

## **Impactos climáticos das áreas alagadas no Bioma Pantanal**

Gabriel Pereira <sup>1</sup>  
Maria Elisa Siqueira Silva <sup>2</sup>  
Elisabete Caria Moraes <sup>1</sup>  
Yosio Edemir Shimabukuro <sup>1</sup>  
Francielle da Silva Cardozo <sup>1</sup>  
Fabrício Brito Silva <sup>1</sup>  
Egídio Arai <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Av. dos Astronautas, 1758 - Caixa Postal 515  
12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{gabriel, cardozo, fabricio, yosio, bete, egidio}@dsr.inpe.br

<sup>2</sup> Universidade de São Paulo – USP  
Av. Prof. Lineu Prestes, 159 - Caixa Postal 26097  
05513-970 - São Paulo - SP - Brasil  
elisasiq@usp.br

**Resumo.** O Pantanal é considerado como um dos principais ecossistemas brasileiros, caracterizado por uma ampla área de planícies que alagam durante a estação chuvosa. Desta forma, é fundamental a compreensão da magnitude das áreas alagadas às variações nas componentes meteorológicas. Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo principal analisar e quantificar as principais alterações sazonais que ocorrem na região do Pantanal brasileiro a partir da modelagem numérica das alterações no uso e cobertura da terra. Para simular os efeitos das áreas alagadas na temperatura da superfície, precipitação regional, evapotranspiração e umidade relativa, utilizou-se o modelo Regional Climate Model (REGCM) que utiliza dados de uso e cobertura da terra para modelar os processos de transferência radiativa que ocorrem entre a biosfera e atmosfera. Os resultados iniciais indicam que o aumento de áreas alagadas pode diminuir em até 80 mm o volume total de precipitação na Bacia Hidrográfica do Alto Paraguai. Ainda, os efeitos da alteração no uso e cobertura do solo pode ocasionar um aumento de 1°C na temperatura média, uma diminuição significativa da evapotranspiração e uma redução nos valores de umidade relativa, além de alterar os fluxos atmosféricos. É necessário salientar que os resultados aqui obtidos estão intrinsecamente ligados às condições específicas de simulação.

**Palavras-chave:** modelagem climática, REGCM3, Pantanal, áreas alagadas.

**Abstract.** The Pantanal is considered as one of the main Brazilian ecosystems, characterized by flooding plains that occur in the rainy season. In this context, is essential to understand the implications of flooded areas in weather components variations. Thus, this paper aims to analyze and quantify the major seasonal changes that occur in the Pantanal region through the use of climate numerical model to simulate the changes in landuse landcover properties. To simulate the effects of flooded areas on surface temperature, regional rainfall, evapotranspiration and humidity, we used the Regional Climate Model (REGCM) that utilizes landuse landcover characteristics to modeling the radiative transfer processes in biosphere-atmosphere interactions. Initial results indicate that the increase in wetlands can decrease the total precipitation in the Upper Paraguay River Basin in approximately 80 mm. Also, physical-chemical and biological changes in surface properties results in an increase of 1 ° C in average temperature, a significant decrease in evapotranspiration and a reduction in the values of relative humidity, altering the atmospheric fluxes. It should be noted that the results obtained here are inextricably linked to the specific simulation in REGCM3 regional climate model.

**Key words:** climate modeling, REGCM3, Pantanal, flooded areas.

## 1. Introdução

O Pantanal é um das maiores planícies sujeitas a inundações periódicas do globo. Localizado na região central da América do Sul, ocupa principalmente áreas dos Estados brasileiros do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, Bolívia e Paraguai. Este bioma possui fronteira com a Floresta Amazônica, ao norte, e com o platô do Brasil central, a leste, e ocupa aproximadamente 160.000 km<sup>2</sup> do território brasileiro. As principais feições fitoecológicas presentes são compostas por Savana Arborizada, Savana Florestada, Savana Gramíneo-lenhosa, Pastagem e Floresta Estacional Semidecidual Aluvial (Brasil, 2010).

Localizado na bacia hidrográfica do Alto Paraguai, o bioma Pantanal é caracterizado por apresentar baixos valores hipsométricos com pequenas variações no gradiente topográfico (**Figura 1**), e por uma ampla área de planícies que alagam durante a estação chuvosa, porém, é comum encontrar cordões arenosos que não são afetados pelas grandes inundações (Assine, 2005). Nestas planícies alagáveis, é comum a ocorrência de feições geomorfológicas de erosão e deposição que constituem a paisagem pantaneira. Entre os principais processos geomorfológicos, podem-se citar as deposições aluviais e lacustres atuais, assim como deposições aluviais antigas e paisagens formadas por processos eólicos (Assine e Soares, 2004).

