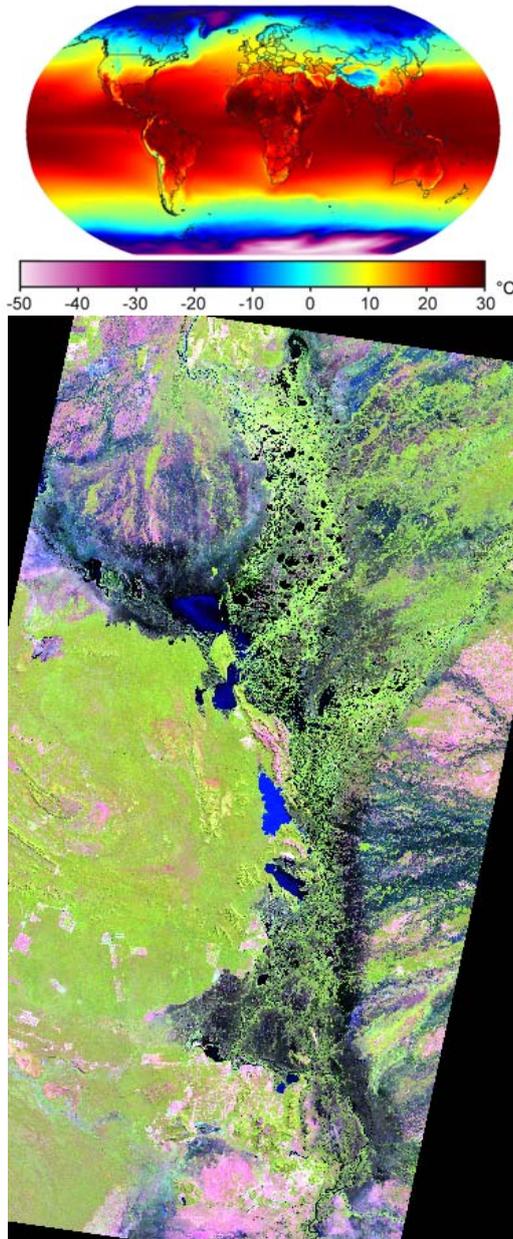


Cenários de Desenvolvimento Sustentável no Pantanal em Função de Tendências Hidroclimáticas



Documentos 98

Cenários de Desenvolvimento Sustentável no Pantanal em Função de Tendências Hidroclimáticas

Ivan Bergier
Iria Iromi Ishii
Suzana Maria Salis
Luiz Alberto Pellegrin
Emiko Kawakami de Resende
Walfrido Moraes Tomás
Márcia Toffani Simão Soares

Corumbá, MS
2008

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Pantanal

Rua 21 de Setembro, 1880, CEP 79320-900, Corumbá, MS

Caixa Postal 109

Fone: (67) 3233-2430

Fax: (67) 3233-1011

Home page: www.cpap.embrapa.br

Email: sac@cpap.embrapa.br

Comitê de Publicações:

Presidente: *Thierry Ribeiro Tomich*

Secretário-Executivo: *Suzana Maria de Salis*

Membros: *Débora Fernandes Calheiros*

Marçal Henrique Amici Jorge

Jorge Antonio Ferreira de Lara

Secretária: *Regina Célia Rachel dos Santos*

Supervisor editorial: *Suzana Maria de Salis*

Normalização bibliográfica: *Viviane de Oliveira Solano*

Editoração eletrônica: *Regina Célia Rachel dos Santos*

Foto da capa: *Luiz Alberto Pellegrin*

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação - CIP
Embrapa Pantanal

Cenários de desenvolvimento sustentável no pantanal em função de tendências hidroclimáticas [recurso eletrônico] / Ivan Bergier [et al]... – Corumbá: Embrapa Pantanal, 2008.

20 p. (Documentos / Embrapa Pantanal, ISSN 1981-7223; 98).

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: <<http://www.cpap.embrapa.br/publicacoes/online/DOC98.pdf>>

Título da página da Web (acesso em 30 de março 2009)

1. Mudanças climáticas 2. Hidrologia 2. Desenvolvimento sustentável I. Bergier, Ivan II. Ishii, Iria Iromi III. Salis, Suzana Maria IV. Pellegrin, Luiz Alberto V. Resende, Emiko Kawakami de VI. Tomás, Walfrido Moraes VII. Soares, Márcia Toffani Simão VIII. Série

CDD 551.6 (21.ed.)

Autor

Ivan Bergier

Biólogo, Doutor em Energia Nuclear na Agricultura
Embrapa Pantanal
Rua 21 de Setembro 1880, Caixa Postal 109
Telefone (67) 3233-2430

Iria Iromi Ishii

Bióloga, Doutora em Ecologia e Recursos Naturais
Universidade Federal do Mato Grosso do Sul
Avenida Rio Branco 1270, Caixa Postal 252
Telefone (67) 3234-6822

Suzana Maria Salis

Bióloga, Doutora em Biologia Vegetal
Embrapa Pantanal
Rua 21 de Setembro 1880, Caixa Postal 109
Telefone (67) 3233-2430

Luiz Alberto Pellegrin

Mestre em Tratamento de Informação Espacial
Embrapa Pantanal
Rua 21 de Setembro 1880, Caixa Postal 109
Telefone (67) 3233-2430

Emiko Kawakami de Resende

Bióloga, Doutora em Ciências
Embrapa Pantanal
Rua 21 de Setembro 1880, Caixa Postal 109
Telefone (67) 3233-2430

Walfrido Moraes Tomás

Veterinário, Doutorando em Conservação da Natureza
Embrapa Pantanal
Rua 21 de Setembro 1880, Caixa Postal 109
Telefone (67) 3233-2430

Márcia Toffani Simão Soares

Engenheira Agrônoma, Doutora em Agronomia
Embrapa Pantanal
Rua 21 de Setembro 1880, Caixa Postal 109
Telefone (67) 3233-2430

Apresentação

Nesse trabalho é feita uma análise prospectiva do futuro hidrológico do Pantanal sob a perspectiva de dados pretéritos, da mudança do clima com base em relações entre o nível máximo do Rio Paraguai, interação oceano-atmosfera e precipitação na América do Sul.

A cenarização hidroclimática, incluindo a componente humana, permite ainda identificar adaptações e oportunidades para as próximas décadas, também em função de mudanças e tendências da economia mundial.

José Aníbal Comastri Filho
Chefe-Geral da Embrapa Pantanal

Sumário

Sumário

Cenários de Desenvolvimento Sustentável no Pantanal em Função de Tendências Hidroclimáticas	7
Introdução	7
Emissão Antrópica de Gases de Efeito Estufa e o Aquecimento dos Oceanos	7
Emissão vulcânica de aerossóis e o resfriamento eventual dos oceanos.....	8
Relação entre mudança do uso da terra, oceanos e o nível do Rio Paraguai em Ladário.....	10
Cenários hidroclimáticos de desenvolvimento sustentável no Pantanal	14
Considerações Finais.....	17
Referências.....	18

Cenários de Desenvolvimento Sustentável no Pantanal em Função de Tendências Hidroclimáticas

*Ivan Bergier
Iria Iromi Ishii
Suzana Maria Salis
Luiz Alberto Pellegrin
Emiko Kawakami de Resende
Walfrido Moraes Tomás
Márcia Toffani Simão Soares*

Introdução

O presente estudo busca prospectar cenários de desenvolvimento sustentável (crescimento econômico com responsabilidade sócio-ambiental) no Pantanal a partir de uma análise contextual sob a perspectiva da mudança do clima. Os cenários tangíveis são construídos a partir de um diagnóstico que fornece evidências de causas regionais e globais para as variações interanuais observadas no nível máximo de água no Rio Paraguai, em Ladário. As causas regionais podem estar ligadas às mudanças do canal principal do Rio Taquari, induzidas pelo aumento das chuvas e pelo maior aporte de sedimentos provocado pela mudança do uso da terra (erosão) na Bacia do Alto Taquari. As causas globais parecem estar ligadas à elevação da temperatura dos oceanos, em função do aumento das emissões antrópicas de gases de efeito estufa (GEE), que resultou no aumento regional das chuvas a partir de 1974. Em contraposição, os oceanos podem eventualmente esfriar devido a emissões estratosféricas de aerossóis por eventos extremos de erupção vulcânica. Outro fator relevante é o desmatamento da Amazônia, dado que boa parte das chuvas no Pantanal pode ter origem naquela região. Embora no médio prazo a disponibilidade hídrica na planície de inundação do Rio Paraguai deva permanecer ao redor dos níveis atuais, a mudança do clima deve favorecer eventos extremos de precipitação e estações secas mais prolongadas. Secas extremas devem afetar em particular áreas de pouca influência do pulso de inundação do Rio Paraguai, como a sub-região da Nhecolândia, no Pantanal Sul-Mato-Grossense. Diante de cenários ambientais e econômicos tangíveis, adaptações e oportunidades para o desenvolvimento sustentável da região podem ser alicerçadas na criação e uso de tecnologias visando o manejo adequado de biomassa vegetal terrestre e aquática para a manutenção de serviços ambientais essenciais da biodiversidade (remoção de carbono da atmosfera e produção de água), bem como para a mitigação da emissão de gases de efeito estufa através da produção de energia (biocarvão, etanol celulósico, bio-óleo, gás de síntese, hidrocarbonetos, etc) e insumos (madeira, fertilizantes, fibras, etc) renováveis.

