos

Ao Serviço Social do Comércio (SESC) e toda a equipe de guarda parques e auxiliares da RPPN SESC Pantanal, pelo apoio durante as campanhas de campo, aos técnicos da Universidade Federal de Mato Grosso e estudantes da graduação e pós-graduação que auxiliaram nas viagens de campo. Ao Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração (PELD)/ Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento do projeto e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos.

Referências Bibliográficas

Arieira, J. & C. N. Cunha. 2012. Estrutura Populacional do Cambará (*Vochysia divergens* Pohl, *vochysiaceae*), espécie monodominante em floresta inundável no pantanal mato-grossense. *Oecologia Australis*. 16: 819-831.

Brandão, A. A. Dinâmica temporal do efluxo de CO₂ do solo em área de cerrado no Pantanal matogrossense. 73 p. Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2012. (Dissertação de Mestrado).

Brasil. 1974. Ministério do Interior. Estudos Hidrológicos da Bacia do Alto Paraguai. Relatório Técnico 1966-1972. Brasília-DF: UNESCO/PNUD, v. 1.

Brasil. 1982. Ministério das Minas e Energia. Projeto RADAMBRASIL. Levantamento de Recursos Naturais. Folha SE-21 Corumbá e Parte da Folha SE-20. Rio de Janeiro, v. 27, 435p.

Calheiros, D. F. W. C. Fonseca Jr. 1996. Perspectivas de estudos ecológicos sobre o Pantanal (Série Documentos, 18). Corumbá, MS: EMBRAPA – CPAP (Publicação Institucional - Difusão de Tecnologia).

Calheiros, D. F.; M. D. Oliveira. 2010. O rio Paraguai e sua planície de inundação - o Pantanal Mato-Grossense. *Ciência & Ambiente* 41: 113-130.

Cardoso, M. R. D., F. F. N. Marcuzzo. 2010. Mapeamento de Três Décênios da Precipitação Pluviométrica Total e Sazonal no Bioma Pantanal. In: III Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 2010, Cáceres - MT. Anais III Simpósio de Geotecnologias no Pantanal. Corumbá - MS: EMBRAPA 1: 84-94.

Chen, Y., C. Huang, C. Ticehurst, L. Merrin, P. Thew. 2013. An Evaluation of MODIS Daily and 8-day Composite Products for Floodplain and Wetland Inundation Mapping. *Wetlands* 33: 823 – 835.

Couto, E. G., P. K. T. Jacomine, C. N. Cunha; A. B. Vecchiato. 2002. Guia da excursão técnica da XIV RBMCSA. Cuiabá: Ed. UFMT. 68 p.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). 1997. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solos. 2.ed. Rio de Janeiro. 212 p.

Fantin, C. I., P. Girard, P. Zeilhofer, W. Collischonn. 2010. Dinâmica de inundação. In Fernandes, I. M.; C. A. Signor, J. Penha, Cuiabá: Biodiversidade no Pantanal de Poconé: 25-36.

Hamilton, S. K. 2002. Hydrological controls of ecological structure and function in the Pantanal Wetland (Brazil). *The Ecohydrology of South American Rivers and Wetlands*. Capítulo. 8: 133- 158.

Junk, W. J., P. B. Bailey, R. E. Sparks. 1989. The flood pulse concept in river floodplain systems. *Canadian Journal Fish Aquatic Science*, 106: p.10-127.

Milesi, J. Análise temporal do carbono orgânico de solos sob diferentes fitofisionomias do pantanal mato-grossense. 56 p. Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2010. (Dissertação de Mestrado)

Messias, I.A.M. Monitoramento contínuo do potencial redox e de variáveis complementares em ambiente hipsazonal no Pantanal de Barão de Melgaço. 57p. Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2011. (Dissertação de Mestrado).

Messias, I. A. M., E. G. Couto, R. S. S. Amorim, M. S. Johnson & O. B. P. Junior. 2013. Monitoramento contínuo do potencial redox e de variáveis complementares em ambiente hipsazonal no pantanal norte. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, 37: 632-639.

Moraes, E. C., G. Pereira, F. S. Cardozo. 2013. Avaliação da precipitação e sua influência sobre as áreas inundadas no Pantanal. In: *Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2010, Foz do Iguaçu – PR: 7216 – 7224.*

Nascimento, A. F. Relações pedologia-geomorfologia-sedimentologia no Pantanal Norte. 200p., Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba 2012. (Tese de Doutorado).

Nascimento, A. F., S. A. C. Furquim, E. G. Couto, R. M. Beirigo, J. C. Oliveira Junior, P. B. Camargo, P. Vidal-Torrado. 2013. Genesis of textural contrasts in subsurface soil horizons in the northern Pantanal-Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 37: 1113-1127.

Paz, A. R. da, W. Collischonn, C. E. M. Tucci, C. R. Padovani. 2011. Large-scale modelling of channel flow and floodplain inundation dynamics and its application to the Pantanal (Brazil). *Hydrological Processes*, 25: 1498-1516.