O regime pluviométrico no pantanal apresenta duas estações bem definidas: uma chuvosa que ocorre entre os meses de outubro e março; e outra seca, entre abril e setembro. Segundo a classificação de Köppen, o Bioma Pantanal está inserido no grupo de Clima tropical com estação seca ou clima de savana (Aw) e exibe temperaturas médias mensais superiores a 18°C com um dos meses com precipitação média inferior a 60 mm. Entre os principais mecanismos de precipitação destacam-se as chuvas convectivas, ocasionadas pelo aquecimento da superfície durante o dia.

No Pantanal Brasileiro, o ciclo de alagamento anual abrange  $26 \pm 7\%$  da área total do bioma ( $\sim 42.700 \pm 11.719$  km<sup>2</sup>) (Cardozo et al., *in press*). O efeito da mudança de cobertura atua significativamente nessa dinâmica alterando o balanço de energia, temperatura da superfície e do ar e, conseqüentemente, o ciclo hidrológico regional. Os estudos que abordam essa temática não consideram a integração desses diferentes componentes e, nesse sentido, a modelagem numérica na escala climática provê uma análise multidisciplinar, qualitativa e quantitativa, uma vez que proporciona o entendimento da resposta do bioma em relação à alteração dos componentes físico-químicos e biológicos que regem a interação atmosfera-biosfera.

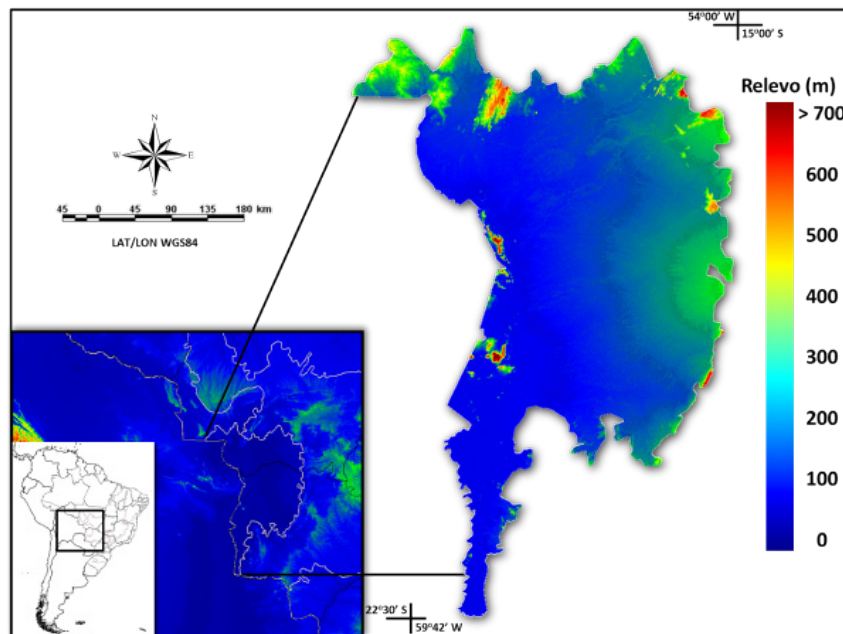
Desta forma, o uso de modelos numéricos constitui um importante elemento para auxiliar na avaliação da dinâmica das mudanças ocorridas no uso e cobertura da terra, pois permite simular diferentes cenários climáticos a partir da alteração das propriedades do objeto.

## 2. Objetivos

Dada as circunstâncias acima descritas, o presente trabalho tem como objetivo principal analisar e quantificar as principais alterações que ocorrem na região do Pantanal com base na modelagem numérica das alterações do uso e cobertura da terra.

## 3. Material e Métodos

A área de estudo, que abrange o Bioma Pantanal e regiões circunvizinhas, está situada entre as coordenadas 59°42'W e 22°30'S; e 54°00'W e 15°00'S, localizada na porção centro-sul do Continente Sul-Americano, como indicado na Figura 1. Situado em uma planície sedimentar, o Pantanal brasileiro possui altitude média de 126 metros, que varia entre 24 metros, na região sudoeste do bioma, e mais de 400 metros, em suas extremidades.



