

CONTRIBUIÇÃO DOS DADOS TRMM 3B42 AO ESTUDO DAS PRECIPITAÇÕES NO MATO GROSSO

Damien ARVOR¹

Vincent DUBREUIL^{1,5}

Josyane RONCHAIL²

Margareth SIMÕES PENELLO MEIRELLES^{3,4}

¹ COSTEL UMR 6554 CNRS – LETG

Université Rennes 2

Place du Recteur H. Le Moal

35043 RENNES CEDEX, France

Vincent.dubreuil@uhb.fr, damien.arvor@uhb.fr

² LOCEAN (CNRS-IRD-UPMC-MNHN) / ISPL

Université Paris 7

Case 100, 4 place Jussieu

75252 Paris Cedex 05, France

Josyane.Ronchail@locean-ipsl.upmc.fr

³ Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ

Departamento de Engenharia de Sistemas e Computação – Pos Graduação em Geomatica

⁴ Embrapa Solos

Rua Jardim Botânico, 1024 – Rio de Janeiro, RJ

maggie.meirelles@gmail.com

⁵ Professor convidado no Centro de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília (bolsista da CAPES)

Este artigo foi publicado em francês com a referencia seguinte :

Arvor D., Dubreuil V., Ronchail J., Meirelles M. S. P., 2008, Apport des données TRMM à l'étude des précipitations au Mato Grosso, *Climatologie*, pp. 49-69.

Resumo :

Nas regiões tropicais, as precipitações são principalmente de origem convectivas e as redes de observações no terreno tem muitas falhas. Por isso, os dados do satélite TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) representam uma alternativa eficaz para o estudo da variabilidade espacial e temporal das chuvas. Esta variabilidade é abordada através de uma análise em componentes principais dos dados TRMM 3B42 (na escala mensal) de 1998 a 2006, que permite destacar a variabilidade sazonal e interanual das chuvas no Estado de Mato Grosso (Brasil), localizado no sul da bacia amazônica. Os produtos TRMM 3B42 são então validados através de indicadores estatísticos para ajudar a definir uma ótima resolução temporal que permite a análise de parâmetros tais como início, fim e duração da estação chuvosa. Esses parâmetros são cruciais para as culturas cultivadas na presente região, e especialmente a cultura da soja. Para calcular esses parâmetros, o método "Anomalous Accumulation" proposto por Liebmann (2006) foi escolhido. O início da estação chuvosa está detectado em outubro, mas aparece mais tarde no sudeste do que no noroeste. A data de fim da estação chuvosa ocorre em março e progride ao norte segundo um eixo norte-sul. A duração do período chuvoso varia de 4 a 5 meses. Os resultados mostram que a variabilidade da duração da estação chuvosa está relacionada principalmente a alterações nas datas de início das chuvas (mais de 2 meses de diferença entre 2 anos extremos num período de 8 anos), enquanto o final da estação chuvosa é mais regular. Além disso, o início da estação das

chuvas varia em mais de 15 dias, em média, entre as principais regiões de produção de soja, o que nos permite compreender as variações de calendários agrícolas e dá indicações preliminares sobre a vulnerabilidade dos produtores.

Palavras chaves : TRMM, precipitações, Mato Grosso, estação chuvosa, soja.

Abstract :

In tropical regions where convective rainfall is predominant while raingauge networks are deficient, satellite estimates as proposed by the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) can represent an efficient alternative way of studying rainfall spatiotemporal variability. A Principal Component Analysis based on monthly data allows mapping the various rainy regimes encountered in the south Amazonian state of Mato Grosso (Brazil). The TRMM 3B42 products are then validated based on statistical indexes. It permits determining an optimal 5-days temporal scale, which is then used to calculate rainy season parameters such as date of onset and end and duration. Those parameters are established based on the "Anomalous Accumulation" method proposed by Liebmann (2006). The date of onset occurs in October and occurs later in the south-east than in the north-west. The date of end is detected in March and progresses according to a N-S orientation. Consequently, the rainy season duration lasts from four to five months. It appears that the duration variability is especially linked to the onset variability (more than 2 months between 2 extreme years in 8 years) while the end of the rainy season is much more regular. Moreover, the onset date displays a 15 days amplitude between the main soybean productions regions. Thus, it explains the various agricultural calendars applied in Mato Grosso and help explaining the farmer's vulnerability.

Key words : TRMM, rainfall, Mato Grosso, rainy season, soybean.

Introdução

O estudo das chuvas em regiões tropicais é frequentemente confrontado ao problema da insuficiência de dados devido a baixa densidade da rede de estações pluviométrica e devido a diversas lacunas nas séries históricas (Dubreuil et al. 2004; Collischonn e al., 2007). Assim, as precipitações da margem sul da Amazônia brasileira ainda são pouco conhecidas: o volume precipitado como a variabilidade espaço-temporal dos regimes foram pouco estudados devido às insuficiências das redes de observações tradicionais nesta região (Dubreuil et al. , 2004). Para resolver este problema, a solução proposta nos últimos trinta anos consiste em usar dados de satélite para obter estimativas consistentes de precipitação sobre toda a superfície terrestre, especialmente sobre os oceanos e as regiões em desenvolvimento. Entre as várias estimativas existentes, os dados do espectroradiômetro TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) são particularmente interessantes porque eles têm sido especialmente projetados para fornecer informações em áreas tropicais onde ocorre quase dois terços da precipitações do planeta (Silva et al., 1996).

Além disto, os trópicos estão sujeitos a forte pressão antrópica como evidenciado pela taxa de desmatamento nas diferents florestas nestas latitudes. A comunidade científica questiona sobre as conseqüências da atividade humana sobre o clima e os ciclos pluviométricos. A situação na Amazônia brasileira e, especialmente, no Estado de Mato Grosso, localizado ao sul da bacia, é particularmente interessante. Na verdade, é neste estado que são observadas por mais de vinte anos, as taxas de desmatamento mais altas na

Amazônia, ou seja, 36% do desmatamento na Amazônia (INPE 2008). A situação é mais complexa ainda uma vez que as novas atividades agrícolas desenvolvidas são altamente dependentes das condições climáticas. Assim, nos últimos anos, a safra de soja no Mato Grosso (o principal produto de exportação e fonte de divisas estrangeiras para o Estado) foram comprometidas devido a variabilidade das precipitações. Os problemas encontrados a respeito desse assunto são de três tipos: 1) um período de seca na época do plantio pode afetar as fases iniciais de crescimento da soja, forçando os agricultores a replantar, 2) períodos de estiagem (veranico) ou chuvosos durante as fases vegetativas e reprodutivas podem causar quedas de produtividade; 3) períodos de chuvas intensas na fase da colheita podem afetar a qualidade dos grãos ou impedir o acesso das máquinas agrícolas aos talhões.

Este trabalho visa melhorar o conhecimento da distribuição espaço-temporal das chuvas no Mato Grosso. Primeiramente, os dados TRMM 3B42 são validados pelas observações das estações pluviométricas no solo. Estes dados são, então, utilizados para analisar a variabilidade interanual de chuvas. Finalmente, parâmetros simples como início, fim e duração da estação chuvosa são calculados. Estes parâmetros podem então ajudar a entender melhor as práticas agrícolas na escala regional.

1- Área de estudo e dados

1.1. O clima do Mato Grosso : conhecimentos fragmentados ligados a uma rede de observação recente e pouco densa

O clima tropical do Mato Grosso é caracterizado por fortes contrastes pluviométricos devido as grandes dimensões do Estado (906 806 km² entre 7 e 18 graus de latitude sul) (Figura 1). Esta diversidade reflete-se num clima sub-equatorial no norte do Estado e mais tropical nas partes meridionais e ocidentais. As temperaturas são bastante consistentes durante o ano (entre 22 e 26 ° C em média) e a amplitude térmica diária é regularmente acima da amplitude térmica média anual (10 ° C no Mato Grosso; Jallet, 2001). Sob estas condições, a pluviometria é o principal fator para caracterizar os diferentes climas da região, os quais se distinguem por duas estações distintas: uma estação seca no inverno austral, em torno de junho-julho-agosto e uma estação chuvosa no verão austral em torno de dezembro-janeiro-fevereiro. As diferenças pluviométricas organizam-se ao longo de um gradiente norte/sul, ligado a duração da estação chuvosa assim como ao volume de precipitações anuais Ratisbona, 1976 ; Figueroa et Nobre, 1990 ; Dubreuil *et al.*, 2004). A estação seca varia entre 3 meses no norte (com precipitações acima de 2000 mm/ano) e 5 meses no sul (com precipitações ligeiramente acima de 1000 mm/ano). As regiões de clima tropical com estação seca longa no sul do estado são, portanto, opostas as de clima sub-equatorial no norte (Sette, 2000).

A estação seca termina normalmente no mês de setembro, portanto, as chuvas se tornam mais frequente a partir dos meses de outubro e novembro. Segundo Dubreuil *et al.* (2004) : nesta época, toda a área transforma-se num sistema de baixas pressões, as massas de ar seco associadas ao anticiclone tropical do Atlântico Sul se movimentam rumo ao sudeste e deixando espaço para baixas pressões continentais. De dezembro a março, os sistemas convectivos da Amazônia se desenvolvem em um fluxo de monção dominante de N, NW (Zhou e Lau, 1998; uruco, 1999) em conexão com o ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul) e da ZCIT (Zona de Convergência Inter Tropical). A ZCAS forma-se especialmente durante a primavera e o verão no hemisfério sul; orientada NW-SE e ao longo do mesmo eixo que o jato subtropical, trata-se de uma zona de convergência em uma massa

de ar úmido e instável (Nogués-Peagle e Mo, 1997; Liebmann e Marengo, 2001). Dentro deste sistema circulam perturbações de tamanhos variáveis: instabilidades do Nordeste (INE) e Noroeste (INW), mas também linhas de instabilidade geradas pelos sistemas extra-tropicais (Dubreuil et al. 2004). O declínio dos sistemas chuvosos ocorre geralmente do sul para o norte e, a partir dos meses de maio e junho, inicia-se a estação seca. Ainda segundo Dubreuil et al.(2004), esta região passa a estar, então, sob a influência do Anticiclone Tropical Atlântico (ATA), que afeta o Mato Grosso progredindo do ESE para WNW, favorecendo um tipo de clima estável, de junho a setembro (massa de ar do tipo Tropical Atlântico Continentalizado).