Paz, A. R. da, W. Collischonn, J. M. Bravo, P. D. Bates, C. Baugh. 2014. The influence of vertical water balance on modelling Pantanal (Brazil) spatio-temporal inundation dynamics. *Hydrological Processes*, 28: 3539 – 3553.

Penatti, N. C. Geobotânica e fenologia da superfície terrestre no estudo da diversidade do Pantanal: uma abordagem multi-sensor. 175 p. Universidade de São Paulo – SP , 2014. (Tese de Doutorado).

Santos, R. D., A. Carvalho Filho, U. J. Naime, H. Oliveira, P. E. F. Motta, A. M. Baruqui, W. O. Barreto, M. E. C. C. M. Melo, J. L. Paula, E. M. R. Santos,. M. N. Duarte. 1997. Pedologia. In: Plano de conservação da Bacia do Alto Paraguai - PCBAP: diagnóstico dos meios físico e biótico - meio físico. Brasília, DF,. 2:n127-307.

Silva, C. J. Influência da variação do nível d'água sobre a estrutura e funcionamento de uma área alagável do Pantanal Mato-Grossense (Pantanal de Barão de Melgaço, município de Santo Antonio de Leverger e Barão de Melgaço - MT). 215 p. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1990. (Tese Doutorado).

Silva, J. S. V. 1995. Elementos fisiográficos para delimitação do ecossistema Pantanal: Discussão e proposta. *Oecologia Brasiliensis*. Rio de Janeiro, 1: 439-458.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O nível de água do Rio Cuiabá foi identificado como fator determinante da intensidade e duração da inundação, pois apresentou correlação significativa com o nível freático, nível de inundação e área inundada das unidades de estudo, sendo a correlação constatada quando o nível de água do Rio Cuiabá foi de no mínimo 1,36 metros, no período de estiagem, e 2,86 metros, no período de cheia dos anos hidrológicos.

Com exceção do período de enchente, foram obtidos modelos de regressão linear que, para determinados intervalos de nível de água do Rio Cuiabá e período do ano hidrológico, podem ser utilizadas para análise de series temporais relacionadas as variáveis nível freático, nível de inundação e área inundada.

Foi constatado que no período de enchente, até a profundidade de 40 cm, a precipitação exerce influência positiva sobre o processo de umedecimento do solo. No entanto, esta influência só se torna evidente quando o ambiente possui características topográficas e de solo que, somados ao período do ano hidrológico, o condiciona a uma menor conexão com os rios e canais adjacentes, ou seja, menor influência do nível de água do Rio Cuiabá. Portanto, assim foi confirmada a suposição descrita no Capítulo 1, de que no período de enchente a precipitação poderia ser o fator determinante do início do pulso de inundação.

A diferença da variação do nível de inundação e do nível freático entre as unidades de estudo, é principalmente regida pelas características físicas e físico - hídricas do solo até a camada de 80 cm de profundidade, para o nível de inundação, e a partir de 80 cm de profundidade para o nível freático. Isto nos permite afirmar que até 80 cm de profundidade as características do solo são determinantes para o comportamento das variáveis que caracterizam a dinâmica da inundação, como por exemplo, a duração. É necessário realizar estudos que permitam definir o valor mínimo de precipitação que associada às características do solo, irão dar início ao pulso de inundação.

ANEXO

Os capítulos 1 e 2 foram formatados conforme normas estabelecidas pela revista Hydrobiologia:

http://www.springer.com/life+sciences/ecology/journal/10750?detailsPage=pltc_i_911058

Title Page:

The title page should include a concise and informative title

Abstract

Please provide an abstract of 150 to 200 words. Abstracts longer than 200 words cannot be uploaded. The abstract should not contain any undefined abbreviations or unspecified references.

Keywords

Please provide 4 to 6 keywords which can be used for indexing purposes.

Text Formatting

Manuscripts should be submitted in Word.

- Use a normal, plain font (e.g., 10-point Times Roman) for text.
- Use italics for emphasis.
- Use the automatic page numbering function to number the pages.
- Do not use field functions.
- Use tab stops or other commands for indents, not the space bar.
- Use the table function, not spreadsheets, to make tables.
- Use the equation editor or MathType for equations.
- Save your file in docx format (Word 2007 or higher) or doc format (older Word versions).

Abbreviations

Abbreviations should be defined at first mention and used consistently thereafter.

Footnotes

Footnotes can be used to give additional information, which may include the citation of a reference included in the reference list. They should not consist solely of a reference citation, and they should never include the bibliographic details of a reference. They should also not contain any figures or tables.

Footnotes to the text are numbered consecutively; those to tables should be indicated by superscript lower-case letters (or asterisks for significance values and other statistical data). Footnotes to the title or the authors of the article are not given reference symbols.

Always use footnotes instead of endnotes.

Acknowledgments

Acknowledgments of people, grants, funds, etc. should be placed in a separate section on the title page.

The names of funding organizations should be written in full.