**Figura 1.** Localização da área de estudo e relevo do Bioma Pantanal.

A simulação do efeito das áreas alagadas na temperatura da superfície, precipitação regional, evapotranspiração e umidade relativa, foi realizada com a utilização do modelo *Regional Climate Model* (REGCM3). O modelo REGCM3 utiliza dados de uso e cobertura da terra para modelar os processos de transferência de energia que ocorrem entre a biosfera e atmosfera. O REGCM3 é alimentado atualmente com os dados de vegetação e uso do solo derivados do produto *Global Land Cover Characterization* (GLCC). O mapa de uso e cobertura da terra do GLCC foi originado a partir de dados orbitais do sensor *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR) a bordo do satélite *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) com resolução espacial nominal de 1 km para abril de 1992.

Os dados GLCC dividem a superfície terrestre em 20 classes de uso e cobertura da terra (**Tabela 1**), utilizadas pelo *Biosphere Atmosphere Transfer Scheme* (BATS), modelo de transferência de energia acoplado ao REGCM3, para descrever o comportamento das interações físicas da superfície terrestre e esquematizar o papel do uso e cobertura da terra e da umidade do solo nas trocas de energia, momento e vapor de água entre a superfície e atmosfera (Dickinson et al., 1993).

**Tabela 1.** Classes de uso e cobertura da Terra do GLCC.

1	<b>Predominância Agrícola</b>	11	<b>Semideserto</b>
2	Gramíneas	12	Gelo / Glaciar
3	Floresta de coníferas	13	Região Pantanosa / Alagada
4	Floresta de coníferas decidual	14	Água interior
5	Floresta Estacional Decidual	15	Oceano
6	Floresta Ombrófila Densa	16	Vegetação arbustiva perene
7	Vegetação Herbáceo-arbustiva	17	Vegetação arbustiva decidual
8	Deserto	18	Combinação Floresta / Pasta- gem
9	Tundra	19	Mosaico de pastagem e floresta
10	Agricultura irrigada	20	Combinação água e terra

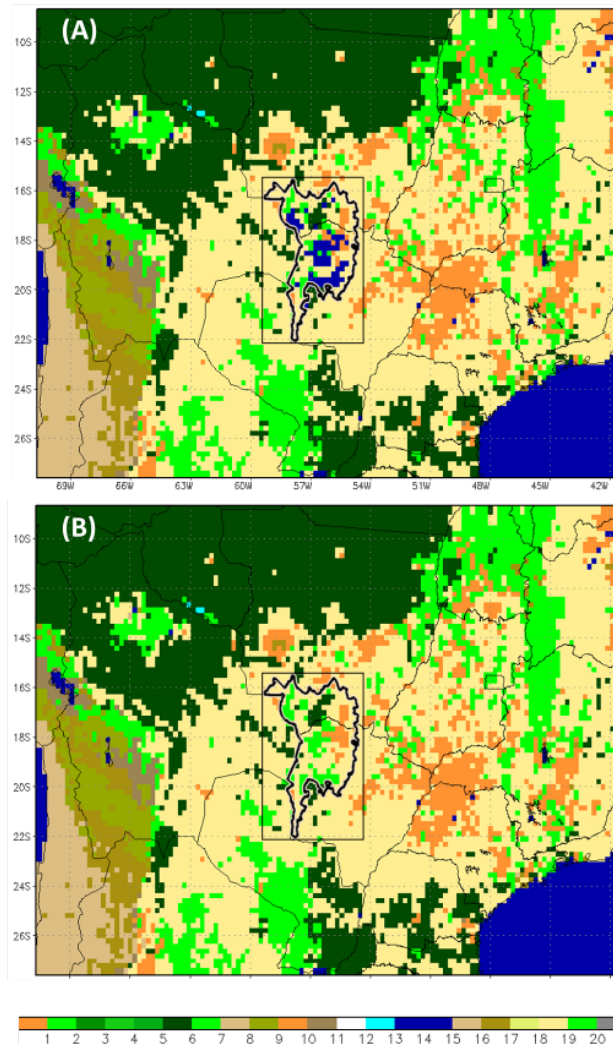
Para iniciar as simulações climáticas no REGCM3 deve-se definir o domínio (área de abrangência do modelo), espaçamento da grade, resolução temporal, projeção, dados de entrada para o contorno inferior e as condições laterais, entre outros. A solução das equações no modelo climático considera as informações da forçante lateral e das equações físicas presentes. Desta forma, em domínios pequenos as condições dos limites laterais exercem maior controle sobre as simulações climáticas. Em estudos em que se deseja analisar a sensibilidade de determinado parâmetro, como, por exemplo, as mudanças no uso e cobertura da terra, devem-se empregar domínios maiores de forma a permitirem respostas significativas às mudanças propostas nos processos físicos envolvidos (Leduc e Laprise, 2009).