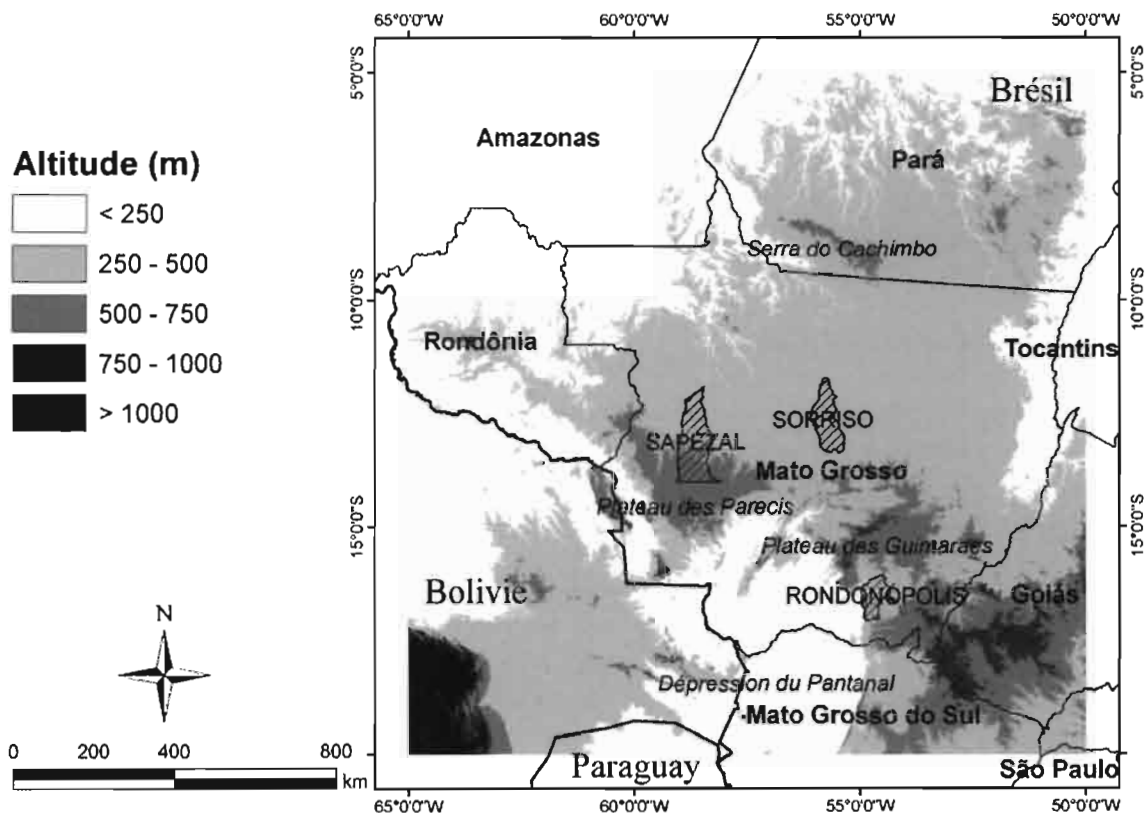


Figura 1 : Mapa de localização do Mato Grosso. Os três municípios escolhidos para o estudo (Sapezal, Sorriso e Rondonópolis) são representativos das três grandes regiões agrícolas do Estado. O mapa de relevo é oriundo dos dados SRTM (resolução espacial de 90 m).

O conhecimento geral sobre a pluviometria permanece incerto por causa das lacunas nas observações. A rede pluviométrica no solo do Estado de Mato Grosso é composta por uma dúzia de estações gerenciadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e uma centena de estações operadas pela Agência Nacional de Águas (ANA). De implementação recente, as estações sofrem frequentemente de falta de manutenção, resultando em muitas lacunas nas séries (Dubreuil et al., 2004). Além disso, a rede de estações é muito heterogênea. Na Amazônia brasileira, a maioria dos postos foram instalados na década de 1970 após o desenvolvimento de estradas transamazônicas e de projetos de colonização. Assim, a distribuição espacial dos pluviômetros não é aleatória, mas organizada ao longo de estradas e rios (Ronchail et al., 2002). Portanto, a região de floresta tropical do norte do estado, mais recentemente colonizada, é menos conhecida do que as regiões meridionais. Para este estudo, 116 estações com séries ininterruptas são utilizadas para o ano climatológica de agosto de 2004 a julho de 2005. Os dados destas estações foram obtidos através da ANA (Agência Nacional das Águas), que operava 181 estações em funcionamento em Mato Grosso nesse

período. 65 estações cujas as séries são incompletas foram eliminadas. As estações selecionadas têm a vantagem de ser bem distribuídas no território matogrossense e, portanto, tomam conta da diversidade climática da região (Figura 2). Estas estações são então usadas como referência para validar a qualidade dos dados TRMM 3B42 para o período entre agosto de 1998 (primeiro ano de entrada em serviço da missão TRMM) e julho de 2006 (ou seja oito anos completos de precipitações). A janela de estudo estende-se a partir de 5 ° a 20 ° S e 50 ° a 65 ° W.

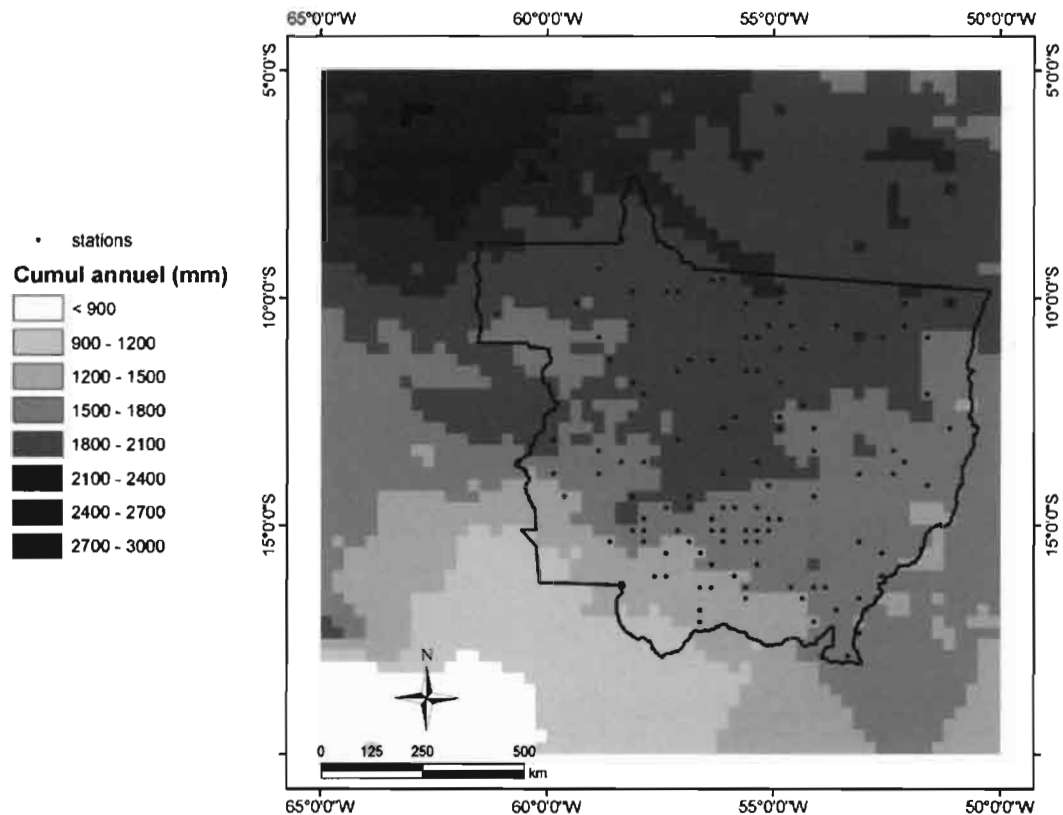


Figura 2 : Precipitações anuais médias (1998-2006) calculadas a partir dos dados TRMM 3B42 (em mm). As 116 estações utilizadas para validar a qualidade dos dados TRMM 3B42 são também indicadas.

1.2. Interesse dos dados TRMM 3B42

A plataforma TRMM foi lançada em 1997 (Jobard, 2001), construída conjuntamente pelos Estados Unidos e o Japão. Este projecto visa fornecer estimativas de precipitações e de emissões de calor latente na escala tropical, dados particularmente importante para a compreensão do clima da Terra. Uma vez que, 75% dos trópicos são cobertos por oceanos, as precipitações nestas regiões somente podem ser medidas indiretamente por satélite (Silva et al., 1996). Nas primeiras pesquisas nessa área na década de 1970, as estimativas de precipitações por satélite foram feitas por satélites geoestacionários (GOES e METEOSAT por exemplo) a partir de dados do canal visível para distinguir cirrus não chuvosos, e do canal infravermelho para medir a temperatura do topo das nuvens e sua relação com as precipitações no solo (Petty, 1995; Jobard, 2001). Posteriormente, sensores de microondas passivas foram utilizados (tipo SSM/I em 1987) em órbitas polares (dependendo da frequência de recepção, é possível realizar buscas de cristais de gelo ou gotas de água). Além disto, os dados de radar no solo são regularmente usados para o estudo da precipitação, inclusive para validar os métodos aplicados ao dados de satélite (Cadet e Guillot, 1991;

Guillot, 1996). A particularidade dos dados TRMM é devida ao fato de que os algoritmos para estimar as precipitações combinam estes diferentes tipos de dados. De fato, a plataforma TRMM dispõe de sensores de microondas (TMI TRMM Microwave Imager), radar (PR para Precipitation Radar) e visível / infravermelho (VIS / IR) (Silva et al. 1996; Jobard, 2001). Em trabalhos de validação de dados de satélite a partir de duas redes de pluviômetros na África, Jobard (2001) demonstrou a superioridade dos métodos baseados na combinação de dados na escala mensal. Ao contrário, para medição instantânea, o sensor de microondas é mais eficiente. Ainda de acordo com Jobard (2001), as estimativas de chuvas dos produtos TRMM 3B42 e GPCP (Global Precipitation Climatology Project), combinando dados de microondas e infravermelho de satélites geoestacionários e dados de redes de pluviômetros, são as mais eficientes.

Neste estudo, entre todas as bases de dados TRMM pré-calibrados e/ou pré-analisados, são utilizados os dados TRMM 3B42 com uma resolução espacial de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ e uma resolução temporal de 3 horas. Estes dados combinam dados de imagens TRMM e de outros satélites (Huffman et al., 1995). Assim, os sensores de microondas dos satélites AQUA, NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), DMSP (Defense Meteorological Satellite Program) e os dados visível/infravermelho dos satélites geoestacionários são computados nos algoritmos de estimativa das precipitações (Huffman et al., 2007). Estas estimativas são então ajustadas incorporando medidas climáticas mensais das redes de observação no solo GPCP e CAMS (Climate Assessment and Monitoring System) afim de fornecer os produtos mensais TRMM 3B43. Os coeficientes de ajustamento computados para este produto estão finalmente aplicados aos dados tri-horários para dar o produto final TRMM 3B42, versão 6 (Huffman et al., 2007).