Emissão antrópica de gases de efeito estufa e o aquecimento dos oceanos

O Quarto Relatório de Avaliação (AR4) do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas da Organização das Nações Unidas (IPCC, 2007) mostra que as atividades humanas, em especial o consumo de combustíveis fósseis e a mudança do uso da terra serão os principais responsáveis por alterações significativas nos padrões globais de circulação atmosférica e oceânica. A mudança do clima deverá repercutir, ainda neste século, na dinâmica e estrutura de ecossistemas e sociedades em todo o mundo. O Pantanal carece de conhecimento a respeito dos possíveis efeitos da mudança climática sobre os ecossistemas regionais e atividades sócio-econômicas vigentes (agropecuária, pesca, turismo, mineração).

Os oceanos recobrem 3/4 da superfície do planeta e são aquecidos pela radiação solar de ondas curtas e pela radiação de ondas longas refletida pela superfície terrestre. As ondas longas, por sua vez, são em parte re-emitidas para a superfície do planeta por gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera. Estudos mostram que o atual aquecimento do planeta resulta não somente da flutuação dos níveis de irradiância, raios UV (ultravioleta) ou raios cósmicos solares. Esses três fatores explicam somente uma pequena fração da variabilidade da temperatura do planeta (Solanki e Krivova, 2003; Alexeev, 2007), visto que os oceanos tem ganhado calor, apesar da diminuição dos

níveis de irradiância solar nas últimas três décadas (Solanki e Krivova, 2003; Alexeev, 2007). O ganho líquido de calor dos mares é atualmente atribuído às emissões antrópicas de GEE (Levitus et al., 2000, 2005; Domingues et al., 2008). A Figura 1 apresenta estimativas da mudança (anomalia) do conteúdo de calor nos oceanos do mundo e no Oceano Atlântico desde 1948. O balanço do conteúdo de calor nos mares tem se mantido em valores positivos particularmente a partir de meados da década de 1970.

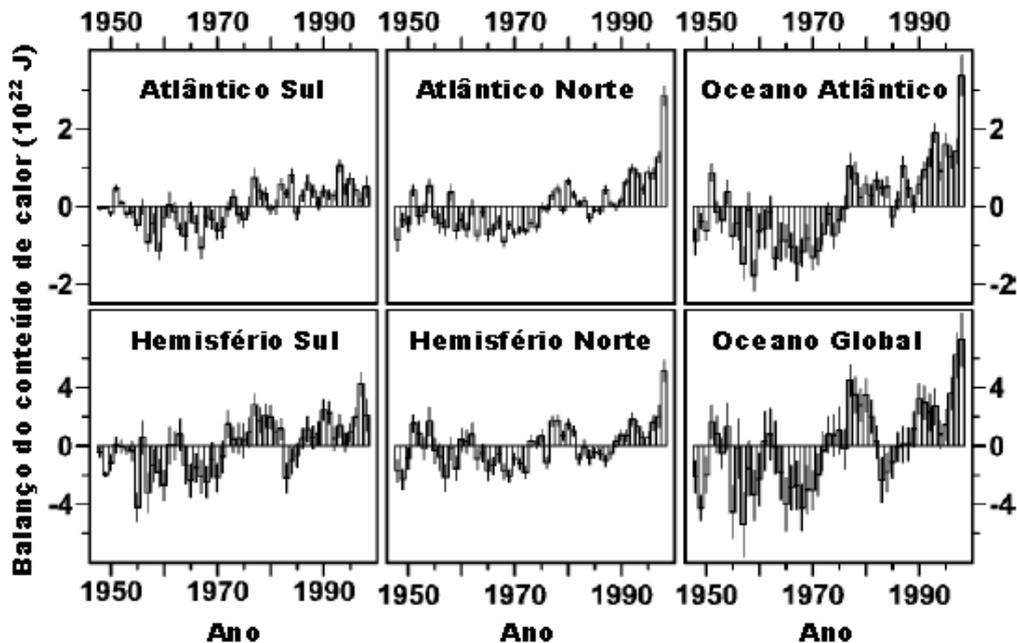


Figura 1. Balanço de calor armazenado no Oceano Atlântico e nos Oceanos do Mundo. Valores positivos indicam armazenamento de energia termal ($1,5 \times 10^{22}$ J equivale a 1 W-ano.m^2). Fonte: adaptado de Levitus et al. (2000).

Emissão vulcânica de aerossóis e o resfriamento eventual dos oceanos

A variabilidade da Temperatura Superficial do Mar (TSM) tem sido bem reproduzida por modelos que incluem, além das variabilidades climáticas internas (circulações oceânicas e atmosféricas induzidas pela energia solar), forçantes externas como a emissão de GEE e emissões de aerossóis por eventos extremos de erupções vulcânicas (Cazenave, 2005; Church et al., 2005; Santer et al., 2006; Domingues et al., 2008). Santer et al. (2006) verificaram que as forçantes externas explicam grande parte da variabilidade da TSM durante o século 20. A liberação de aerossóis na estratosfera por grandes eventos de erupção vulcânica bloqueia parte da radiação solar, refletindo-a de volta ao espaço. Esse processo eventual diminui a entrada de energia solar e tem como efeito uma redução temporária na temperatura dos oceanos. Na Figura 2 apresenta-se a relação entre eventos extremos de aerossóis (Profundidade Óptica de Aerossóis na Estratosfera ou POAE) e oscilações da TSM nos oceanos Atlântico e Pacífico.