Neste trabalho o domínio escolhido, centrado em 56°20'W e 18°30'S, compreende a área definida pelas coordenadas 71°00' W e 27°00' S; e 42°00' W e 9°00' S (130 pontos na direção zonal, 90 pontos na direção meridional e 18 níveis atmosféricos, com resolução horizontal de 25 km). Após a definição das características do modelo (resolução espacial, temporal, domínio, projeção, etc), os arquivos das condições de contorno lateral e inferior foram originados para o intervalo de 01/09/2006 a 01/06/2007. Além da informação acerca do uso e cobertura da superfície terrestre, são informadas ao modelo as condições da temperatura da superfície do mar para o período de interesse. Utilizaram-se informações semanais de temperatura da superfície do mar provenientes do *Optimum Interpolation Sea Surface Temperature* (OISST) e as condições de contorno do *National Center for Environmental Prediction* (NCEP) *Reanalysis* (NNRP1) (Kalnay et al., 1996).

A verificação do impacto nos parâmetros climáticos pela alteração da superfície foi realizada pela simulação de duas situações distintas para os dados de uso e cobertura da superfície, como mostra a **Figura 2**. Na primeira, denominada de simulação controle, os dados do GLCC de 1992 (**Figura 2b**) foram considerados como condição de contorno inferior; na segunda, denominada de experimento, os dados com informações do uso e cobertura da superfície foram estimados com base no produto MOD43B3 (caracterizando o novo mapa de uso e cobertura da terra), que contém os valores de albedo de ondas curtas, reflectância no visível e reflectância no infravermelho próximo e médio, obtidos

diariamente pelo sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) da plataforma *Earth Observing System* (EOS/TERRA), o que pode ser observado na **Figura 2a**).

Os resultados foram analisados para o período de fevereiro a junho de 2007, tendo sido descartados os quatro primeiros meses de simulação, de setembro a dezembro de 2006, necessários à estabilização do modelo.



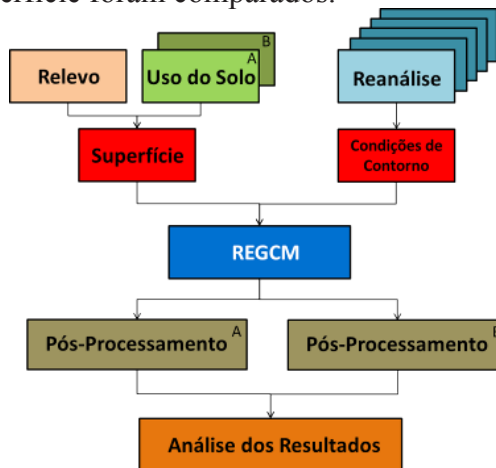
**Figura 2.** (A) Mapa de uso e cobertura da terra com áreas alagadas utilizadas para simular as condições da época de cheias no Bioma Pantanal; (B) Mapa original de uso e cobertura da terra do REGCM, GLCC de 1992.

A **Figura 3** mostra o fluxograma da metodologia com as sequências de passos realizados. O primeiro procedimento para rodar o modelo climático REGCM3 é a geração de um arquivo com os dados de superfície, que é constituído pela interpolação dos dados do relevo e do uso e cobertura da terra para a resolução da grade selecionada. Nesta primeira etapa são geradas as condições de contorno lateral a partir dos dados de temperatura do ar, altura geopotencial, componente vertical do vento (em coordenada de pressão), pressão atmosférica da superfície, umidade relativa e componentes meridional e zonal do vento, dados obtidos, neste caso, da Reanálise I.

Após a realização dos procedimentos para gerar os arquivos de superfície e as condições de contorno lateral, prossegue-se com a execução do modelo. Neste caso,



foram realizadas duas rodadas distintas, uma para o uso e cobertura da terra original do modelo (**Figura 2B**) e outra, com as áreas alagadas (**Figura 2A**). Ao final de cada rodada no modelo, os dados simulados são processados e transformados para o formato *NetCDF*, permitindo sua visualização em diversos aplicativos. Assim, os campos de precipitação, evapotranspiração, temperatura da superfície e umidade obtidos por cada uma das condições de superfície foram comparados.