2- Métodos

2.1. Validação dos dados TRMM 3B42

Os dados TRMM 3B42 são utilizados para caracterizar a variabilidade espaço-temporal das precipitações no Mato Grosso. Porém, uma primeira etapa de validação dos dados é necessária para confirmar a sua qualidade e determinar uma resolução temporal ótima para o seu uso. No Brasil, e mais particularmente no Mato Grosso, os dados TRMM 3B42 foram considerados de boa qualidade por Collischonn et al. (2006) e Collischonn et al. (2007). Estes autores testaram os dados numa resolução espacial de $0,10^\circ$ para avaliar a sua consistência em termo de volume médio precipitado e de campos de precipitações na bacia do Alto Paraguai, no sul do Mato Grosso. Os resultados apontam as qualidades dos dados TRMM 3B42 para detectar os dias não chuvosos, devido a alta repetitividade dos dados geoestacionários. Porém, neste presente estudo, a validação deve ser realizada na escala do estado do Mato Grosso que, devido a sua extensa superfície, apresenta uma variabilidade climática mais acentuada do que a bacia do Alto Paraguai.

A comparação entre os dados oriundos de satélites com dados pontuais fornecidos por estações no solo não é trivial. Numa situação ideal, seriam necessárias diversas estações por pixel TRMM 3B42 (Shimizu et al., 2001). Infelizmente, no Mato Grosso, somente dois pixels localizados no sul do estado contêm duas estações. De acordo com Grimes et al. (1999) é, então, necessário derivar medidas pontuais a partir dos dados de satélites ou interpolar os dados das observações na mesma resolução do que os dados de satélites (a krigagem é o método de estimação que poderia contribuir neste aprimoramento). Mas, as precipitações, principalmente de origens convectivas (Durieux, 2002), são caracterizadas por uma forte

variabilidade espaço-temporal que pode afetar certas regiões, municípios ou até talhões. Por isto, uma interpolação a partir de uma rede de estações tão pouco densa parece inapropriada. Efetivamente, a superfície dos sistemas convectivos de meso-escala na Amazônia varia entre 3500 e 10000 km² (Durieux, 2002) enquanto a rede de observações no solo da ANA em 2004-2005 dispõe somente de uma estação a cada 7810 km² em média (entretanto, a maioria das estações encontram-se ao sul do Estado). Por estas razões, foi decidido realizar esta etapa de validação a partir das 116 estações selecionadas comparando as medidas realizadas com as estimativas dos pixels TRMM 3B42 correspondentes. Diversas escalas temporais foram testadas (1 dia, 5 dias, 10 dias e 30 dias). Assim sendo, é possível determinar a escala temporal compatível com a utilização dos dados TRMM 3B42.

Laurent et al. (1998) propuseram diferentes critérios estatísticos afim de validar a qualidade das estimativas de chuva pelo satélite, comparadas as medidas das estações no solo. Para os valores de referência v_i (de estimativa e_i) compostas de n valores com $i = (1, n)$ cuja media é definida por \bar{v} (\bar{e}) e o desvio padrão por σ_v (σ_e), os critérios propostos são o coeficiente de correlação, o bias, o RMSE (*Root Mean Square Error*) e o índice de Nash (tabela 1). Este índice mede uma distância relativa entre a estimativa e a referência. Se $I = 1$, a estimativa é perfeita e se $I = 0$, a estimativa é igual a média dos valores de referência).

Critério Estatístico	Equação
coeficiente de correlação R	$R = \frac{\sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})(e_i - \bar{e})}{n\sigma_v\sigma_e}$
biais	$B = \bar{e} - \bar{v}$
RMSE (Root Mean Square Error)	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (e_i - v_i)^2}$
Índice de Nash	$I = 1 - \frac{RMSE^2}{\sigma_v^2}$

Tabela 1 : Equações correspondentes aos critérios estatísticos utilizados neste estudo para os dados de referência v_i (de estimativas e_i).

2.2. Pré-tratamento dos produtos TRMM 3B42

Para efetuar uma análise completa da variabilidade espaço-temporal das precipitações, os acúmulos pluviométricos e a temporalidade da estação chuvosa são considerados. Os dados TRMM 3B42 devem, então, ser pré-tratados. De um lado, os dados tri-horários são acumulados para obter acúmulos mensais à partir dos quais os regimes pluviométricos são analisados. De outro lado, os dados são utilizados na resolução ótima definida na fase de validação para medir os parâmetros temporais definindo a estação chuvosa.

2.2.1. A escolha dos parâmetros definindo a estação chuvosa

Os parâmetros usados nesse estudo são o *início*, o *fim* e a *duração da estação chuvosa* : eles foram escolhidos devido a sua importância para a agricultura, a principal atividade econômica regional. Os principais tipos de cultivos são a soja (5 800 000 hectares em 2006),

algodão (ha 400 000) e milho (ha 1 079 000). A soja é plantada entre setembro e novembro e colhida entre janeiro e março. O milho é cultivado em safrinha e é semeado logo após a colheita da soja. O algodão pode ser cultivado como cultura principal (plantio em dezembro e colheita em junho) ou em safrinha após a colheita de soja (plantio em janeiro e colheita em junho e julho). A escolha das datas de plantio e colheita está diretamente relacionada às condições pluviométricas. Assim, o início da estação chuvosa coincide com as datas de plantio de soja. Os agricultores geralmente têm dificuldade para determinar efetivamente o início das chuvas e, em seguida, aplicam critérios individuais para estimar uma data de plantio ideal. Todas as fazendas têm pluviômetros manuais, a partir dos quais os produtores determinam o calendário agrícola. Esses critérios individuais consistem, por exemplo, em estimar o começo da estação chuvosa depois da terceira chuva de mais de 20 mm ocorrida em setembro ou depois uma precipitação acumulada de 100 mm após o início de setembro. Os produtores escolhem, então, critérios muito subjetivos, considerando as características de funcionamento das suas fazendas. Efetivamente, as fazendas são muito grandes (várias centenas ou milhares de hectares) e o plantio é feito em várias semanas. Assim, se o início do plantio está atrasado, todo o funcionamento e, portanto, a rentabilidade da fazenda, estará prejudicada, uma vez que isto gera mudanças também na hora de plantar a segunda safra de milho ou algodão. No entanto, a resistência dessas culturas está mais relacionada a data do fim das chuvas. Por exemplo, alguns produtores acham que não é possível plantar milho após o dia 20 de fevereiro porque as chuvas já não são suficientes para garantir o bom desenvolvimento vegetativo da cultura. Isso permite tirar proveito do início da estação seca para colher, sem ter que se preocupar com riscos climáticos muito prejudiciais (ao contrário, a colheita da soja, em fevereiro, é frequentemente interrompida por chuvas torrenciais).

De uma forma geral, as chuvas também têm implicações regionais sobre outros fatores importantes a se considerar. Por exemplo, as estradas que muitas vezes não são pavimentadas rapidamente se tornam intransitáveis durante a estação chuvosa. Situações extremas de chuva também podem ser um fator indireto de poluição. Assim, os rios são poluídos por agrotóxicos durante eventos de chuva forte uma vez que a erosão do solo é maior. Ao mesmo tempo, durante estes eventos, a poluição é ainda mais agravada pelo aumento da utilização de produtos tóxicos para o controle de doenças de soja relacionadas com as fortes chuvas. Entretanto, uma estação seca muito acentuada pode causar incêndios devastadores de floresta ou de cerrado.

2.2.2. As metodologias de cálculo dos parâmetros da estação chuvosa

Muitos estudos têm sido realizados com o objetivo de determinar o início e o fim da estação chuvosa em regiões tropicais, seja em África ou na Amazônia. Segundo Balme et al. (2005), existem várias definições do início da estação chuvosa, com base em áreas de interesse. Assim, um meteorologista considera como início da estação chuvosa as primeiras precipitações relacionadas com o estabelecimento da primeira convecção organizada. Para o hidrólogo, o mesmo critério é determinado pela primeira chuva gerando escoamento. Finalmente, para o agrônomo, o início da estação chuvosa não pode ser seguido por períodos secos muito longos podendo prejudicar as culturas (Balme et al., 2005). E este último ponto de vista, é que é considerado neste estudo, uma vez que, essa pesquisa integra-se a um projeto integrando condições de chuva e a cultura da soja no Mato Grosso.

Existem diversos métodos para estimar as datas de início e fim da estação chuvosa assim como a sua duração. Para Marengo et al. (2001), o início (fim) da estação chuvosa na Amazônia ocorre no período de 5 dias no qual observa-se um acúmulo de precipitações

diárias médias acima (abaixo) de 4 mm por dia, com pelo menos seis dos oito períodos seguintes (anteriores) tendo um acúmulo diário médio superior (inferior) a 4,5 mm, e seis dos oito períodos anteriores (seguintes), com um acúmulo diário médio inferior a 3,5 mm. Na Nigéria, Odekunle (2006) aplicou um método baseado na percentagem de precipitação acumulada por período de 5 dias. A data de início (final) de chuva é determinada pelo cálculo do raio de curvatura aplicado à curva que representa a percentagem de precipitação anual acumulada ao longo do tempo. O início (fim) da estação chuvosa corresponde ao primeiro (último) período com raio de curvatura positivo (negativo) máximo. O autor usa uma variante desse método utilizando o percentual acumulado do número de dias chuvosos por período de 5 dias em vez da quantidade precipitada. Este método tem a desvantagem de ser muito influenciado por intensas chuvas localizadas. Finalmente, Liebmann (2006) propôs um método baseado na definição de um índice chamado de "Anomalous Accumulation" (AA), que envolve o cálculo da diferença entre a acumulação de precipitação diária e a acumulação teórica média :

$$AA(t) = \sum_{n=1}^t R(n) - \bar{R} \times t$$

AA (t) representa o Anomalous Accumulation no dia t, \bar{R} é a precipitação média diária (calculado por Liebmann como a razão entre a precipitação total anual e o número de dias do ano) e R(n) é a precipitação no dia n. O início (fim) da estação chuvosa, em seguida, é determinada pela data de máximo (mínimo) da curva de Anomalous Accumulation.