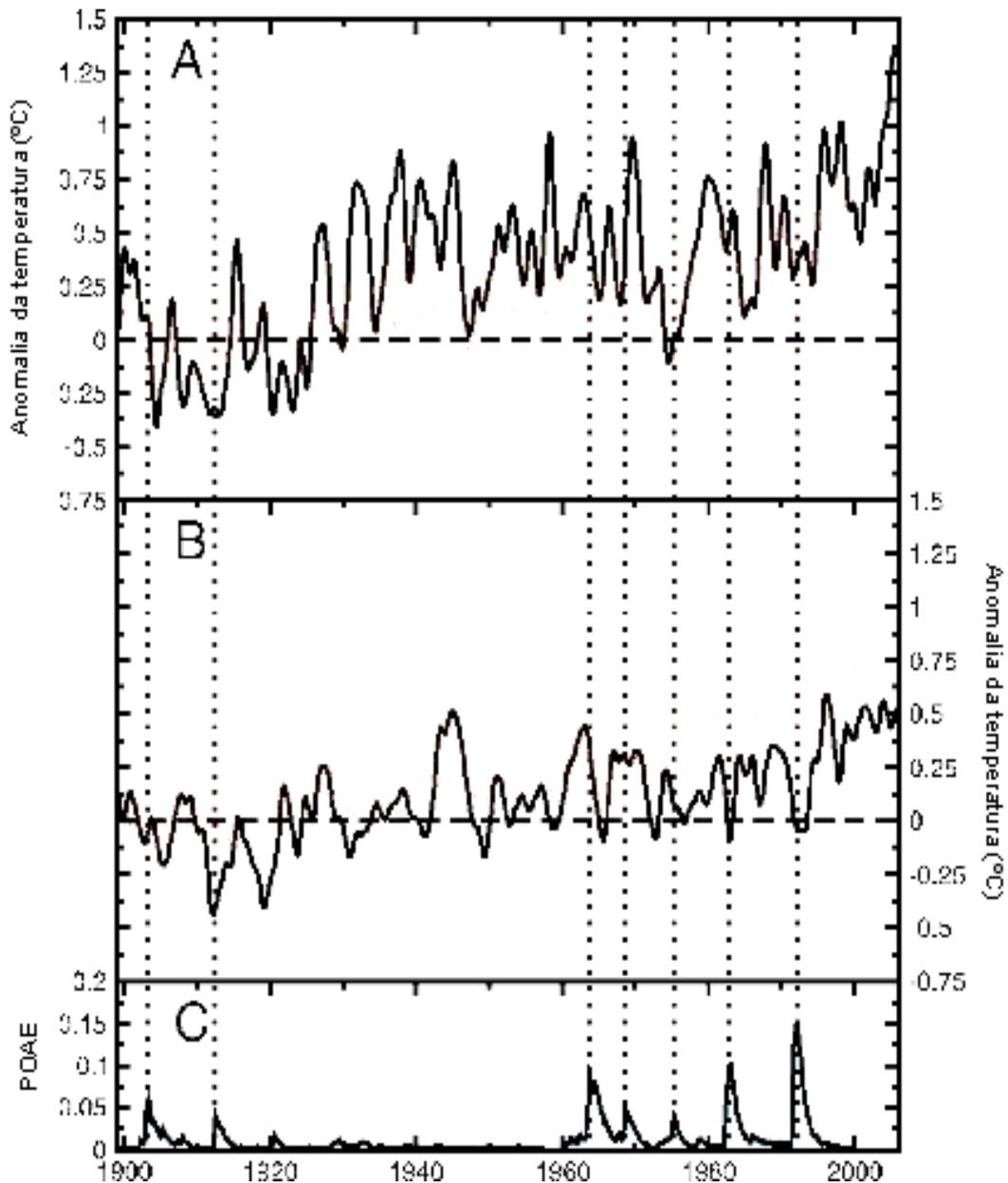


Figura 2. Relação entre as anomalias da temperatura superficial do mar (TSM) nos oceanos Atlântico (A) e Pacífico (B) com atividades vulcânicas (C) medidas através da Profundidade Óptica de Aerossóis na Estratosfera (POAE). Fonte: adaptado de Santer et al. (2006).

Similarmente à Figura 1, nota-se, na Figura 2, uma tendência de aumento da TSM, atribuída à intensificação das emissões de GEE. Parte das oscilações em torno dessa tendência pode estar relacionada a emissões vulcânicas extremas de aerossóis.

Relação entre mudança do uso da terra, oceanos e o nível do Rio Paraguai em Ladário

A série histórica do Rio Paraguai em Ladário (MS) vem sendo construída pela Marinha Brasileira desde 1900. Representa hoje o melhor e mais completo registro histórico das flutuações hidrológicas no Pantanal (Galdino e Clarke, 1995, 1997). A oscilação interanual do nível do Rio Paraguai é uma resposta integrada da quantidade de água precipitada na Bacia do Alto Paraguai (Bolívia e Estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul), da quantidade de água evapotranspirada e da quantidade de água drenada para aquíferos subterrâneos. Portanto, mudanças no regime de chuva e mudanças estruturais na Bacia do Alto Paraguai serão necessariamente refletidas nas oscilações interanuais registradas na série temporal. Entre as mudanças estruturais pode se destacar a mudança do uso da terra na parte alta da Bacia do Rio Taquari (Galdino et al., 2005; Padovani et al., 2005). O crescente aporte de sedimentos (Godoy et al., 2005) levou ao assoreamento do leito do Rio Taquari dentro do Pantanal, com o consequente rompimento do seu dique aluvial na região do Caronal (Assine, 2005). Assim, boa parte do volume de água do rio tem sido espalhada em vasta área da região do Paiaguás (margem direita), a montante de Ladário (Figura 3). Esse processo pode eventualmente contribuir para a manutenção de níveis máximos elevados no Rio Paraguai em Ladário, uma vez que, até a década de 1980, quase toda água do Rio Taquari era direcionada para a região a jusante de Ladário. Atualmente, um volume de água desconhecido do Rio Taquari está sendo direcionado para o Rio Paraguai à montante de Corumbá, muito possivelmente contribuindo com as mudanças nos padrões hidrológicos medidos pela régua de nível em Ladário. Até 1979 os menores valores observados de nível máximo do rio, isto é, anos mais secos, variavam entre 1,1 e 2,7 metros, enquanto que de 1980 em diante vem variando entre 3,2 e 4,3 metros.

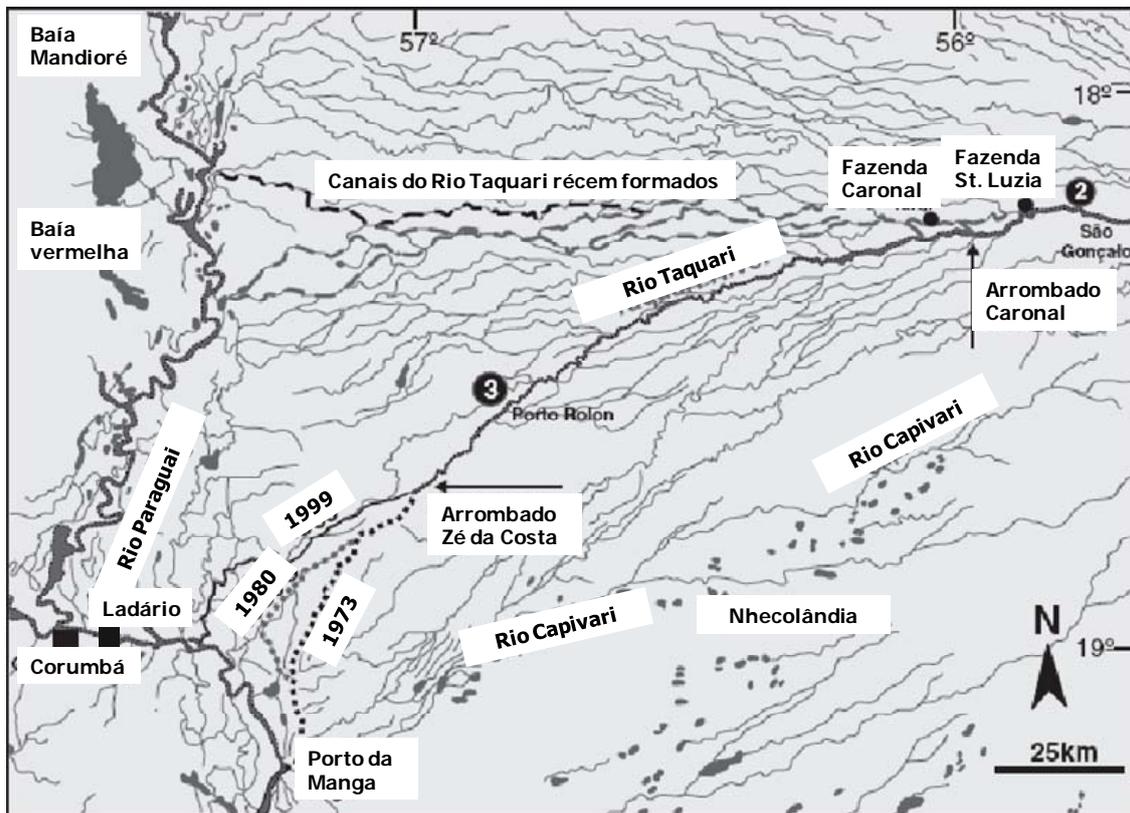


Figura 3. Mudanças do canal principal na planície aluvial do Rio Taquari desde 1973 por causa do aumento da erosão no Planalto (intensificação do uso inadequado da terra) e das chuvas após o longo período seco (1964-1973). Fonte: adaptado de Assine (2005).

A Figura 4 apresenta as variações interanuais do nível máximo do Rio Paraguai em Ladário. Nota-se dois grandes períodos, um de grandes oscilações cheia/seca (1900-1973) e outro de pequenas oscilações (1974-2008). Percebe-se, ainda, um período contínuo de 10 anos de seca (1964-1973). A medida do grau de oscilação pelo coeficiente de variação ($CV \% = \text{desvio padrão} \times \text{média}^{-1} \times 100$) mostra que entre 1974 e 2008 as oscilações caíram mais que a metade em relação a 1900-1973.