**Figura 3.** Fluxograma da metodologia.

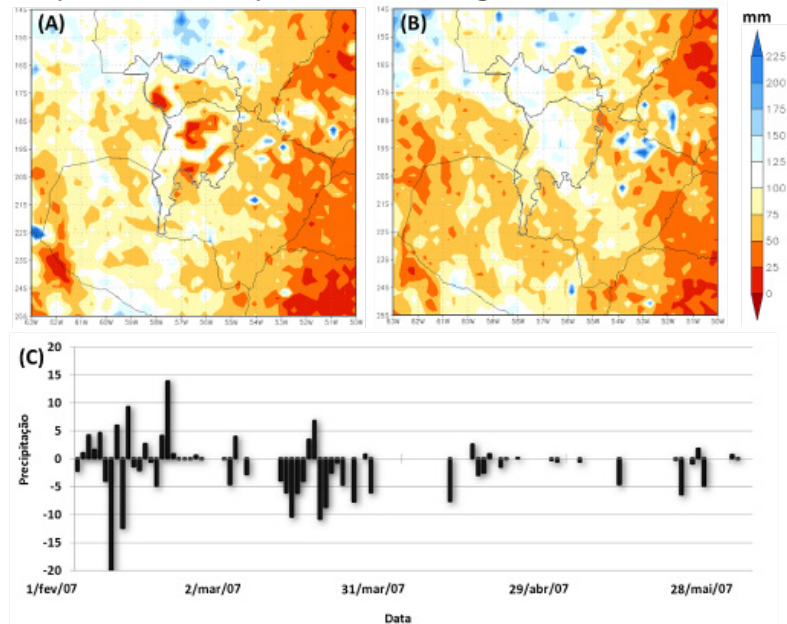
#### 4. Resultados e Discussão

O Bioma Pantanal é caracterizado por apresentar uma variação significativa na dinâmica intra e interanual das áreas alagadas. Estas podem abranger pouco mais de 30 mil km<sup>2</sup> ou chegar, em anos com elevadas anomalias pluviométricas, a 60 mil km<sup>2</sup> (Cardozo et al., *in press*). A alteração das propriedades físico-químicas e biológicas das componentes terrestres ocasiona variações consideráveis nos processos da superfície, afeta a disponibilidade de energia para as diferentes trocas na interface superfície-atmosfera, além de alterar os ciclos biogeoquímicos. Embora se conheça de maneira geral o papel e a influência das áreas alagadas no Pantanal, oriunda de análises qualitativas, o conhecimento mais profundo dos possíveis impactos decorrentes da alteração da superfície deve ser contemplado. .

Um dos meios para estimar o papel destas áreas alagadas na atmosfera é o uso de modelos climáticos regionais com a consideração da variação do uso e cobertura do solo para dois cenários distintos e controlados. Desta forma, ao utilizar os mesmos dados que alimentam o modelo, as diferenças detectadas entre as duas simulações podem ser atribuídas à modificação das propriedades da superfície. A **Figura 4** mostra as principais alterações na precipitação da região do Bioma Pantanal na época de cheias, entre fevereiro e maio de 2007. Embora haja uma flutuação temporal dos valores de precipitação (**Figura 4C**), principalmente durante o mês de fevereiro de 2007, observa-se, em média, a diminuição das chuvas com a presença de áreas alagadas (**Figura 4A**) em relação às condições com áreas secas (**Figura 4B**) no Pantanal. Esta característica é explicada pelas propriedades físicas da água e pelos processos convectivos que ocorrem na área de estudo. Uma vez que o calor específico da água é elevado, necessita-se de uma quantidade de radiação muito maior para aquecer os corpos d'água do que áreas de pastagem e solo exposto. Consequentemente, os movimentos ascendentes, que ocasionam a ascensão do ar quente e originam as chuvas convectivas, diminuem com a presença de áreas alagadas.