Neste estudo, o método proposto por Liebmann é escolhido porque tem algumas vantagens: i) não detecta os falsos começos da estação chuvosa, II), sempre pode ser definido o início e o final da estação chuvosa, o que não é verdade pelo método de Marengo et al. (2001), iii) é relativamente simples e fácil de programar.

Porém, a aplicação deste método é readaptada fixando um limiar relevante para o clima da região estudada, para o assunto analisado (cultivo de soja) e a escala espaço-temporal considerada. Assim, foi determinado um limiar tendo uma ligação com as necessidades de água da soja. Segundo Rosolem (2006), em fase de plantio e de emergência, a soja necessita de 2,2 milímetros por dia. No entanto, o mesmo autor afirma que uma vez que esta última fase acabou (7 dias mais tarde), precisa-se de 5,1 milímetros por dia, ou seja, mais do dobro. Assim, esses dois limiares são considerados neste estudo.

2.3. Análise espaço-temporal das precipitações no Mato Grosso

2.3.1. Variabilidade dos acúmulos pluviométricos mensais

Além de mapas de sínteses mensais que podem ser obtidas desde 1998, o fato de ter oito anos completos e homogêneas de observações TRMM 3B42 permite o estudo dos modos de variabilidade interanual dos regimes mensais através de uma ACP.

A Análise em Componentes Principais (ACP) é um método de análise de dados descritivos, que visa reorganizar grandes tabelas de dados priorizando as informações. A entrada das tabelas pelas variáveis permite a sua associação e a definição de novas variáveis sintéticas ou fatores, independente entre deles, que são combinações lineares das variáveis iniciais. Neste trabalho, uma ACP sem rotação foi aplicada aos dados brutos mensais fornecidos pelos produtos TRMM 3B42 entre 1998 e 2006.

2.3.2. Variabilidade da temporalidade da estação pluviométrica

A partir dos parâmetros da estação chuvosa acima apresentados, também é possível analisar a variabilidade espaço-temporal das datas e a duração características da estação chuvosa. Os parâmetros calculados estão relacionados com as práticas agrícolas das diferentes regiões de produção de soja em Mato Grosso. Três municípios representativos das três principais regiões produtoras são tomados como exemplos, conforme ilustrado na Figura 1. São estes Sapezal (região Oeste), Sorriso (região central) e Rondonópolis (sudeste). O objetivo é determinar as diferenças no início, final e duração da estação chuvosa entre os diferentes centros de produção na tentativa de melhor compreender a diversidade de calendários agrícolas. Além disso, a variabilidade temporal das datas de início das chuvas é estudado a partir dos extremos observados nos sete anos de estudo (do ano 1998-99 até 2005-06).

Finalmente, os parâmetros da estação chuvosa dependem muito dos limiares escolhidos. Por exemplo, os testes realizados com um limiar de 2,2 mm determinaram um início das chuvas antecipado sobre o início das chuvas calculado com um limiar de 5,1 mm. O tempo decorrido entre as duas estimativas das datas de início das chuvas, em seguida, fornece uma boa indicação da viabilidade da soja plantada no início das chuvas calculado com um limiar mais baixo. Se esse intervalo de tempo fosse bastante superior ao de sete dias após a fase de emergência das plântulas (Rosolem, 2006), significaria que a soja semeada muito cedo pode estaria enfrentando um período de seca que poderia ser prejudicial posteriormente.

3- Variabilidade espaço-temporal das características da estação chuvosa no Mato Grosso

3.1. Validação dos produtos TRMM 3B42

Para validar a qualidade dos dados TRMM 3B42, eles são comparados com as medições feitas no solo por 116 estações meteorológicas espalhadas por todo o Mato Grosso. A Tabela 2 apresenta os resultados dos critérios estatísticos definidos por Laurent et al. (1998) e obtidos com escalas temporais diferentes. A qualidade das correlações e dos outros critérios, tais como o índice de Nash ou RMSE, diminuem progressivamente quando a escala temporal é pequena. Em intervalos de 10 e 5 dias, os resultados continuam a ser significativas ($R_{10} = 0,77$ et $R_5 = 0,66$; $I_{10} = 0,56$ et $I_5 = 0,35$; $RMSE_{10} = 34,45$ et $RMSE_5 = 25,36$) . Ao contrário, na escala diária, os resultados não são aceitáveis e, portanto, impedem o uso de tais dados. O índice de Nash negativo ($I_1 = -0,29$) indica que a estimativa é inferior à média dos valores de referência. Assim, nos cálculos dos parâmetros da estação chuvosa, o período de 5 dias é considerado como tendo a melhor relação “confiabilidade -escala temporal”.

		Critério Estatístico			
		Coefficiente de Correlação	Biais	RMSE	Índice de Nash
Período de Tempo	30 jours	0,88	11,64	62,97	0,75
	10 jours	0,77	3,65	34,45	0,56
	5 jours	0,66	1,80	25,36	0,35
	1 jour	0,28	0,35	13,10	-0,29

Tabela 2 : Coeficientes de correlação linear, bias, RMSE e índice de Nash calculados por diferentes escalas temporais entre os dados TRMM 3B42 e os dados no solo para 116 estações no Mato Grosso entre 01/08/2004 e 31/07/2005.

3.2. Análise espaço-temporal das precipitações no Mato Grosso

3.2.1. Variabilidade dos acúmulos pluviométricos mensais

O mapa de precipitação anual (Figura 2) apresenta um gradiente N-S com totais variando entre 900 mm no SE e 3000 milímetros no NE. Além disso, há um gradiente mais leve que opõe o oeste da bacia amazônica ocidental mais úmido ao leste da bacia. O mapa também mostra o impacto do relevo na pluviometria anual: a Serra do Cachimbo (Figura 1), na fronteira entre Mato Grosso e o Estado do Pará, recebe em média de 200 a 300 mm de chuva a mais do que a planície adjacente. Os mapas de precipitação média mensal (Figura 3) demonstram muito bem a alternância sazonal entre o período chuvoso (novembro a março) e seco (abril a setembro), assim como um forte gradiente Norte-sul : a estação seca diminui do sudeste (5 a 6 meses) em direção ao norte do estado (2 a 3 meses).

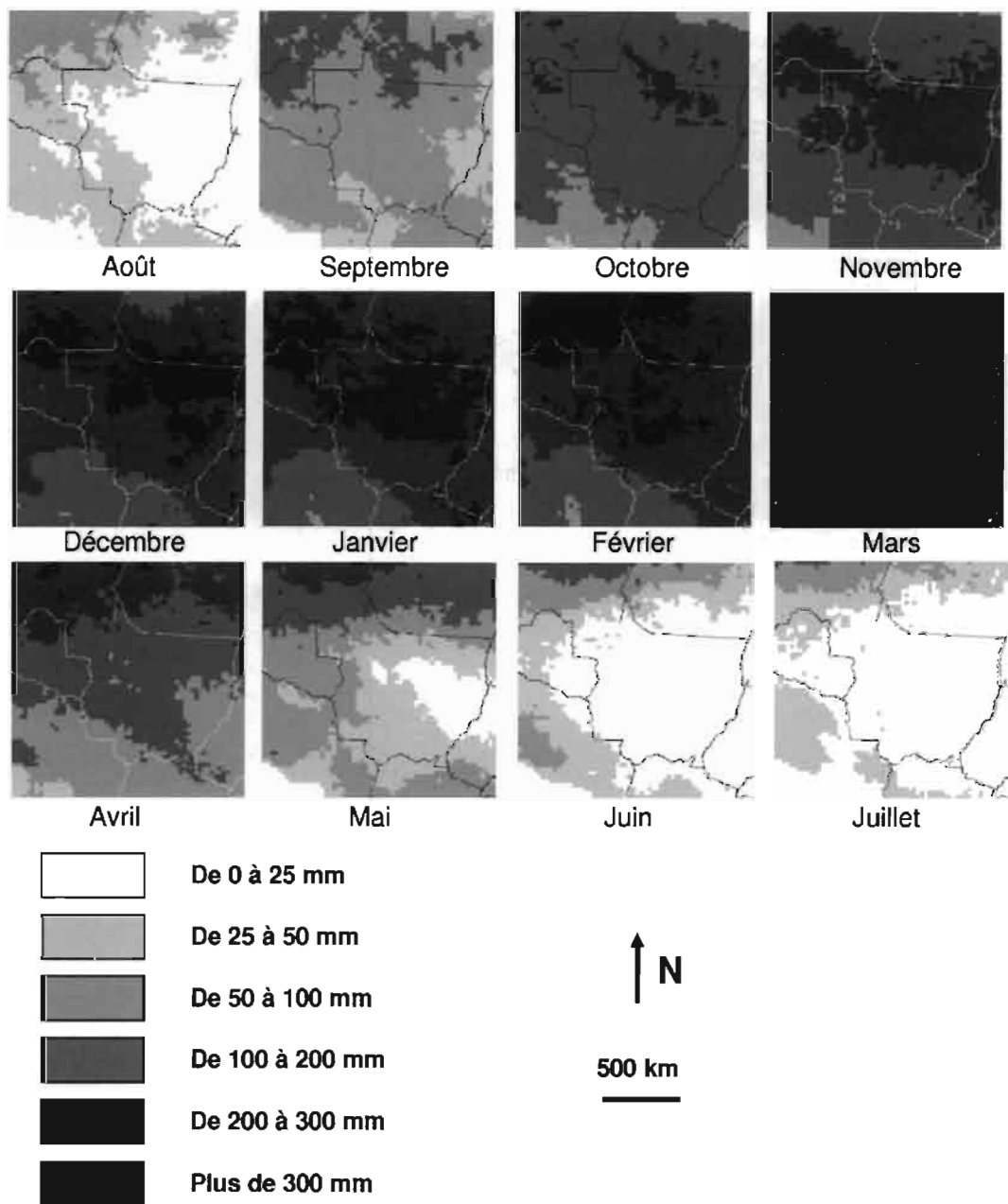


Figura 3 : Precipitações médias mensais (1998-2006) estimadas por TRMM 3B42 (mm).

As sínteses TRMM 3B42 também servem como entrada para uma análise de componentes principais (ACP) sem rotação dos dados mensais brutos para o período 1998-2006. Ela permite observar as componentes espaciais e temporais dos principais modos de variabilidade das precipitações mensais (Figura 4). Os resultados mostram que as duas primeiras componentes explicam uma parte significativa (mais da metade) da variância total, com 37,7% para o primeiro eixo e 15,1%, para o segundo eixo. O terceiro eixo representa 6,2% da variância total.