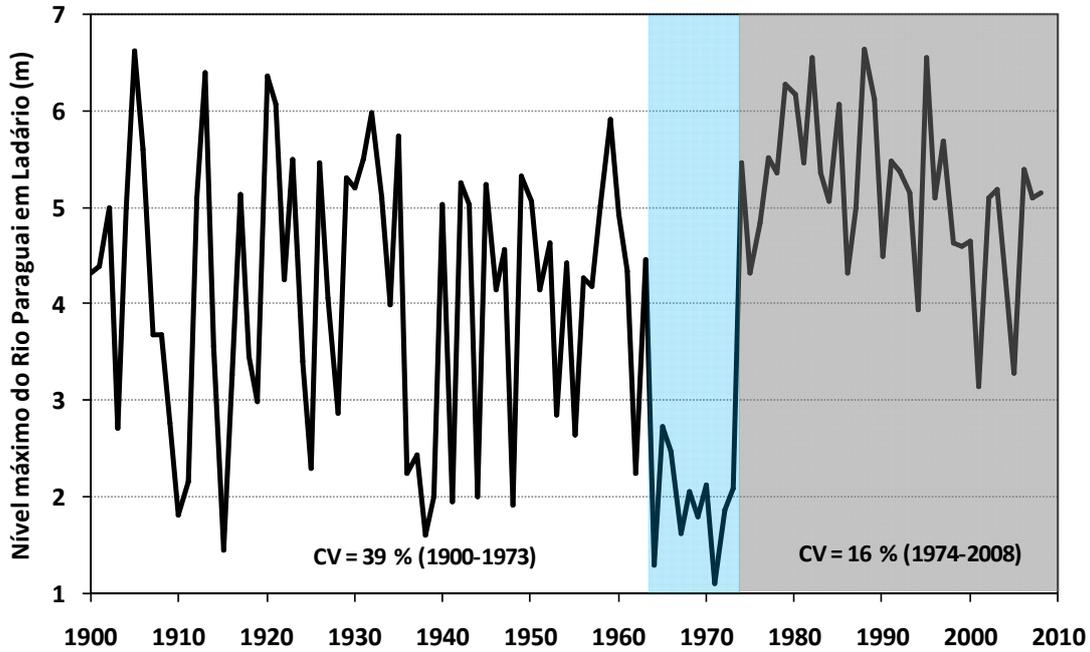


Figura 4. Variação interanual do nível máximo do Rio Paraguai em Ladário (MS) entre 1900 e 2008. Em branco (1900-1973) e em cinza (1974-2008) são apresentados dois períodos distintos com seus respectivos coeficientes de variação (CV). Em azul claro destaca-se o prolongado período seco entre 1964 e 1973.

Além das mudanças estruturais do Taquari, a elevação do nível de água em Ladário após 1973 pode ter relação também com o aumento das chuvas na região (Galdino et al., 1997, 2002, 2005; Soriano et al., 2001;). As chuvas continentais na América do Sul derivam do transporte troposférico (*tropos* = movimento) de vapor d'água originado no Oceano Atlântico e do processo de evapotranspiração continental, particularmente da Floresta Tropical Amazônica (Salati, 1987; Grootes et al., 1989; Victoria et al., 1991; Vera et al., 2006). O transporte de umidade ocorre por células de convecção, cuja formação é induzida pela energia do Sol, mais intensa na região equatorial (trópicos). A dissipação do calor equatorial ocorre pelo transporte latitudinal de umidade em direção aos pólos. No entanto, há ainda células de transporte longitudinal induzidas pela rotação terrestre em torno do próprio eixo e outros fenômenos atmosféricos e oceânicos. A mudança de intensidade dos ventos criados pelo transporte longitudinal pode alterar a troca de calor entre o oceano e a atmosfera, sendo o exemplo clássico desse complexo fenômeno o ENSO (sigla em Inglês) ou El Niño Oscilação Sul (Trenberth et al., 1998). O ENSO tem ganhado força com a emissão antrópica de GEE, especialmente a partir da década de 1970 (Dai et al., 2002). Até 2004 foram lançados pelo menos 315 bilhões de toneladas de CO₂. Em apenas 34 anos, cerca de 200 bilhões de toneladas (2/3 do total) foram lançados na atmosfera após 1970 (Figura 5).

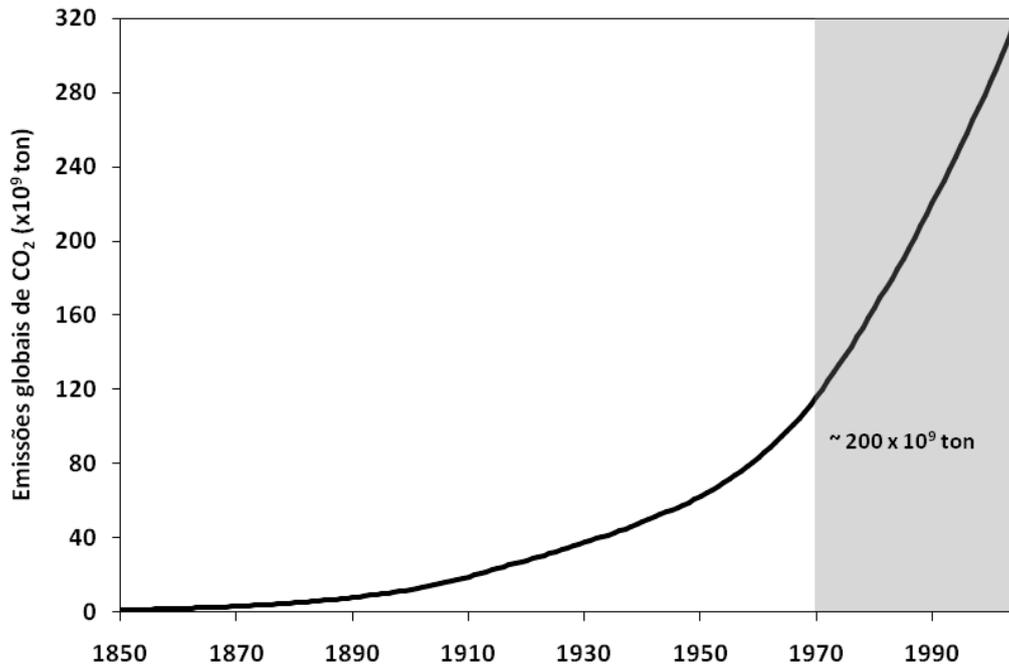


Figura 5. Emissões antrópicas de CO₂ pelo uso de combustíveis fósseis e pela produção de cimento. A área cinza refere-se às emissões integradas no período 1970-2004. Fonte: adaptado de Marland et al. (2007).

Não há, entretanto, evidências claras a respeito da influência do ENSO no Pantanal (Galdino e Resende, 2000; Resende e Galdino, 2001; Paegle e Mo, 2002). A Bacia do Alto Paraguai situa-se em uma região intermediária em relação ao dipolo de influência do ENSO na América do Sul; entre as regiões Norte/Nordeste (mais úmido na fase La Niña, i.e., Oceano Pacífico Equatorial mais frio) e Sul (mais úmido na fase El Niño, i.e., Oceano Pacífico Equatorial mais quente). Alternativamente, é provável que a variabilidade do máximo anual do nível do Rio Paraguai seja em grande parte modulada pela variação da temperatura oceânica global, que por sua vez é modulada pela energia do sol e pelo balanço entre GEE antrópicos e aerossóis originados de eventos extremos de erupção vulcânica (Levitus et al., 2000, 2005; Church et al., 2005; Santer et al., 2006; Domingues et al., 2008). Não são muito evidentes os mecanismos geofísicos que explicam a relação entre o nível máximo do Rio Paraguai e a temperatura global oceânica. A maior parte da chuva no Pantanal origina-se, em suma, da evaporação do Oceano Atlântico Equatorial e da evapotranspiração da Floresta Tropical Amazônica. Um mecanismo plausível seria, portanto, o aumento do transporte de umidade dessas regiões para o centro-sul do continente sul-americano (Figura 6). Tal transporte, condicionado em parte pela barreira dos Andes (chuva de monções da América do Sul), tem se intensificado em função das mudanças na interação oceano-atmosfera (Marengo et al., 2004) e tem resultado no aumento da precipitação e da vazão de rios no centro-sul do continente sul-americano desde meados da década de 1970 (Dai et al., 2002; Liebmann et al., 2004; Vera et al., 2006). Simulações calibradas para o século 20 indicam que na Bacia do Rio Paraguai pode haver aumento de 5 a 10% na vazão de rios entre 2041-2060 (Milly et al., 2005).

Outro fenômeno de interação oceano-atmosfera, chamado de Oscilação do Atlântico Norte (NAO), também pode ter relação com a formação de nuvens e chuvas no Pantanal. Aparentemente quando o NAO é positivo há um aumento da intensidade dos ventos alísios sobre a Amazônia. Nessas condições, a precipitação no Pantanal pode aumentar e ampliar as chances de ocorrência de níveis máximo anuais mais elevados no Rio Paraguai. ENSO e NAO devem, portanto, ter uma influência combinada sobre o regime hidrológico do Pantanal (em preparação).