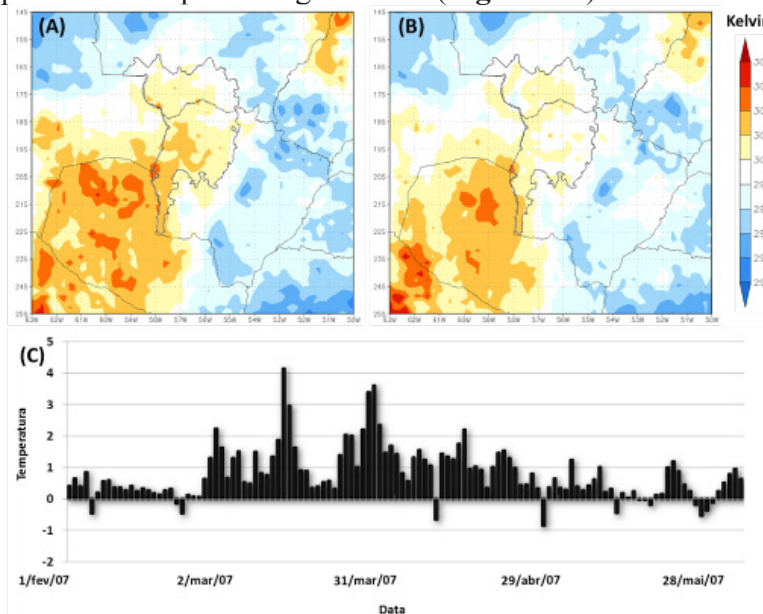
Entretanto, em algumas situações pode-se observar um aumento de 10 a 15 mm

na precipitação média da área de estudo (final de fevereiro, **Figura 4c**), associadas na maioria das vezes com elevadas temperaturas diárias (máxima superior a 34°C. Todavia, o aumento de área alagada provocou uma diminuição máxima do volume total de precipitação na Bacia Hidrográfica do Alto Paraguai igual a 80 mm, ficando, em média, 5 mm abaixo em relação a uma situação sem áreas alagadas.



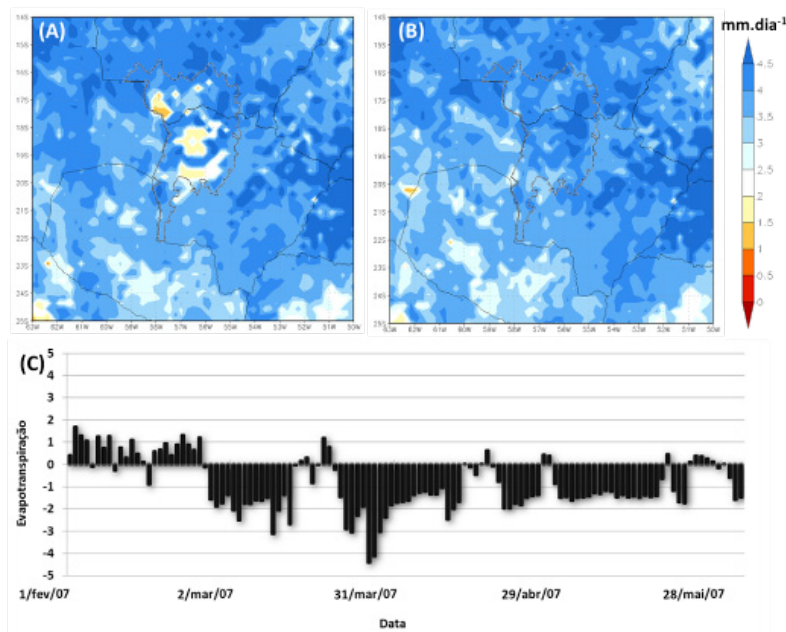
**Figura 4.** Variação da precipitação (mm) para o bioma Pantanal entre 01/fev/2007 e 31/mai/2007. (A) Simulação com a área alagada; (B) Simulação sem a área alagada; (C) Evolução temporal da diferença média da precipitação entre as duas simulações.

A **Figura 5** mostra a variação ocorrida na temperatura média diária para ambas as simulações. Percebe-se o aumento da temperatura com a expansão da área alagada, principalmente a sudoeste do domínio (**Figura 5a** e **Figura 5b**), uma vez que os corpos d'água atuam como reguladores térmicos, ou seja, armazenam calor durante o dia e liberam gradativamente durante a noite. Em relação ao experimento controle, considerando a superfície sem áreas alagadas, o experimento com áreas alagadas apresenta um aumento médio da temperatura da superfície igual a 1°C (**Figura 5C**).