A primeira componente corresponde a um efeito de massa opondo as fortes chuvas do norte do Mato Grosso, onde chove muito, e o sudoeste, onde chove pouco: essa figura, portanto, parece muito com o mapa da Figura 2. A componente temporal associada a este

primeiro fator que mostra a oposição entre o Norte e o Sul é particularmente pronunciada durante os meses de verão austral, mas não todos os anos; por exemplo, de dezembro 2004 até janeiro de 2005, as diferenças sazonais são menos marcadas. A oposição entre o norte e o sul é reduzida durante os meses de inverno austral, devido as chuvas oriundas de frente extra-tropical (Garreaud, 2000; Seluchi e Marengo, 2000), as quais, sendo mais abundantes no sul, tendem a limitar as diferenças de precipitação com o norte. Em certos casos, observa-se mesmo que chove mais ao sul do que ao norte (Agosto 1998), quando os sistemas frontais do hemisfério sul são particularmente ativos.

A segunda componente caracteriza principalmente o Leste do Mato Grosso com uma sazonalidade muito marcada (mais chuva no verão e menos chuva no inverno), mas exceções são identificados (janeiro e fevereiro de 2001 foram mais secos do que a média). Este eixo aponta que a sazonalidade das chuvas é maior no sudeste do que no sudoeste da Amazonia (Ronchail et al., 2002) devido à passagem de perturbações extratropicais que penetram a baixas latitudes, entre os Andes e o Planalto brasileiro, e fornecem chuvas de inverno no sudoeste. Esta observação aparece também sobre os mapas de maio, junho, julho e agosto na Figura 3.

Os resultados da terceira componente permitem caracterizar o oeste do Mato Grosso e o Estado vizinho de Rondônia, os quais se opõem ao leste do Mato Grosso e sudeste do Estado do Pará. No oeste, repare-se períodos chuvosos (dezembro de 1998 até julho de 1999, por exemplo) e outros mais secos (dezembro de 1999 até junho de 2001), enquanto esses períodos são respectivamente mais secos e mais chuvosos ao leste. Neste caso, a variabilidade observa-se na escala interanual. Sabendo-se que a variabilidade interanual das chuvas no norte da Bacia Amazônica e partes da Bacia do Prata está associada com as temperaturas da superfície dos oceanos vizinhos (TSO) (Aceituno, 1988; Marengo, 1992; Liebmann e Marengo, 2001; Ronchail et al. 2002; Grimm, 2003; Grimm, 2004), os valores da componente temporal deste fator foram correlacionadas com o Multivariate ENSO Index (Wolke, 1987) e os TSO do Atlântico tropical. Mas nenhum desses índices explicou a variabilidade da precipitações. A variabilidade dos oceanos Pacífico e Atlântico modulando principalmente a circulação de Walker, por um lado, e o transporte da vapor d'água para o Mato Grosso, por outro lado, outros fatores devem ser invocados para explicar a variabilidade da precipitação descrita pelo eixo 3. Pode-se supor o papel da atividade das perturbações extra-tropical ou da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que são importantes mecanismos de chuva nessa região em diversas escalas de tempo (Garreaud e Wallace, 1998, Seluchi e Marengo, 2000, Carvalho et al., 2004). A verificação desta hipótese ainda precisa ser feita.

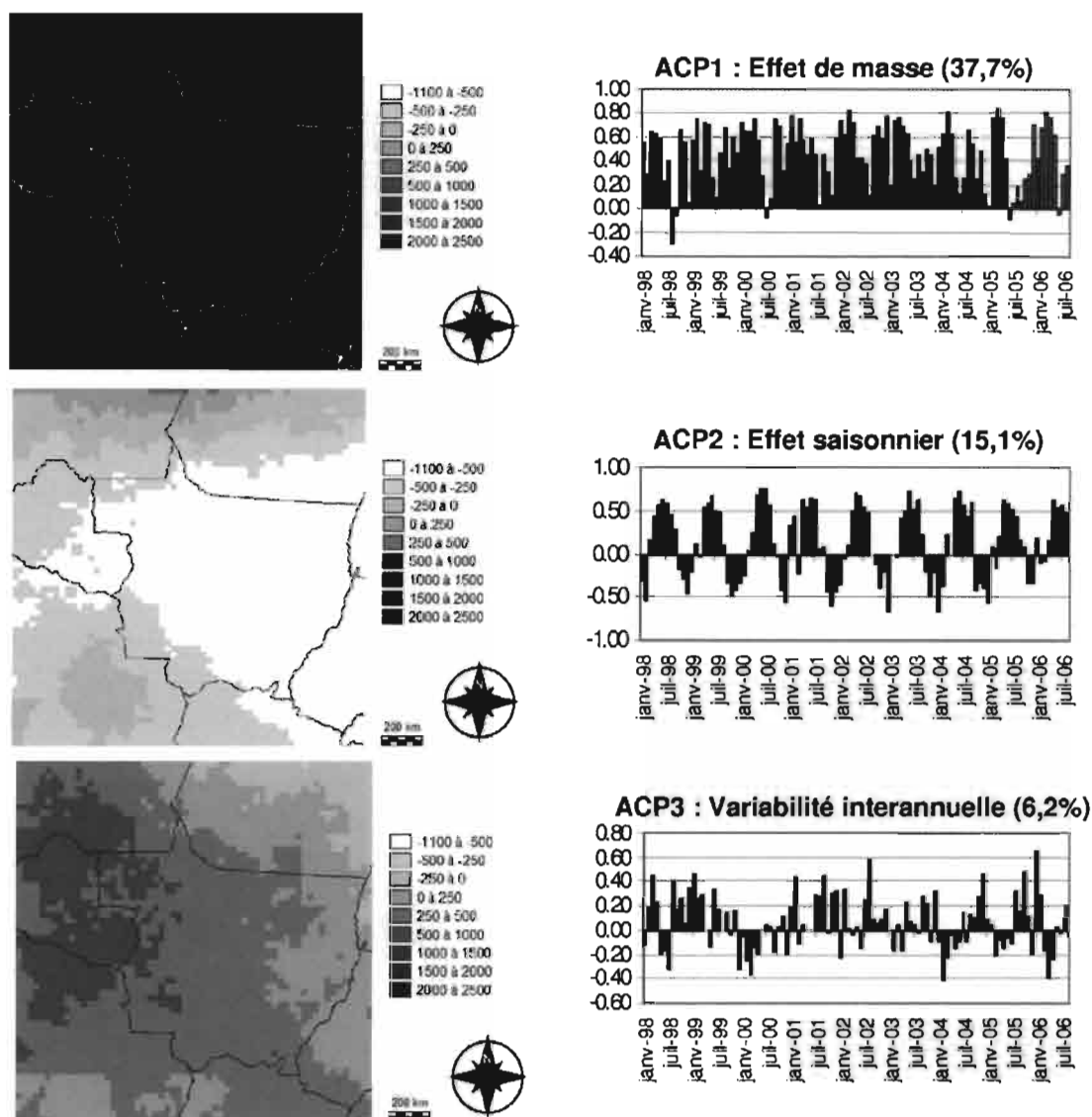


Figura 4 : Resultados de uma ACP sem rotação nos totais pluviométricos mensais brutos TRMM (janeiro 1998 à julho 2006) : a esquerda, as componentes espaciais et à direita, as crônicas das 3 primeiras componentes da ACP.

3.2.2. Variabilidade da temporalidade da estação pluviométrica

O método de Liebmann (2006) foi aplicado aos dados de estimativas de precipitação dos produtos TRMM 3B42. As precipitações foram computadas por períodos de 5 dias para o período de agosto de 1998 até julho de 2006. Os dois limiares propostos anteriormente (2,2 mm e 5,1 mm) foram testados para determinar os parâmetros pesquisados (início, fim e duração da estação chuvosa), durante oito anos pluviométricos.

Os municípios de Sapezal, Sorriso e Rondonópolis foram escolhidos como exemplos (tabela 3) para estudar a variabilidade espacial e temporal das chuvas nas regiões de produção de soja. A diferença média entre as datas de início das chuvas com os dois limiares varia entre 26 dias para Sorriso, 39 dias em Sapezal e 40 dias em Rondonópolis. Isso indica que, com base em um limiar de 2,2 mm, o início da estação chuvosa chega cedo e de maneira

relativamente uniforme ao longo do território (entre 15 e 18 de setembro, em média, nos três municípios), podendo ser posteriormente afetado por qualquer período seco. Assim, sempre que for possível, os produtores deveriam basear o plantio no limiar de 5,1 milímetros, em vez do limiar de 2,2 mm. Portanto, o limiar de 5,1 mm é selecionado para o restante do estudo.

	Sapezal	Sorriso	Rondonópolis
Cumulação Anual da Precipitação (mm)	1796	1899	1520
Duração da Estação da Chuva (seuil = 2,2 mm)	217	216	208
Duração da Estação da Chuva (seuil = 5,1 mm)	156	169	149
Numero de dias medio entre as durações da estação chuvosa segundo o limiar escolhido	61	48	59
Duração da estação chuvosa mais longa (período 98-05)	172	177	169
Duração da estação chuvosa mais curta (período 98-05)	129	151	119
Variabilidade da estação chuvosa (em dias)	43	26	50
Início da estação chuvosa (limiar = 2,2 mm)	15/9	16/9	18/9
Início da estação chuvosa (limiar = 5,1 mm)	25/10	11/10	28/10
Numero de dias medio entre as datas de inicio da estação chuvosa segundo o limiar escolhido	39	26	40
Data do inicio da estação chuvosa mais tardia (período 98-05)	3/12	31/10	1/12
Data do inicio da estação chuvosa mais precoce (período 98-05)	30/9	29/9	24/9
Variabilidade do inicio da estação chuvosa (em dias)	64	32	68
Fim da estação chuvosa (limiar = 2,2 mm)	20/4	20/4	14/4
Fim da estação chuvosa (limiar = 5,1 mm)	30/3	29/3	26/3
Numero de dias medio antre as datas de fim da estação chuvosa segundo o limiar escolhido	22	22	19
Data de fim da estação chuvosa mais tardia (período 99-06)	11/4	12/4	10/4
Data de fim da estação chuvosa mais precoce (período 99-06)	10/3	20/3	27/2
Variabilidade do fim da estação chuvosa (em dias)	32	23	42

Tabela 3 : Parametros da estação chuvosa para os três municípios escolhidos como exemplos : Sapezal, Sorriso e Rondonópolis.