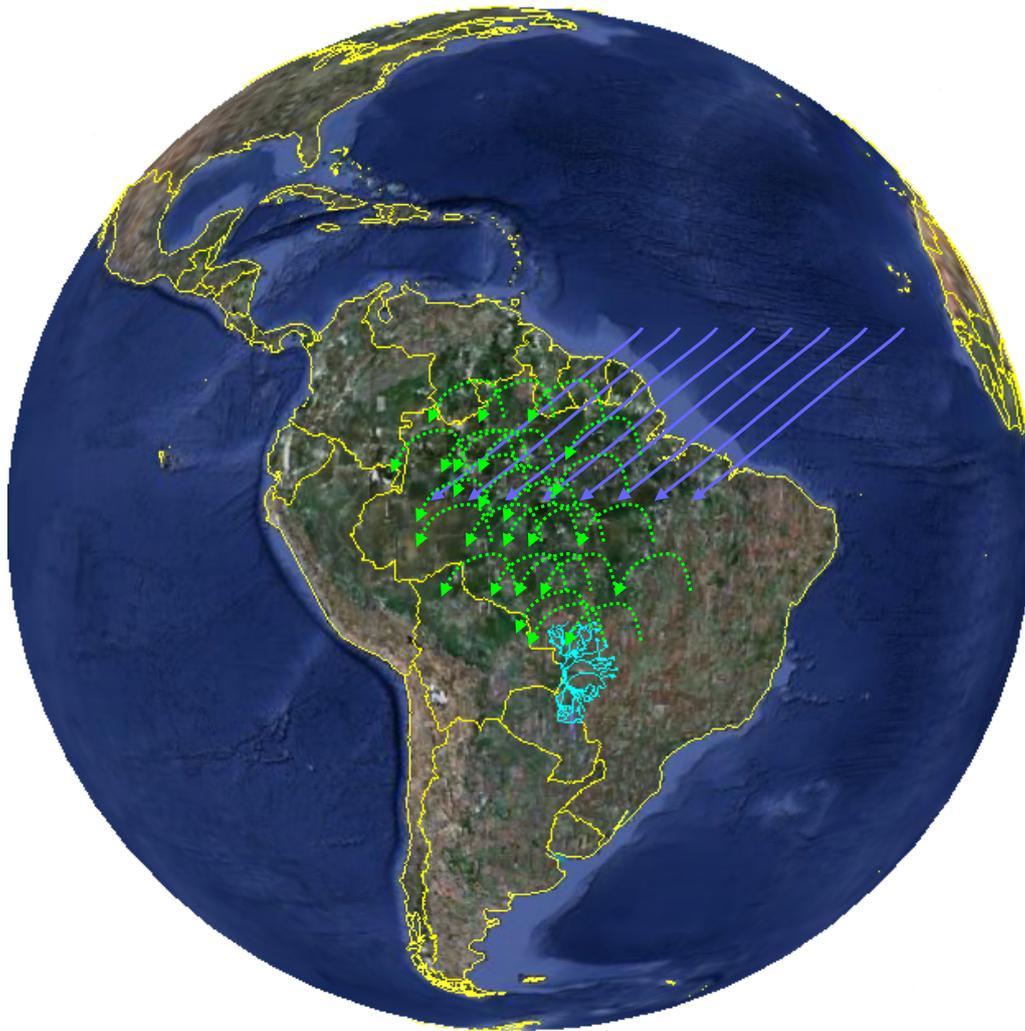


Figura 6. Representação esquemática dos fluxos (alísios) de umidade do Oceano Atlântico Equatorial (setas em azul escuro), da recirculação (evapotranspiração/chuva) de umidade na Floresta Tropical Amazônica e do transporte latitudinal em direção ao sul do continente latino-americano (ciclos tracejados em verde). A rede hidrográfica do complexo do Pantanal na Bacia do Alto Paraguai é representada em azul claro. Fonte: imagem adaptada do *Google Earth*, baseado em Grootes et al. (1989).

Embora um estudo atribua a teleconexões entre ENSO e o Oceano Atlântico (Paegle e Mo, 2002), a seca de 1964 a 1973 pode ter relação também com a erupção extrema do vulcão Agung na Indonésia (Bali), em fevereiro de 1963. Tal hipótese pode ser verificada traçando-se um paralelo entre as anomalias térmicas do oceano global e a TSM com a anomalia do nível do Rio Paraguai e eventos vulcânicos extremos (Figura 7). As anomalias de 1950 a 2003 foram filtradas por uma média móvel de 3 anos e são referenciadas a 1961. A concordância entre a anomalia térmica do oceano global e a anomalia do nível máximo do Rio Paraguai é evidente em todo o período analisado, inclusive no período de seca. Após as erupções dos vulcões Chichon (México) e Pinatubo (Filipinas), a anomalia do nível do Rio Paraguai descolou-se da anomalia térmica do oceano, mas manteve padrões oscilatórios compatíveis. A partir do ano 2000, há uma tendência de aumento tanto da temperatura (calor) dos oceanos, como do nível máximo do Rio Paraguai em Ladário (Figura 7).

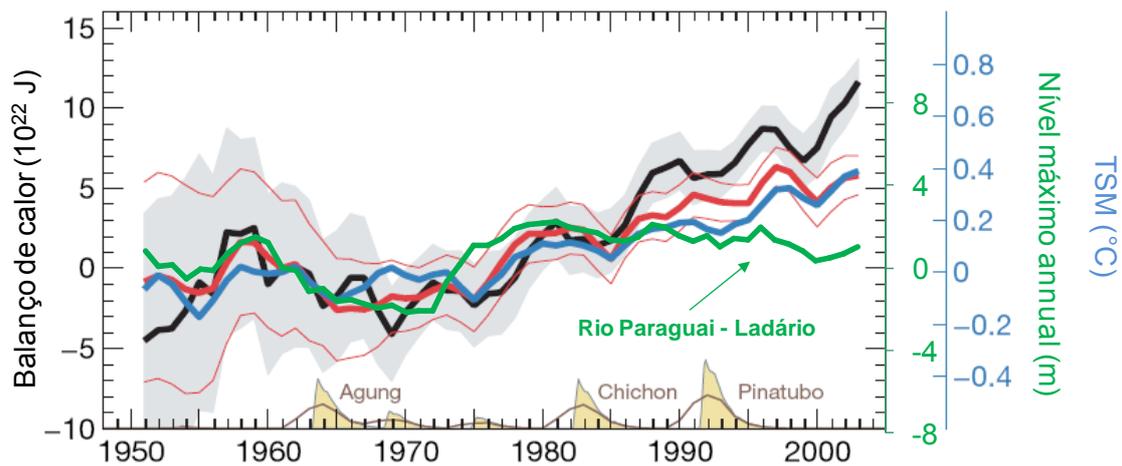


Figura 7. Anomalias da quantidade média de calor nos oceanos nas profundidades de 700 (linha preta, \pm desvio padrão em cinza) e 100 (linha vermelha, \pm desvio padrão em linhas vermelhas finas) metros, comparadas às anomalias da temperatura superficial do mar (em azul) e do nível máximo do Rio Paraguai em Ladário (em verde). Todas as séries compreendem o período de 1951-2003 (média móvel de três anos) relativo a 1961. As curvas preenchidas em amarelo denotam a Profundidade Óptica de Aerossóis na Estratosfera (POAE) em unidade arbitrária. Fonte: adaptado de Domingues et al. (2008).

Nota-se alguma correspondência entre as emissões de aerossóis na estratosfera (POAE) com períodos de diminuição termal dos mares e de redução do nível máximo do Rio Paraguai. O efeito de emissões extremas de aerossóis foi particularmente evidente nas décadas de 1960 e 1970, quando a quantidade de GEE na atmosfera era bem inferior aos níveis atuais. A quantidade de gases de efeito estufa na atmosfera é atualmente bem mais elevada (Figura 5), e pode atenuar a influência de eventos extremos vulcânicos sobre a temperatura do mar e, conseqüentemente, sobre o nível máximo do Rio Paraguai. Os efeitos destes (e outros) fatores de dinâmica climática precisam ser elucidados, especialmente no que tange à biota e à sócio-economia do Pantanal.

Cenários hidroclimáticos e desenvolvimento sustentável no Pantanal

A complexidade do clima planetário, além das oscilações solares, é fruto de laços de retroação que se estabelecem sob condições raramente previsíveis (controláveis) e habitualmente caóticas (quasi-aleatórias) (Ramanathan, 1988). Portanto é improvável o desenvolvimento de um modelo seguramente capaz de prever o estado futuro de médio prazo do Pantanal face à mudança do clima. Entretanto, existem forçantes de larga escala (baixa frequência) que guiam o estado climático futuro para cenários plausíveis e tangíveis. No presente estudo consideram-se como principais forçantes os GEE antrópicos, os aerossóis vulcânicos e as mudanças no uso da terra. Nesse sentido, é factível o contínuo aquecimento do planeta, tendo em vista as mínimas ações desempenhadas por nações em todo o mundo para a redução efetiva das emissões ou para a remoção de GEE da atmosfera. Considerem-se, ainda, os efeitos de longo prazo dos GEE já presentes na atmosfera. Portanto, se estiverem corretas as premissas de que i) oceanos mais quentes (ou frios) refletem em níveis máximos elevados (ou reduzidos) no Rio Paraguai, e que ii) emissões estratosféricas de aerossóis vulcânicos reduzem a temperatura dos oceanos, é muito provável que os níveis máximos de água em Ladário se situem em média entre 4 e 6 metros no médio prazo. Níveis máximos abaixo de 4 metros podem eventualmente ocorrer na medida em que emissões massivas de aerossóis vulcânicos (ou outros fenômenos) superem o efeito de aquecimento promovido pelos GEE presentes na atmosfera, resfriando os oceanos e diminuindo o transporte de umidade do norte do continente sul-americano para a região da Bacia do Alto Paraguai. Essa prospecção de cenários tangíveis é representada por um modelo simplificado na Figura 8.