**Figura 5.** Temperatura (Kelvin) média para o bioma Pantanal entre 01/fev/2007 e 31/mai./2007, para a (A) simulação com a área alagada e a (B) simulação sem a área alagada. (C) Evolução temporal da diferença da temperatura média entre as duas simulações.

A **Figura 6** mostra as alterações na evapotranspiração. Esta variável é um indicativo da perda de água pela superfície a partir da evaporação e/ou pela perda de água da planta no processo de transpiração. A evapotranspiração é a principal responsável pelo retorno da água precipitada para a atmosfera, sua unidade é  $\text{mm.dia}^{-1}$ , ou seja, se levarmos em consideração um hectare com uma camada de 1 mm, a evapotranspiração potencial seria de  $10 \text{ m}^3$  de água por hectare para um determinado dia. Nas **Figuras 6A** e **6B** pode-se verificar os resultados das simulações para ambos os experimentos.



**Figura 6.** Variação da evapotranspiração (mm) para o bioma Pantanal entre 01/fev./2007 e 31/mai./2007, para a (A) simulação com a área alagada e a (B) simulação sem a área alagada. (C) Evolução temporal da diferença da evapotranspiração entre as duas simulações.

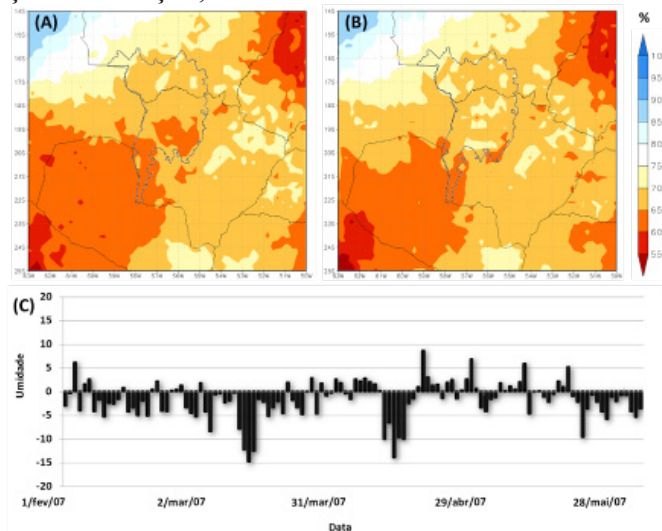
Na simulação com área alagada percebe-se uma diminuição significativa da evapotranspiração, principalmente nas áreas onde a superfície foi modificada (**Figura 6a** e **Figura 6b**). Em alguns casos esta redução é superior a  $3 \text{ mm.dia}^{-1}$  (**Figura 6C**). As principais causas da redução da evapotranspiração devem estar relacionadas com a temperatura da superfície, o calor específico, a alteração do regime de ventos devido à circulação local, alteradas pela substituição de fisionomias vegetais por água. Pode-se citar, por exemplo, as alterações na temperatura devido ao albedo (o albedo da água, em geral, é menor do que o albedo da vegetação, provocando mais absorção de radiação solar) e às propriedades caloríficas da água (que aquece mais lentamente em comparação aos solos). A alteração do regime de ventos, em muitos casos, pode provocar a diminuição da evaporação devido à diminuição da rugosidade da superfície. O aumento da velocidade do vento reduz as interações e transportes verticais de umidade entre as camadas de ar saturadas e os corpos d'água.

É interessante notar que no início do período, mês de fevereiro de 2007, a evapotranspiração média simulada para o experimento com áreas alagadas é maior do que a evapotranspiração média simulada para o experimento controle (**Figura 6c**) e que,



no restante do período, esta diferença é sempre negativa. Este fato pode estar relacionado à maior quantidade de radiação solar recebida entre novembro e fevereiro durante o verão do hemisfério sul, provendo energia suficiente para a realização da evapotranspiração neste período. Ou seja, em períodos com energia radiante suficiente, a evapotranspiração em áreas alagadas pode ser maior do que em áreas não alagadas. Desta forma, propõe-se a realização de experimentos de simulação para períodos distintos em relação à quantidade de energia solar mínima necessária para a evaporação potencial.