O início da estação chuvosa organiza-se por uma direção NW-SE (Figura 5a). Segundo Gan et al. (2004), esta orientação está associada com a interação entre a convecção tropical e os sistemas frontais de latitude média participando do estabelecimento ZCAS na primavera. Sobre este eixo principal, o início da estação chuvosa ocorre antes de novembro, o que o coloca em oposição ao "corredor seco amazônico" do nordeste descrito por Durieux (2002), localizado entre duas regiões de chuvas intensas, na foz do Amazonas de um lado e na Amazônia Central de outro lado. A topografia também tem um papel importante como na Serra do Cachimbo (norte do Mato Grosso), onde a estação chuvosa começa antes do primeiro

de outubro. O fim da estação chuvosa (Figura 5b) acontece em março para a maior parte do centro de Mato Grosso. Seu desenvolvimento segue uma orientação norte-sul mais forte refletindo o movimento da convecção rumo ao Norte, em relação com a ZCIT (Gan et al., 2004). O recuo regular da estação chuvosa é apenas perturbado por alguns relevos, como a Chapada dos Parecis e a Chapada dos Guimarães, onde algumas precipitações de outono atrasam o fim do período chuvoso para o mês de abril. A duração da estação chuvosa (Figura 5C) está fortemente relacionada com a data de início das chuvas, como apresentado pelo gradiente NW-SE. Esta duração é de 4 a 5 meses, na maior parte do Estado, exceto em relevos como a Serra do Cachimbo (duração de 5 a 6 meses).

Estas informações são confirmadas pela Figura 6 que mostra que a data de início das chuvas estende-se desde meados de setembro no norte ao fim de novembro no extremo sul, seguindo assim um forte gradiente norte-sul que já havia sido relatado por Dubreuil et al. (2004) e apresentado nos mapas da figura 5. Isso indica na verdade uma chegada gradual das chuvas correspondendo a um estabelecimento progressivo da monção sul-americana. Em vez disso, o gradiente norte-sul é menos acentuada no perfil correspondente ao fim da estação chuvosa. Ocorre no final de março e corresponde a uma retirada mais regular das chuvas. Portanto, a duração da estação chuvosa (de 100 a 200 dias, ou seja, 3 a 7 meses como apresentado anteriormente na figura 5) é essencialmente determinada pela data de início das chuvas. Também observamos uma relação clara entre a precipitação anual e a duração da estação chuvosa, que variam na mesma direção.

Depois de apresentar os dados médios num período de oito anos, dois anos são tomados como exemplos para ilustrar a variabilidade interanual da estação chuvosa. Em 2002-2003, a estação chuvosa foi menor, com início das chuvas no início de dezembro (Figura 7b), particularmente no sudoeste do Estado e no Estado vizinho do Pará ao nordeste, onde aparece o "corredor seco amazônico". Em contrapartida, no período de 1999-2000 (Figura 7a), a estação chuvosa foi maior em Mato Grosso, especialmente no oeste, sudoeste e norte do Estado. As precipitações desses dois anos foram influenciadas por fenômenos climáticos de escala global. Na verdade, o 2002-2003 ano foi um ano do tipo El Niño, enquanto 1999-2000 foi um ano do tipo La Niña. Ronchail et al. (2002) explicam que a parte sul da bacia amazônica está localizada entre duas regiões (Norte do Amazonas e Sudeste da América do Sul), que são fortemente e negativamente afetadas por eventos de El Niño. Conseqüentemente, eles podem levar à diminuição das precipitações durante a estação chuvosa (como ocorre no norte da Amazônia) e o aumento no inverno austral e na primavera (março-agosto) seguintes no sul da Bacia Amazônica, como ocorre no sudeste da América do Sul. Estas diferenças sazonais fazem que o impacto do ENSO nas precipitações no sul da bacia seja pequeno na escala anual, o que pode explicar porque o fator ENSO não aparece nas primeiras componentes da ACP que explicam a variabilidade interanual. Os aumentos de precipitações na primavera e no inverno a seguir os episódios de El Niño são associados com uma forte atividade extra-tropical que explicar, em parte, o atraso do fim da época das chuvas em Mato Grosso. Esse fim foi estimado entre os dias 7 e 11 de Abril 2003 para os 3 municípios tomados como exemplos, o que corresponde ao máximo naquele período de oito anos. O estudo das datas de início e final da estação chuvosa poderia, portanto, melhor caracterizar a variabilidade interanual associada com ENSO.

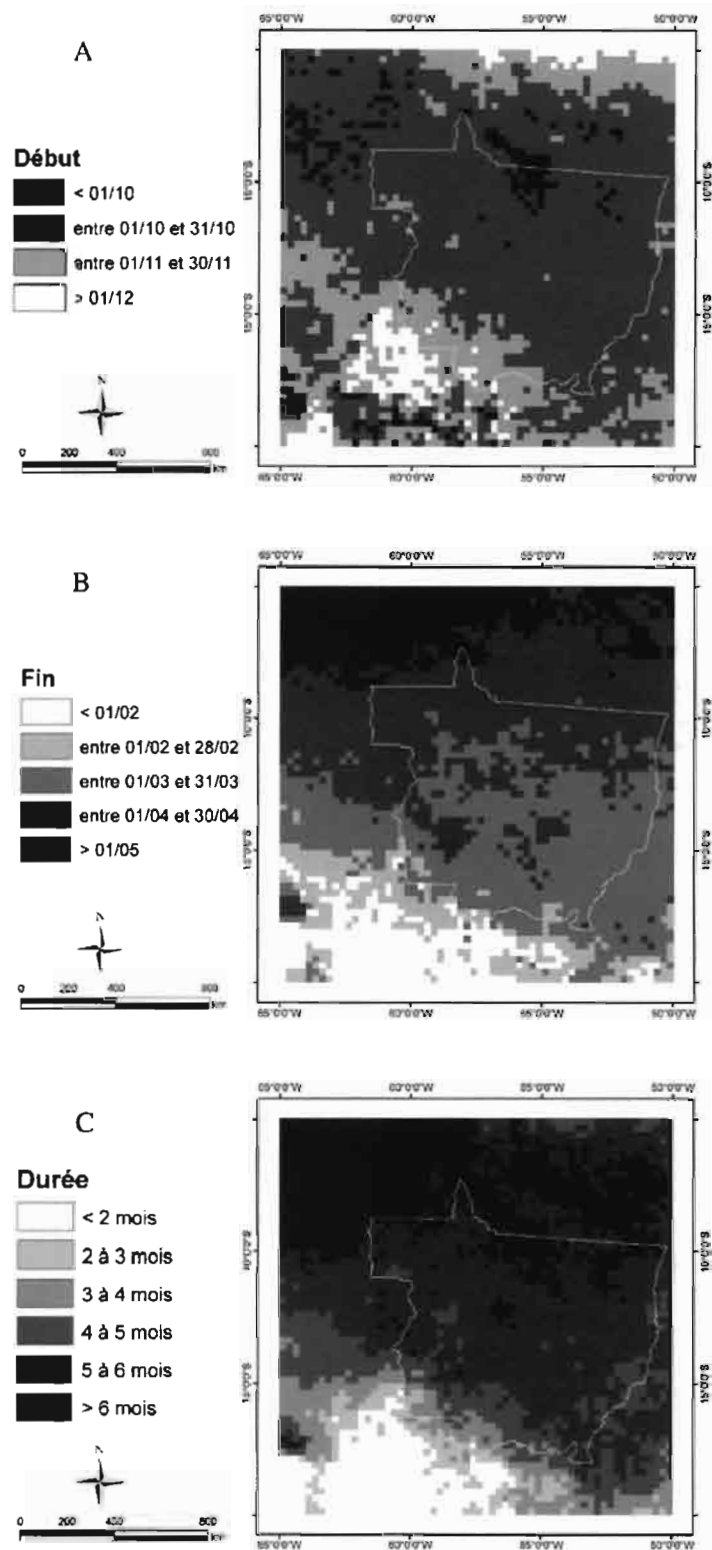


Figura 5 : Mapas dos parâmetros da estação chuvosa calculados à partir da metodologia « Anomalous Accumulation » (Liebmann, 2006), com um limiar igual à 5,1mm (media 1998-2006): datas de inicio (A) e fim (B) da estação chuvosa, duração da estação chuvosa (C).

O estudo dos parâmetros da estação chuvosa pode finalmente levar a uma melhor compreensão dos calendários agrícolas do Mato Grosso. Os resultados indicam que o início da estação chuvosa ocorrem primeiro em Sorriso (11 de outubro, em média), depois em Sapezal e finalmente em Rondonópolis (25 e 28 de Outubro, respectivamente). A diferença entre as datas de início da estação chuvosa de dois municípios localizados na mesma latitude (como Sorriso e Sapezal) está principalmente relacionada à sua posição no eixo da ZCAS. Sorriso está localizado diretamente sobre o eixo do fluxo principal de chuva oriundos do noroeste e, por conseguinte, recebe mais chuvas no início da temporada. Além disso, os relevos de Rondônia e da Chapada dos Parecis pode dificultar a instalação dos fluxos de NW em Sapezal.

Estas datas correspondem aos calendários agrícolas aplicados nessas regiões. A região de Sorriso começa a plantar soja muito cedo no ano, a partir de final de setembro/início de outubro, enquanto as regiões de Sapezal e Rondonópolis plantam a soja cerca de 15 dias mais tarde (Arvor et al., 2007). Além disso, a variabilidade interanual aparece mais forte em Sapezal e Rondonópolis, uma vez que a diferença entre o máximo e o mínimo é superior a dois meses, variando entre final de setembro e início de dezembro, aumentando a vulnerabilidade aos riscos climáticos nessas regiões. Em Sorriso, o início das chuvas ocorre entre final de setembro e final de outubro, com uma variabilidade mais baixa (um mês). O impacto desta variabilidade interanual sobre o setor agrícola pode ser sentida a nível municipal. Por exemplo, em 2004-2005, a estação das chuvas começou no final de outubro/início de novembro em Sorriso. Assim, o plantio de soja teve que ser adiado e o plantio do milho em sucessão não pode ser realizado como nos outros anos. Por conseguinte, os dados do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) mostram uma redução na área cultivada de milho este ano de 40 000 ha em Sorriso (100 000 ha em 2003-04 contra 60 000 ha em 2004-05 e 95 000 hectares em 2005-06).