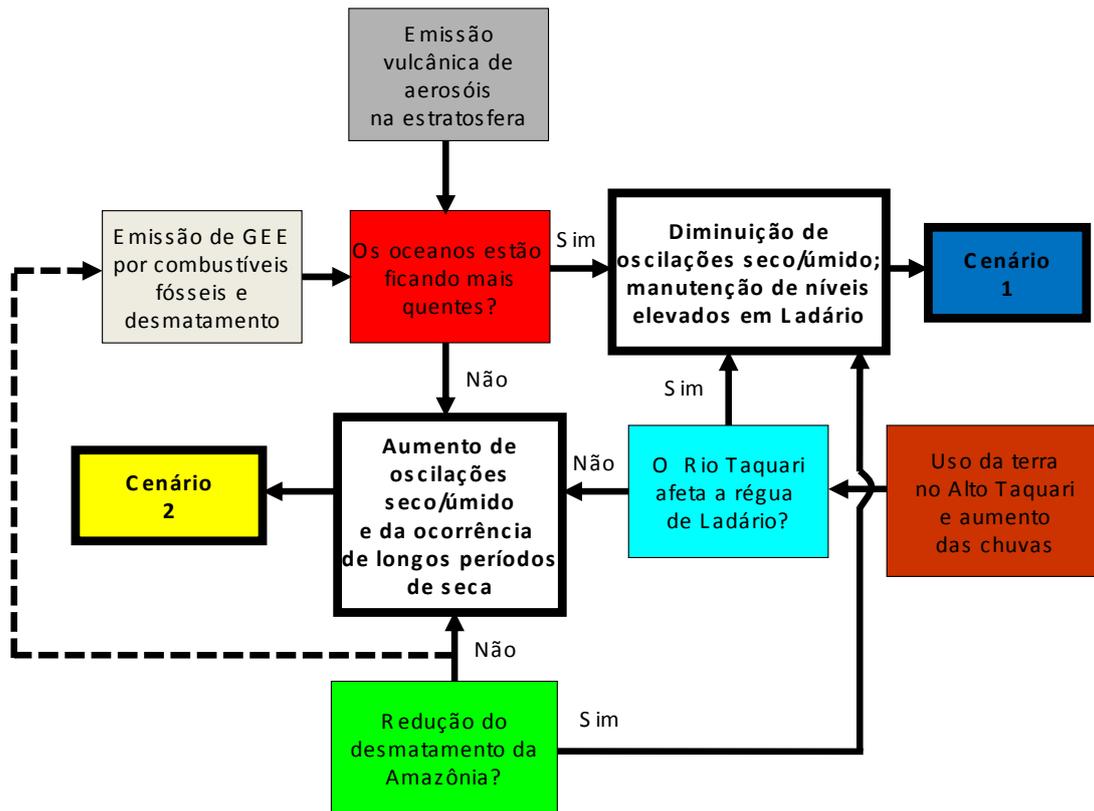


Figura 8. Prospecção de cenários tangíveis com relação ao nível máximo do Rio Paraguai em função de forçantes globais e regionais.

A tendência atual é direcionada ao cenário 1 (em azul na Figura 8) considerando-se, também, os efeitos da mudança na posição de descarga de água do Rio Taquari. O Rio Taquari desemboca regularmente no Rio Paraguai, a jusante de Ladário. O arrabado Caronal, todavia, pode mudar definitivamente o curso da calha principal mais ao norte, na altura das baías Mandioré e Vermelha, a montante da régua de Ladário (Assine, 2005, Figura 3). Portanto, ambos os cenários, global e regional, convergem para o cenário 1 no médio prazo. Se considerarmos um cenário “*business as usual*” (Nepstad et al., 2002), sem controle das taxas de desmatamento (e savanização) da Floresta Tropical Amazônica, é possível que o Pantanal seja pouco a pouco direcionado ao cenário 2 pela perda de fonte importante de umidade, apesar do aporte de GEE na atmosfera (linha tracejada na Figura 8).

Do ponto de vista sócio-econômico, o Pantanal tem passado por transformações e adaptações em função da variabilidade interanual e interdécadas do pulso de inundação. Em épocas mais secas, como entre 1964 e 1973, houve o predomínio da atividade pecuária e em períodos mais úmidos foram também verificadas atividades como a pesca e o turismo (Resende e Galdino, 2001). Na região de Corumbá há ainda a criação e perspectiva de expansão do pólo Mínero-Siderúrgico, que demandará grandes quantidades de carvão (mineral e vegetal) na produção de ferro gusa e aço.

O Brasil, recuperado da instabilidade econômica inflacionária, passa por uma fase de crescimento econômico, embora ainda haja grandes incertezas e desafios em diferentes esferas que assegurem a sustentabilidade em médio e longo prazo. Dentre as ameaças, pode-se destacar na esfera econômica a atual crise dos mercados internacionais. As questões relacionadas à conservação ambiental e uso racional dos recursos naturais ganham extrema relevância em função da mudança do clima. Portanto, é possível traçar um cenário de oportunidades para o desenvolvimento sócio-econômico no Brasil e no Pantanal (Figura 8), tendo em vista o crescimento de economias emergentes, a tendência de auto-regulação (homeostase) da economia mundial através da crescente interdependência econômica dos países e o aumento da demanda por produtos com “valor sócio-ambiental” e energias “verdes”, que promovam a homeostase dos ecossistemas e a manutenção dos serviços ambientais. Atividades econômicas evidentes nesse cenário são 1) o turismo em suas diversas modalidades (contemplativo, de aventura, entre outros), 2) a pesca esportiva e artesanal, 3) a produção consorciada de carne e pescado na planície inundável, e 3) o aproveitamento racional da biodiversidade em seus mais variados produtos, muitos ainda não revelados, como, por exemplo, fármacos e essências nativas. Outras atividades econômicas promissoras, emergentes da mudança do clima e das crises do petróleo e dos alimentos, são a manutenção da produção de água (crise iminente) e a produção de energia, materiais e fertilizantes derivados de biomassa.

Nas baías e corixos da planície de inundação a produção fotossintética (conversão biológica de energia do Sol em energia química) é elevada em função da disponibilidade solar e hídrica. Contudo, devido ao pulso de inundação, apenas espécies vegetais adaptadas conseguem colonizar esses ambientes. Tais plantas aquáticas, cujas espécies de maior relevância e de grande potencial de uso sustentável pertencem ao gênero *Eicchornia* (camalotes), caracterizam-se pelo rápido ciclo de vida anual, isto é, pela velocidade com que se reproduzem. A produtividade varia de espécie para espécie e em função do ciclo hidrológico (Paula, 1986), mas, em média, pode-se assumir um valor conservativo de 20 ton.ha⁻¹.ano⁻¹. A produção anual dessas plantas, em particular dos camalotes, é tão intensa, que parte significativa da biomassa é carregada pelo Rio Paraguai. Há pouco conhecimento sobre a dinâmica de escoamento e a ciclagem dessas plantas. Uma avaliação preliminar no Rio Paraguai em Corumbá indicou uma exportação de biomassa (seca) de aproximadamente 1,7 milhões de toneladas no ano de 1992 (Ramires, 1993), quando o nível máximo do Rio Paraguai em Ladário atingiu 5,38 metros. Essa quantidade representaria cerca de 35% do total de biomassa seca produzida por plantas aquáticas flutuantes, se assumirmos uma área de produção de 240 mil hectares ou 30% da área total do Pantanal do Paraguai em território brasileiro. Tal estimativa pode ser conservativa se considerados ainda os aportes de biomassa vegetal aquática das bacias do Miranda, Aquidauana, Negro, Abobral e Nabileque. No entanto, é importante salientar que estes números são preliminares e há deficiência de conhecimento sobre as funções e impactos ecológicos dessa biomassa exportada nos ecossistemas a jusante. Em 2009, serão iniciados pela Embrapa Pantanal estudos mais aprofundados da dinâmica de escoamento e do papel da biomassa de camalotes na calha do Rio Paraguai (Projeto CNPq/CT-Energ52, “Produção de biocombustíveis a partir de ilhas flutuantes de biomassa em planícies de inundação do Brasil: estudo de caso no Pantanal”, processo 578084/08-2). A biomassa vegetal aquática exportada apresenta diversos potenciais econômicos de médio prazo, como a produção de fibras, energia (bio-óleo, biocarvão, etanol celulósico, gás de síntese, hidrocarbonetos renováveis) e fertilizantes orgânicos. Um exemplo bastante atual é a produção de bio-óleo e biocarvão por pirólise. O bio-óleo pode ser convertido (gaseificação) a gás de síntese (CO + H₂), o qual pode ser convertido em catalisadores em hidrocarbonetos diversos, entre eles o óleo diesel. O biocarvão (finos de carvão) pode ser utilizado de diversas maneiras, desde a substituição de carvão (vegetal e mineral) na siderurgia à produção de fertilizantes mais eficientes e sequestro de carbono (Lehmann, 2007).