A **Figura 7** mostra as alterações ocorridas na umidade relativa do ar (%) para a simulação de áreas alagadas (**Figura 7A**) e para uma simulação sem a ocorrência de cheias (**Figura 7B**). A umidade relativa do ar é definida como a relação entre a pressão parcial de vapor real e a pressão de vapor à saturação na mesma temperatura. Em outras palavras, a umidade relativa pode ser considerada como um índice utilizado para descrever o conteúdo de vapor de água presente na atmosfera e indicar a proximidade deste ar em alcançar a saturação. Quanto maior a pressão de vapor de saturação, mais difícil para a parcela de ar alcançar a saturação, sendo menor a umidade relativa.



**Figura 7.** Variação da umidade relativa (%) para o bioma Pantanal entre 01/fev./2007 e 31/mai./2007, para a (A) simulação com a área alagada e a (B) simulação sem a área alagada. (C) Evolução temporal da diferença da umidade entre as duas simulações.

A umidade relativa pode sofrer alteração de acordo com alguns fatores, como, por exemplo, a variação diurna da temperatura do ar, o movimento vertical do ar, a chegada de uma frente fria e mudanças na evapotranspiração. Como visualizado nas **Figuras 5A** e **6A**, com o incremento das áreas alagadas há um aumento da temperatura da superfície e uma diminuição da evapotranspiração. Estes fatores combinados ocasionam uma diminuição da umidade relativa do ar na área de estudo, pois temperaturas altas elevam o ponto de saturação e a diminuição da evapotranspiração diminui a quantidade de vapor na parcela de ar. A redução nesta variável chega, em alguns casos, a 15%, como visualizado na **Figura 7C**, influenciando significativamente a quantidade da precipitação.

## 5. Considerações Finais

A simulação dos dois experimentos propostos, com e sem a consideração de áreas alagadas na região do Pantanal, com a execução do modelo REGCM3, permitiu verificar algumas alterações regionais nas condições da atmosfera no período de fevereiro a maio de 2007. A

inclusão de águas alagadas fez com que a evapotranspiração e a precipitação apresentassem uma diminuição média durante o período simulado. Por outro lado, a temperatura média da área apresentou um aumento significativo. Destes resultados, verifica-se que o balanço de energia foi respeitado. O aumento de temperatura e precipitação na área a sudoeste do domínio sugere a ocorrência de transporte de umidade para a área ou a formação de nebulosidade por convecção localizada, fato que deve ser verificado posteriormente. A variabilidade da diferença de temperatura e evapotranspiração entre fevereiro/2007 e o restante do período sugere associação com a variação sazonal da radiação solar disponível em superfície, o que deve também ser verificado.

## 6. Referências

- Assine, M. River avulsions on the Taquari megafan, Pantanal wetland, Brazil. **Geomorphology**, v. 70, n. 3-4, p. 357-371. doi: 10.1016/j.geomorph.2005.02.013, 2005.
- Assine, M.L.; Soares, P.C. Quaternary of the Pantanal, westcentral Brazil. **Quaternary International**, v. 114, p. 23-34, 2004.
- BRASIL Ministério do Meio Ambiente. **Projeto de Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélite**. SUBPROJETOS Monitoramento do bioma Pantanal. Brasília, DF, 30 p. Projeto concluído. Unidades executoras: Ministério do Meio Ambiente (MMA) e Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). Disponível em: <[http://siscom.ibama.gov.br/monitorabiomas/pantanal/RELATORIO\\_PANTANAL\\_2008\\_PMDBBS.pdf](http://siscom.ibama.gov.br/monitorabiomas/pantanal/RELATORIO_PANTANAL_2008_PMDBBS.pdf)>. Acesso em: 09 ago. 2010. 2007.
- Dickson, R.E.; Hederson-Sellers, A.; Kennedy, P.J. **Biosphere-atmosphere transfer scheme (bats) version 1e as coupled to the near community climate model**, Tech. rep., National Center for Atmospheric Research, 1993.
- Kalnay, E.; Kanamitsu, M.; Kistler, R.; Collins, W.; Deaven, D.; Gandin, L.; Iredell, M.; Saha, S.; White, G.; Wollen, J.; Zhu, Y.; Letman, A.; Reynolds, R.; Chelliah, M.; Ebisuzaki, W.; Higgins, W.; Janowiak, J.; Moo, K.C.; Ropelewski, C.; Wang, J.; Jenne, R.; Joseph, D. (1996) – **The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project**. Bulletin of the American Meteorological Society.
- Leduc, M.; Laprise, R. Regional climate model sensitivity to domain size. **Climate Dynamics**, v. 32, n. 6, p. 833-854. doi: 10.1007/s00382-008-0400-z, 2008.