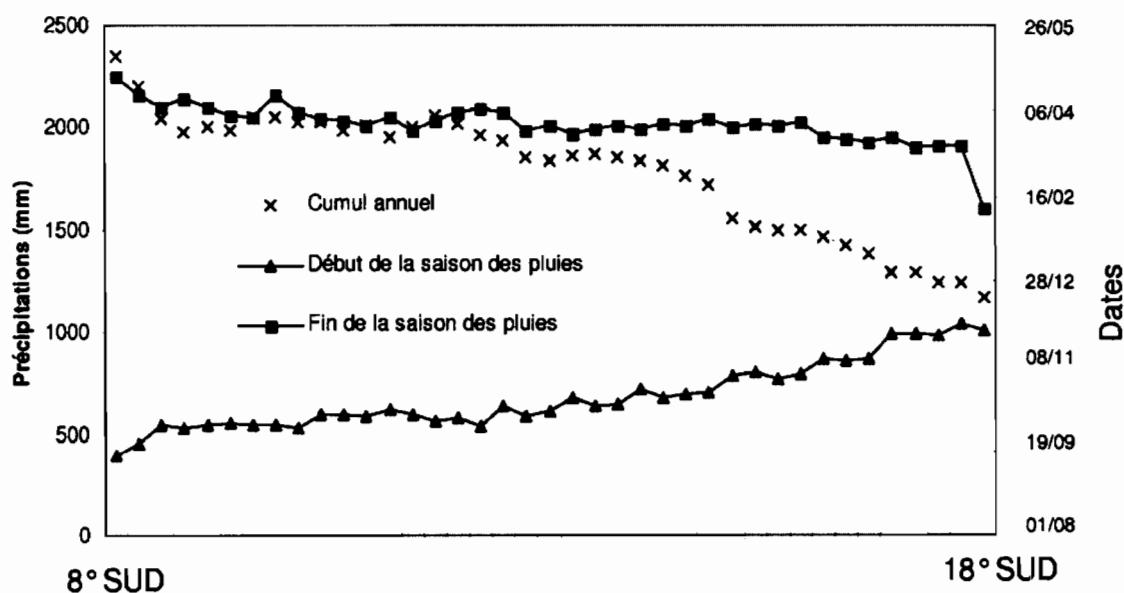


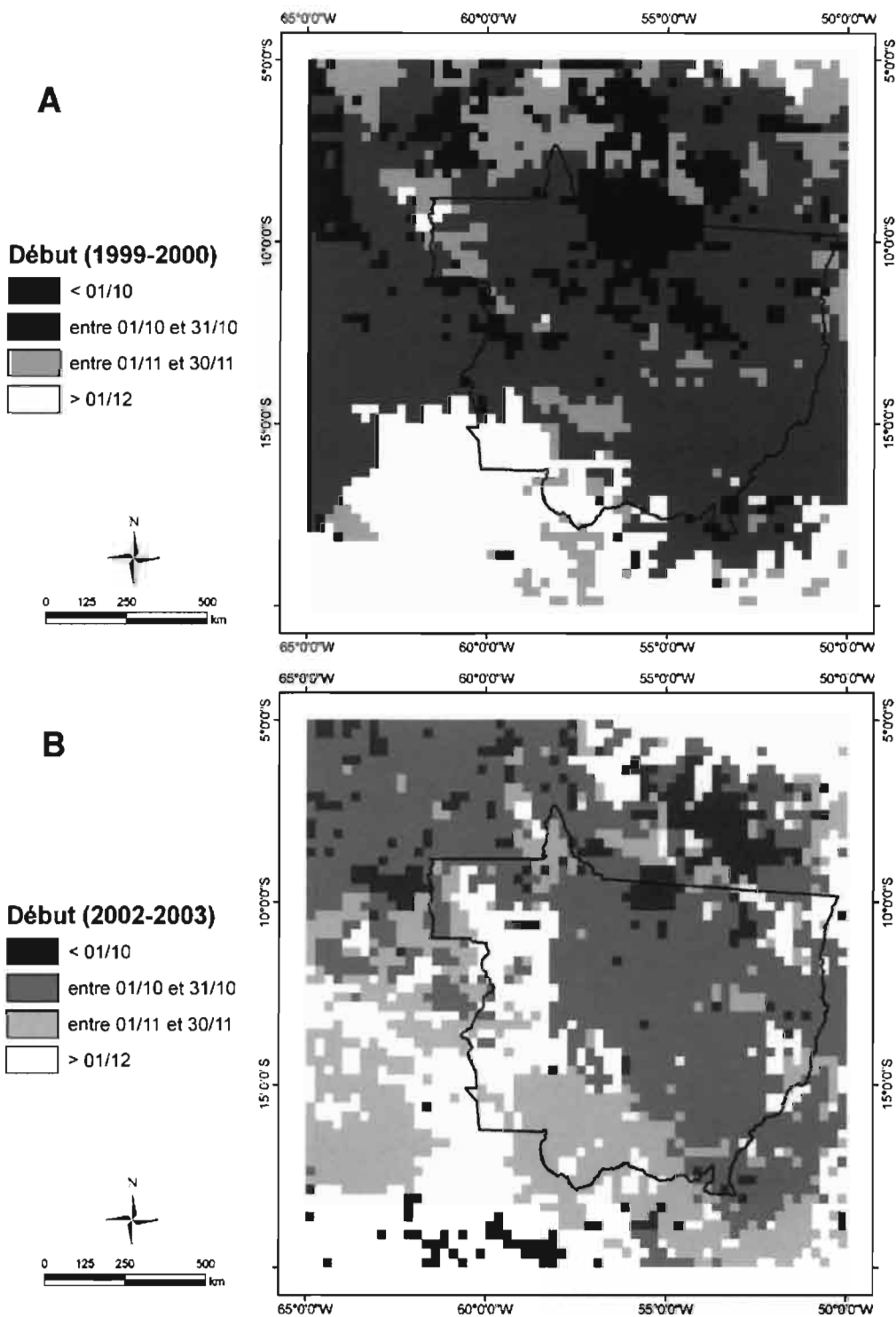
Figura 6 : Gradiente norte/sul dos parâmetros da estação chuvosa calculados pelo método « Anomalous Accumulation » (Liebmann, 2006) com um limiar = 5,1mm. As datas de início e fim da estação chuvosa são indicadas no eixo vertical a direita (a duração da estação chuvosa corresponde ao espaço entre as curvas de início e fim da estação chuvosa). Além disto, os acúmulos anuais de precipitações são apresentados (eixo vertical a esquerda).

O desempenho do crescimento da safrinha depende da data de fim da estação chuvosa e qualquer atraso no plantio pode resultar em perda de produtividade, no caso de fim de chuvas mais cedo. Entretanto, o final da estação chuvosa é mais consistente, uma vez que ocorre em média nas mesmas datas nos três municípios (entre 26 e 30 de março) com uma menor variabilidade interanual (entre 23 e 42 dias em Sorriso e Rondonópolis respectivamente). Por estas razões, é arriscado atrasar o plantio da segunda safra no final apostando num fim da estação chuvosa também atrasado. Os produtores de Sorriso dispõem, então, de uma estação chuvosa maior (169 dias) do que em Sapezal e Rondonópolis (156 e 149 dias). Estas diferenças explicam em parte o fato da safrinha ser uma prática mais adotada na região de Sorriso (Arvor et al., 2008).

Conclusão

Dada a limitação dos dados de campo geralmente disponíveis para latitudes tropicais, as estimativas de precipitação por satélites são particularmente eficazes para fornecer dados uniforme em uma escala regional. Os dados TRMM 3B42 (Tropical Rainfall Measuring chuvas) são particularmente conhecidos por sua qualidade aliada ao uso de múltiplas fontes de dados (microondas, infravermelho e os dados de solo) no algoritmo de estimação. O seu emprego em uma região como a Amazônia e, mais particularmente o estado de Mato Grosso, demonstrou ser bastante relevante. Por um lado, eles permitem espacializar as chuvas na região, com base na média mensal de oito anos de estudo (1998-1999 a 2005-2006). Além disto, os dados processados pelo ACP sem rotação permitem detectar os gradientes NS e EO características das chuvas em Mato Grosso. Por outro lado, os parâmetros de estudo da estação chuvosa, como o início, o fim e a duração da estação chuvosa podem refinar a análise da variabilidade espaço-temporal das chuvas. Os resultados indicam que a data de início das chuvas (de final de setembro ao início de dezembro) é mais variável do que a data do fim das chuvas (março-abril). Isso também é relatado por Gan et al. (2004) que concluíram que a data de início das chuvas está dependente de perturbações extra-tropicais que organizam a convecção. Na verdade, a orientação NW-SE da chegada da estação das chuvas e NS da retirada da estação chuvosa indicam que esses eventos correspondem a dinâmicas distintas. A chuva precoce está ligada à instalação de ZCAS, enquanto, o final está ligado ao estabelecimento do Anticiclone Tropical Atlântico.

A variabilidade espaço-temporal das chuvas analisada para três municípios de produção da soja também auxilia a compreender melhor as práticas culturais de Mato Grosso. A duração do período chuvoso varia de mais de 15 dias, em média, entre as principais regiões de produção, o que explica porque os produtores de Sorriso plantam mais milho em safrinha. Além disso, a data de início das chuvas varia de mais de 2 meses no período de estudo 1998-2006 o que pode explicar mudanças bruscas nas práticas agrícolas, como em 2004-2005, quando a cultura do milho foi reduzida em Sorriso. Assim, estes dados permitem identificar as fontes de vulnerabilidade dos produtores *vis-à-vis* as incertezas climáticas. A combinação das informações fornecidas pelos dados TRMM 3B42 com outros dados de satélite, tais como índices de vegetação do sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) da plataforma TERRA poderia permitir realizar um acompanhamento adequado da soja. No entanto, a grande diferença na resolução espacial entre essas duas fontes (250 m para os contras MODIS 0,25 ° TRMM) é uma limitação para a utilização integrada destes produtos.



! Figura 7 : Início das chuvas calculado para o anos 1999-2000 (A) e 2002-2003 (B).

Agradecimentos

Essa pesquisa recebeu o apoio da Agence Nationale de la Recherche no âmbito do projeto DURAMAZ (“Analyse de projets de développement durable en Amazonie”) assim como o apoio do CNPq/INRIA no âmbito do projeto ENVAIR (490089/2005-4. ed 05-2005) e do IAI (InterAmerican Institute for Global Change Research) no âmbito do projeto CRN2 (“Land

use change in the Rio de la Prata Basin : linking biophysical and human factors to predict trends, assess impacts and support viable strategies for the future”) e ao IDRC (International Development Research Centre) no âmbito do projeto “Landuse Change, Biofuels and Rural Development in the La Plata Basin ».