References

References in the text will use the name and year system: Adam & Eve (1983) or (Adam & Eve, 1983). For more than two authors, use Adam et al. (1982). References to a particular page, table or figure in any published work is made as follows: Brown (1966: 182) or Brown (1966: 182, fig. 2). Cite only published items; grey literature (abstracts, theses, reports, etc) should be avoided as much as possible. Papers which are unpublished or in press should be cited only if formally accepted for publication.

References will follow the styles as given in the examples below, i.e. journals are NOT abbreviated (as from January 2003), only volume numbers (not issues) are given, only normal fonts are used, no bold or italic.

- Engel, S. & S. A. Nichols, 1994. Aquatic macrophytes growth in a turbid windswept lake. *Journal of Freshwater Ecology* 9: 97–109.
- Horne, D. J., A. Cohen & K. Martens, 2002. Biology, taxonomy and identification techniques. In Holmes, J. A. & A. Chivas (eds), *The Ostracoda: Applications in Quaternary Research*. American Geophysical Union, Washington DC: 6–36.
- Maitland, P. S. & R. Campbell, 1992. *Fresh Water Fishes*. Harper Collins Publishers, London.

- Tatrai, I., E. H. R. R. Lammens, A. W. Breukelaar & J. G. P. Klein Breteler, 1994. The impact of mature cyprinid fish on the composition and biomass of benthic macroinvertebrates. *Archiv für Hydrobiologie* 131: 309–320.

Tables

- All tables are to be numbered using Arabic numerals.
- Tables should always be cited in text in consecutive numerical order.
- For each table, please supply a table caption (title) explaining the components of the table.
- Identify any previously published material by giving the original source in the form of a reference at the end of the table caption.
- Footnotes to tables should be indicated by superscript lower-case letters (or asterisks for significance values and other statistical data) and included beneath the table body.

Electronic Figure Submission

- Supply all figures electronically.
- Indicate what graphics program was used to create the artwork.
- For vector graphics, the preferred format is EPS; for halftones, please use TIFF format. MSOffice files are also acceptable.
- Vector graphics containing fonts must have the fonts embedded in the files.
- Name your figure files with "Fig" and the figure number, e.g., Fig1.eps.

Line Art

- Definition: Black and white graphic with no shading.
- Do not use faint lines and/or lettering and check that all lines and lettering within the figures are legible at final size.
- All lines should be at least 0.1 mm (0.3 pt) wide.
- Scanned line drawings and line drawings in bitmap format should have a minimum resolution of 1200 dpi.

- Vector graphics containing fonts must have the fonts embedded in the files.

Halftone Art

- Definition: Photographs, drawings, or paintings with fine shading, etc.
- If any magnification is used in the photographs, indicate this by using scale bars within the figures themselves.
- Halftones should have a minimum resolution of 300 dpi.

Combination Art

- Definition: a combination of halftone and line art, e.g., halftones containing line drawing, extensive lettering, color diagrams, etc.
- Combination artwork should have a minimum resolution of 600 dpi.

Color Art

- Color art is free of charge for online publication.
- If black and white will be shown in the print version, make sure that the main information will still be visible. Many colors are not distinguishable from one another when converted to black and white. A simple way to check this is to make a xerographic copy to see if the necessary distinctions between the different colors are still apparent.
- If the figures will be printed in black and white, do not refer to color in the captions.
- Color illustrations should be submitted as RGB (8 bits per channel).

Figure Lettering

- To add lettering, it is best to use Helvetica or Arial (sans serif fonts).
- Keep lettering consistently sized throughout your final-sized artwork, usually about 2–3 mm (8–12 pt).
- Variance of type size within an illustration should be minimal, e.g., do not use 8-pt type on an axis and 20-pt type for the axis label.

- Avoid effects such as shading, outline letters, etc.
- Do not include titles or captions within your illustrations.

Figure Numbering

- All figures are to be numbered using Arabic numerals.
- Figures should always be cited in text in consecutive numerical order.
- Figure parts should be denoted by lowercase letters (a, b, c, etc.).
- If an appendix appears in your article and it contains one or more figures, continue the consecutive numbering of the main text. Do not number the appendix figures, "A1, A2, A3, etc." Figures in online appendices (Electronic Supplementary Material) should, however, be numbered separately.

Figure Captions

- Each figure should have a concise caption describing accurately what the figure depicts. Include the captions in the text file of the manuscript, not in the figure file.
- Figure captions begin with the term **Fig.** in bold type, followed by the figure number, also in bold type.
- No punctuation is to be included after the number, nor is any punctuation to be placed at the end of the caption.
 - Identify all elements found in the figure in the figure caption; and use boxes, circles, etc., as coordinate points in graphs.
- Identify previously published material by giving the original source in the form of a reference citation at the end of the figure caption.

Figure Placement and Size

- Figures should be submitted separately from the text, if possible.
- When preparing your figures, size figures to fit in the column width.
- For most journals the figures should be 39 mm, 84 mm, 129 mm, or 174 mm wide and not higher than 234 mm.
- For books and book-sized journals, the figures should be 80 mm or 122 mm wide and not higher than 198 mm