O uso da terra no planalto da Bacia do Alto Paraguai também interfere profundamente no funcionamento ecológico da planície pantaneira (Abdon et al., 2005). Os impactos mais evidentes da supressão da vegetação nativa e substituição por culturas agrícolas, especialmente pastagens com manejo inadequado, são relacionados à ruptura do equilíbrio dinâmico dos solos, à instalação de processos erosivos e o conseqüente assoreamento de cursos d’água que abastecem boa parte do Pantanal. Por este motivo, sistemas de cultivo e manejo que aumentem a resiliência dos sistemas agrícolas devem ser adaptados às condições regionais e monitorados a fim de avaliar a sua eficiência conservativa. Neste sentido, a produção de biomassa vegetal terrestre de espécies nativas que investem energia no acúmulo de biomassa e na produção de frutos, apresenta-se como potencial de uso sustentável para diversos fins, entre eles a manutenção de serviços ambientais (absorção de carbono atmosférico, produção de água, controle de erosão, manutenção da biodiversidade, etc). Em termos econômicos, a necessidade de reabilitação de áreas agrícolas em diferentes graus de perturbação vem ao encontro da crescente demanda do mercado nacional e internacional por produtos do setor florestal, tais como madeira para uso na construção civil, indústria moveleira, para produção de energia, fibras, frutos, extração de gomas, óleos, essências e demais subprodutos da silvicultura (Balzon et al., 2004; FAO 2008). No Pantanal e entorno há espécies de palmáceas nativas para aproveitamento dos frutos como fonte de energia e alimento (Silva et al., 1986; Salis e Juracy, 2005).

Atividades econômicas vinculadas ao extrativismo e/ou produção de plantas aquáticas e terrestres podem, desta forma, possibilitar benefícios sócio-ambientais tais quais a diversificação da renda, o seqüestro de carbono, a redução da pressão sobre matas nativas e a redução da emissão de GEE. Sistemas de produção de biomassa vegetal terrestre no Pantanal deverão ser substanciados por práticas que favoreçam o uso eficiente da água na propriedade rural (uso de técnicas de conservação do solo, instalação de cisternas, técnicas de reuso, etc), devido ao aumento da incidência de eventos prolongados de seca induzidos pela mudança do clima. Sistemas combinados de produção silvopastoril podem também contribuir para o controle da biomassa herbáceo-arbustiva potencialmente inflamável (Santos, 2008).

Considerações finais

A Hidrologia no Pantanal parece relacionar-se à temperatura dos oceanos, que por sua vez aquecem ou esfriam em função do balanço radiativo promovido pelas quantidades de GEE e aerossóis vulcânicos presentes na atmosfera. A seca prolongada (menos chuva) entre 1964 e 1973 pode ter sido disparada pela liberação de grandes quantidades de aerossóis do vulcão Agung em 1963 nas Filipinas. Por outro lado, o aumento das chuvas a partir de meados da década de 70, possivelmente em função da emissão antrópica de GEE, e a coincidente intensificação do uso do solo

no planalto, vem atuando sinergicamente na mudança dos padrões de escoamento superficial no leque aluvial do Rio Taquari e no Rio Paraguai. Até 1979, os níveis máximos do Rio Paraguai em Ladário em anos mais secos variaram entre 1,1 e 2,7 metros, enquanto que desde a década de 80 vem variando entre 3,2 e 4,3 metros. Em linhas gerais, a tendência verificada no médio prazo aponta para a manutenção de níveis máximos atuais no Rio Paraguai em Ladário, isto é, níveis máximos anuais superiores a 3 metros, considerando-se que o desmatamento da Floresta Tropical Amazônica seja controlado. Nessa perspectiva, e diante dos cenários nacional e internacional de médio prazo, o Pantanal apresenta oportunidades tais quais o uso racional de biomassa vegetal aquática e terrestre para diversas finalidades. A priori, é necessário conhecer a capacidade de suporte ambiental e a dependência de demais organismos sobre tal biomassa, para que seja utilizado somente o “excedente ecossistêmico” – a quantidade de biomassa que pode ser potencialmente utilizada sem alterar negativamente os processos ecológicos – visando sempre produtos competitivos (menor uso de insumos fósseis e maior responsabilidade sócio-ambiental) a fim de criar mecanismos de desenvolvimento sustentável dos países que partilham o Pantanal.

Agradecimentos

Aos colegas Fábio Galvani, Thierry Ribeiro Tomich, Marçal Henrique Amici Jorge e José Aníbal Comastri Filho pelas críticas e sugestões. Aos parceiros da Embrapa Labex-EUA, Embrapa Agroenergia e Unicamp/Bioware pela aprovação do projeto CNPq/CT-Energ52.

Referências

- ABDON, M. de M.; SOUZA, M. P. de; SILVA, J. dos S. V. da. Identificação de impactos ambientais no meio físico subsidiada por banco de dados georreferenciadas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., Goiânia, 2005. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2005. p. 2793-2798.
- ALEXEEV, V. A. Some features of climate change on Earth and its possible relation to solar-activity variations. **J. Solar System Res.**, v. 41, p. 527-534, 2007.
- ASSINE, M. L. River avulsions on the Taquari megafan, Pantanal Wetland, Brazil. **Geomorphology**, v. 70, p. 357-378, 2005.
- BALZON, D. R.; SILVA, J. C. G. L.; SANTOS, A. J. Aspectos mercadológicos de produtos florestais não madeireiros: análise retrospectiva. **Floresta**, v. 34, 363-371, 2004.
- CAZENAVE, A. Global change: sea level and volcanoes. **Nature**, v. 438, p. 35-36, 2005.
- CHURCH, J. A.; WHITE, N. J.; ARBLASTER, J. M. Significant decadal-scale impact of volcanic eruptions on sea level and ocean heat content. **Nature**, v. 438, p. 74-77, 2005.
- DAI, A.; TRENBERTH, K. E.; QIAN, T. A global dataset of Palmer Drought Severity Index for 1870-2002: Relationship with soil moisture and effects of surface warming. **J. Hydrometeorology**, v. 5, p. 1117-1130, 2002.
- DOMINGUES, C. M.; CHURCH, J. A.; WHITE, N. J.; GLECKLER, P. J.; WIJFFELS, S. E.; BARKER, P. M.; DUNN, J.R. Improved estimates of upper-ocean warming and multi-decadal sea-level rise. **Nature**, v. 453, p. 1090- 1093, 2008.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Forestry**. Disponível em: <www.fao.org/forestry/> . Acesso em: 25 ago. 2008.
- GALDINO, S.; CLARKE, R. T. **Levantamento e estatística descritiva dos níveis hidrométricos do Rio Paraguai em Ladário, MS - Pantanal - Período 1900/1994**. Corumbá: EMBRAPA- CPAP., 1995. 71 p. (EMBRAPA-CPAP. Documentos, 14).
- GALDINO, S.; CLARKE, R. T. **Probabilidade de ocorrência de cheia no rio Paraguai, em Ladário, MS - Pantanal**. Corumbá: EMBRAPA- CPAP, 1997. 58 p. (EMBRAPA- CPAP. Circular Técnica, 23).
- GALDINO, S.; CLARKE, R. T.; PADOVANI, C. R.; SORIANO, B.M.A.; VIEIRA, L.M. Evolução do regime hidrológico na planície do baixo curso do rio Taquari - Pantanal. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRICOS, 12., 1997, Vitória. **Anais...** Vitória: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1997. p. 383-390.
- GALDINO, S.; RESENDE, E. K. **Previsão de cheias e secas da Embrapa auxilia pantaneiros**. Corumbá: EMBRAPA - CPAP, 2000. 5p. Artigo de Divulgação na Mídia.
- GALDINO, S.; PADOVANI, C. R.; SORIANO, B. M. A.; VIEIRA, L. M. **Mudanças do regime hidrológico da bacia hidrográfica do Rio Taquari – Pantanal**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2002, 24p. (Embrapa Pantanal. Boletim de Pesquisa, 26).
- GALDINO, S.; PADOVANI, C. R.; SORIANO, B. M. A.; VIEIRA, L. M. Alterações no regime hidrológico da planície do Baixo Taquari. In: GALDINO, S.; VIERA, L. M.; PELLEGRIN, L. A. (Org.). **Impactos ambientais e socioeconômicos nas Bacia do Rio Taquari - Pantanal**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2005. p. 175-181.
- GODOY, J. M.; PADOVANI, C. R.; VIEIRA, L. M.; GALDINO, S. Geocronologia do assoreamento e níveis de mercúrio em lagos marginais do Rio Taquari no Pantanal. In: GALDINO, S.; VIEIRA, L. M.; PELLEGRIN, L. A. (Org.). **Impactos ambientais e socioeconômicos na Bacia do Rio Taquari - Pantanal**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2005. p. 163-173.
- GROOTES P. M.; STUIVER, M.; THOMPSON, L. G.; MOSLEY-THOMPSON, E. Oxygen isotope changes in tropical ice, Quelccaya, Peru. **J. Geophys. Res.**, v. 94, p. 1187-1194, 1989.