Bibliografia

ACEITUNO P., 1988 : On the functioning of the southern oscillation in the South American sector: surface, climate. *Monthly Water Review*, **116**, 505–524.

ARVOR D., MEIRELLES M. S. P., MARTORANO L. G., JONATHAN M., DUBREUIL V., HERLIN I. et BERROIR J.-P., 2008 : Séries temporais de EVI/MODIS na identificação da dinâmica da Soja em Sistema Plantio Direto no Mato Grosso, Brasil. *XVII RBMCSA*, Rio de Janeiro (Brésil), 10-15 août 2008, 4 p, sous presse.

ARVOR D., SANT’ANNA NETO J. L., DUBREUIL V., ALMEIDA I. V. et MEIRELLES M. S. P., 2007 : Análise dos perfis temporais de EVI/MODIS para o monitoramento da cultura da soja no Estado de Mato Grosso. *XIII Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, INPE, Florianópolis (Brésil), 21-26 avril 2007, 51-58.

BALME M., GALLE S. et LEBEL T., 2005 : Démarrage de la saison des pluies au Sahel : variabilité aux échelles hydrologique et agronomique, analysée à partir des données EPSAT-Niger. *Sécheresse*, **16**, 15-22.

CADET D. et GUILLOT B., 1991 : EPSAT : Estimation des pluies par satellite. Editeur : ORSTOM, 63 p.

CARVALHO L. M. V., JONES C., et LIEBMANN B., 2004 : The South Atlantic convergence zone: Intensity, form, persistence, and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall. *Journal of Climate*, **17**, 88–108.

COLLISCHONN B., ALLASIA D., COLLISCHONN W. et TUCCI C. E. M., 2006 : Estimativas de precipitação por sensoriamento remoto passivo : desempenho do satélite TRMM na bacia do alto Paraguai até Descalvados. *Anais 1º simposio de geotecnologias no Pantanal*, Campo Grande (Brésil), 11-15 novembre 2006, 47-56.

COLLISCHONN B., ALLASIA D., COLLISCHONN W. et TUCCI C. E. M., 2007 : Desempenho do satellite TRMM na estimativa de precipitação sobre a bacia do Paraguai superior. *Revista Brasileira de Cartografia*, **59**, 93-99.

DUBREUIL V., JALLET A., RONCHAIL J. et MAITELLI G., 2004 : Estimation des précipitations par télédétection au Mato Grosso (Brésil). *Annales de l’Association Internationale de Climatologie*, **1**, 133-156.

DURIEUX L., 2002 : *Etude des relations entre les caractéristiques géographiques de la surface et les nuages convectifs dans la région de l’arc de déforestation en Amazonie*. Doctorat de géographie de l’université de Aix-Marseille, 279 p.

FIGUEROA S. N. et NOBRE C. A., 1990 : Precipitation distribution over central and western tropical South America. *Climanalise*, **6**, 36 – 40.

GAN M. A., KOUSKY V. E. et ROPELEWSKI C. F., 2004 : The South America Monsoon Circulation and Its Relationship to Rainfall over West-Central Brazil. *American Meteorological Society*, **17**, 47-66.

GARREAU R. D., 2000 : Cold air incursions over Subtropical South America: Mean structure and dynamics. *Monthly Weather Review*, **128**, 2544-2559.

GARREAUD R. D. et WALLACE J. M., 1998 : Summertime incursions of mid-latitude air into subtropical and tropical South America. *Monthly Weather Review*, **126**, 2713–2733.

GRIMES D. I. F., PARDO-IGUZQUIZA E. et BONIFACIO R., 1999 : Optimal areal rainfall estimation using raingauges and satellite data. *Journal of Hydrology*, **222**, 93-108.

GRIMM A. M., 2003 : The El Niño impact on the summer monsoon in Brazil : regional processes versus remote influences. *Journal of Climate*, **16**, 263-280.

GRIMM A. M., 2004 : How do La Niña events disturb the summer monsoon system in Brazil? *Climate Dynamics*, **22**, 123-138.

GUILLOT B., 1996 : Problèmes de validation des méthodes d'estimation des précipitations par satellite en Afrique Intertropicale. Editeur : IRD, 228 p.

HUFFMAN G. J., ADLER R. F., ARKIN P., CHANG A., FERRARO R., GRUBER A., JANOWIAK J., McNAB A., RUDOLPH B. et SCHNEIDER U., 1995 : The Global Precipitation Climatology Project (GPCP) Combined Precipitation Dataset. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **78**, 5-20.

HUFFMAN G. J., ADLER R. F., BOLVIN D. T., GU G., NELKIN E. J., BOWMAN K. P., HONG Y., STOCKER E. F. et WOLFF D. B., 2007 : The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-Global, Multiyear, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scales. *Journal of hydrometeorology*, **8**, 38-55.

HUFFMAN G. J., ADLER R. F., RUDOLPH B., SCHNEIDER U. et KEEHN P., 1995 : Global Precipitation Estimates Based on a Technique for Combining Satellite-Based Estimates, Rain Gauge Analysis, and NWP Model Precipitation Information. *Journal of Climate*, **8**, 1284-1295.

JALLET A., 2001 : *Apport de l'imagerie infrarouge GOES à la répartition spatiale des précipitations au Mato Grosso (Brésil) de Septembre 1999 à Août 2000*. Mémoire de maîtrise de géographie de l'université de Rennes 2, 108 p.

JOBARD I., 2001 : Status of satellite retrieval of rainfall at different scales using multi-source data. *MEGHA-TROPHIQUES 2nd Scientific Workshop, 2-6 juillet 2001, Paris, France*, 10 p.

LAURENT H., JOBARD I. et TOMA A., 1998 : Validation of satellite and ground-based estimates of precipitation over the Sahel. *Atmospheric Research*, **47-48**, 651-670.

LIEBMANN B., 2006 : A definition for onset and end of the rainy season. Site internet : www.eol.ucar.edu/projects/cppa/meetings/200608/posters/brant.pdf. Accédé le 12/02/2007.

LIEBMANN B. et MARENGO J. A., 2001 : Interannual variability of the rainy season and rainfall in the Brazilian Amazonia. *Journal of Climate*, **14**, 4308–4318.

MARENGO J. A., 1992 : Interannual variability of surface climate in the Amazon basin. *International Journal of Climatology*, **12**, 853–863.

MARENGO J. A., LIEBMANN B., KOUSKY V. E., FILIZOLA N. P. et WAINER I. C., 2001 : Onset and end of the rainy season in the Brazilian Amazon basin. *American Meteorological Society*, **14**, 833-852.

NOGUES-PEAGLE J. et MO K. C., 1997 : Alternating wet and dry conditions over South America in summer. *Monthly Weather Review*, **125**, 279–291.

ODEKUNLE T. O., 2006 : Determining rainy season onset and retreat over Nigeria from precipitation amount and number of rainy days. *Theoretical and Applied Climatology*, **83**, 193-201.

PETTY G. W., 1995 : The status of satellite-based rainfall estimation over land. *Remote Sensing of Environment*, **51**, 125-137.

RATISBONA L. R., 1976 : The climate of Brazil. In : *Climates of Central and South America*, World Survey of Climatology, Elsevier Scientific publishing Company, vol. 12, chap. 5, p. 219-293.

RONCHAIL J., COCHONNEAU G., MOLINIER M., GUYOT J. L., CHAVES A. G. D. M., GUIMARAES V. et DE OLIVEIRA E., 2002 : Rainfall variability in the Amazon Basin and SSTs in the tropical Pacific and Atlantic oceans. *International Journal of Climatology*, **22**, 1663-1686.

ROSOLEM C. A., 2006 : Ecofisiologia da soja. *Boletim de pesquisa de soja 2006*, Fundação MT, 41-51.

ROUCOU P., 1997 : *Impact des températures de surface océanique d'échelle globale sur la dynamique de l'atmosphère et les précipitations tropicales en Amérique du Sud à l'est des Andes : diagnostic et simulation numériques*. Thèse de Doctorat, Géographie, Université de Bourgogne, 199 p.

SELUCHI M. et MARENGO JA., 2000 : Tropical-midlatitude exchange of air masses during summer and winter in South America: climates aspects and examples of intense events. *International Journal of Climatology*, **20**, 1167-1190.

SETTE D. M., 2000 : *O holorrítmo e as interações tropico-extratropico na genese do clima e as paisagens do Mato Grosso*. Thèse de Doctorat, Géographie, Université São Paulo, 375 p.

SHIMIZU S., OKI R. et IGARASHI T., 2001 : Ground validation of radar reflectivity and rain rate retrieved by the TRMM precipitation radar. *Advances in Space Research*, **28**, 143-148.

SIMPSON J., KUMMEROW C., TAO W.-K. et ADLER R. F., 1996 : On the tropical rainfall measuring mission (TRMM). *Meteorology and Atmospheric Physics*, **60**, 19-36.

WOLKER K., 1987 : The Southern Oscillation in surface circulation and climate over the tropical Atlantic, Eastern Pacific, and Indian Oceans as captured by cluster analysis. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, **26**, 540-558.

ZHOU J. et LAU K.M., 1998 : Does a monsoon climate exist over South America? *Journal of Climate*, **11**, 1020-1040.

Références des données obtenues sur internet :

Tropical Rainfall Mapping Mission (TRMM) : accédé en mai 2006 et février 2007 : http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/data/datapool/TRMM_DP/01_Data_Products/02_Gridded/06_3-hour_Gpi_Cal_3B_42/

Données pluviométriques de l'ANA (*sistema de informações hidrologicas de l'Agencia Nacional de Aguas*, Brésil) : accédé en mai 2006 et février 2007 : <http://hidroweb.ana.gov.br/>.

Données de déforestation de l'INPE (*Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais*, Brésil). Projeto PRODES : http://www.obt.inpe.br/prodes/prodes_1988_2007.htm (accédé en avril 2008).

Données de Multivariate ENSO index: accédé en mai 2008 :
<http://www.cdc.noaa.gov/peaopel/klaus.wolker/MEI/>

Données de températures de surface océanique : accédé en mai 2008 :
<http://www.cdc.noaa.gov/ClimateIndices/List/>

Données topographiques SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) : accédé en mai 2008 :
<http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp>

Arvor D., Dubreuil V., Ronchail J., Simoes Penello Meirelles M
Contribuicao dos dados TRMM 3B42 ao estudo das
precipitacoes no Mato Grosso

In : Santos J. (ed.) Producao do espaco e transformacoes
socioambientais das paisagens do Mato Grosso. Cuiaba :
Universidade Federal de Mato Grosso, 2010, p. 121-145.