- IPCC. Summary for policymakers. In: SOLOMON, S., D. QIN, M.; MANNING, Z.; CHEN, M.; MARQUIS, K. B.; AVERYT, M.; TIGNOR ; MILLER, H. L. (Ed.). **Climate change 2007: the physical science basis**. Contribution of working group in to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge: Cambridge University Press; New York, United Kingdom, 2007. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-spm.pdf>>. Acesso em: 15 dez. 2008.
- LEHMANN, J. A handful of carbon. **Nature**, v. 447, p. 143-144, 2007.
- LEVITUS, S.; ANTONOV, J. I.; BOYER, T. P.; STEPHENS, C. Warming of the world ocean. **Science**, v. 287, p. 2225-2229, 2000.
- LEVITUS, S.; ANTONOV, J.; BOYER, T. Warming of the world ocean, 1955–2003. **Geophys. Res. Letters**, v. 32, jan., 2005. L02604, doi:10.1029/2004GL021592, 2005.
- LIEBMANN, B.; VERA, C. S.; CARVALHO, L. M. V.; CAMILLONI, I. A.; HOERLING, M. P.; ALLURED, D.; BARROS V. R.; BAEZ J.; BIDEGAIN, M. An observed trend in central South American precipitation. **J. Clim.**, v.17, p. 4357-4367, 2004.
- NEPSTAD, D.; MCGRATH, D.; ALENCAR, A.; BARROS, A. C.; CARVALHO, G.; SANTILLI, M.; VERA-DIAZ, M.C. Frontier governance in Amazonia. **Science**, v. 295, p. 629-631, 2002.
- MARENGO, J. A.; LIEBMANN, B.; VERA, C.; NOGUÉS-PAEGLE, J.; BAEZ, J. Low frequency variability of the SALLJ. **Clivar Exchanges**, v. 9, p. 26-27, 2004.
- MARLAND, G.; BODEN, T.A.; ANDRES, R. J. Global, regional, and national CO2 emissions. In: DEPARTMENT OF ENERGY. Oak Ridge National Laboratory. **Trends: a compendium of data on global change - Carbon Dioxide Information Analysis Center**. Oak Ridge, 2008. Disponível em: <<http://cdiac.ornl.gov/trends/emis/overview.html>>. Acesso em: 8 ago. 2008.
- MILLY, P. C. D.; DUNNE, K. A.; VECCHIA, A. V. Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate. **Nature**, v. 438, p. 347-350, 2005.
- PADOVANI, C. R.; GALDINO, S.; VIEIRA, L. M. Dinâmica hidrológica e de sedimentação do Rio Taquari no Pantanal. In: GALDINO, S.; VIEIRA, L. M.; PELLEGRIN, L. A. (Org.). **Impactos ambientais e socioeconômicos nas Bacia do Rio Taquari - Pantanal**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2005. p. 153-162.
- PAEGLE, J. N.; MO, K. C. Linkages between summer rainfall variability over South America and sea surface temperature anomalies. **J. Clim.**, v. 15, p. 1389-1407, 2002.
- PAULA, J. E. Sugestões para o equilíbrio entre a exploração de recursos renováveis do Pantanal e preservação dos respectivos ecossistemas. **Ciência e Cultura**, v. 38, p. 817-828, 1986.
- RAMANATHAN, V. The greenhouse theory of climate change: a test by an inadvertent global experiment. **Science**, v. 240, p. 293-299, 1988.
- RAMIRES, J. R. S. **Transporte de bancos de macrófitas flutuantes em função do nível hidrométrico no rio Paraguai, Pantanal-MS**. 1993. 31p. Monografia (Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Corumbá, 1993.
- RESENDE, E. K.; GALDINO, S. **O Pantanal está secando?** Corumbá: Embrapa Pantanal, 2001. 2p. Artigo de Divulgação na Mídia.
- SALATI, E. The forest and the hydrological cycle. In: DICKINSON, R. E. (Ed.). **The Geophisiology of Amazonia: vegetation and climate interactions**. New York: John Wiley & Sons, 1987. 526p.
- SALIS, S. M.; JURACY, A. R. M. **A utilização da bocaiúva no Pantanal**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2005. 2p. Artigo de Divulgação na Mídia.
- SANTER, B. D.; WIGLEY, T. M. L.; GLECKLER, P. J.; BONFILS, C.; WEHNER, M. F.; ACHUTARAO, K.; BARNETT, T. P.; BOYLE, J. S.; BRÜGGEMANN, W.; FIORINO, M.; GILLET, N.; HANSEN, J. E.; JONES, P. D.;

KLEIN, S. A.; MEEHL, G. A.; RAPER, S. C. B.; REYNOLDS, R. W.; TAYLOR, K. E.; WASHINGTON, W. M. Forced and unforced ocean temperature changes in Atlantic and Pacific tropical cyclogenesis regions. **Proc. Natl. Acad. Sci.**, v. 103, p. 13905-13910. doi:10.1073/pnas.0602861103, 2006.

SANTOS, S. Competitividade, sustentabilidade e cadeia produtiva bovina no Pantanal. In: SANTOS, S. A.; DESBIEZ, A. L. J.; BUAINAIN, A. M.; ABREU, U. G. P. de.; SANTOS, D.; SILVA, R. A. M. S.; SANTOS, E. C. R. dos. (Ed.). **Cadeia produtiva bovina no Pantanal Sul-Mato-Grossense: diagnóstico participativo**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2008. 62 p.

SILVA, J. C.; BARRICHELO, L. E. G.; BRITO, J. O. Endocarpos de Babaçu e de Macaúba comparados à Madeira de *Eucalyptus grandis* para a Produção de Carvão Vegetal. **IPEF**, v.34, 31-34, 1986.

SOLANKI, S. K.; KRIVOVA, N. A. Can solar variability explain global warming since 1970? **J. Geophys. Res.**, v.108, maio, 2003. doi:10.1029/2002JA009753.

SORIANO, B. M. A.; CLARKE, R. T.; GALDINO, S. **Evolução da erosividade das chuvas na bacia do alto Taquari**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2001. 18p. (Embrapa Pantanal. Boletim de Pesquisa, 25).

TRENBERTH, K. E., BRANSTATOR, G. W.; KAROLY, D.; KUMAR, A.; LAU, N.-C.; ROPELEWSKI, C. Progress during TOGA in understanding and modeling global teleconnections associated with tropical sea surface temperatures, **J. Geophys. Res.**, v. 103, p. 14291-14324, 1998.

VERA C.; HIGGINS, W.; AMADOR, J.; AMBRIZZI, T.; GARREAU, R.; GOCHIS, D.; GUTZLER, D.; LETTENMAIER, D.; MARENGO, J.; MECHOSO, C.; NOGUES-PAEGLE, J.; SILVA DIAS, P. L.; ZHANG, C. Toward a unified view of the American Monsoon Systems. **J. Clim.**, v. 19, p. 4977-5000, 2006.

VICTORIA, R. L.; MARTINELLI, L.A.; MORTATTI, J.; RICHEY, J. Mechanisms of water recycling in the Amazon basin: isotopic insights. **Ambio**, v. 20, p. 384-387, 1991.



Embrapa Pantanal

Ministério da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento

Rua 21 de Setembro, 1880 - Caixa Postal 109

CEP 79320-900 - Corumbá-MS

Fone (067)3233-2430 Fax (067) 3233-1011

<http://www.cpap.embrapa.br>

email: sac@cpap.embrapa.br

**Ministério da Agricultura,
Pecuária e Abastecimento**

