

IMPACTO DE SISTEMAS METEOROLÓGICOS NO REGIME HÍDRICO DO RIO GRANDE DO SUL EM 2006

Cláudia Rejane Jacondino de Campos e Morgana Vaz da Silva

Recebido em 17 novembro, 2009 / Aceito em 18 fevereiro, 2010
Received on November 17, 2009 / Accepted on February 18, 2010

ABSTRACT. In this work were realized the seasonal determination and analysis of Water Balance (WB) and the analysis of the Meteorological Systems (MS) impact in the hydric regime for the Rio Grande do Sul State (RS) in 2006. Air temperature and rainfall monthly data from 2006, distributed in 16 surface meteorological stations of the RS were used to calculate the WB. The methods proposed by Thornthwaite & Mather (1955) and Thornthwaite (1948) were used to calculate the WB and the evapotranspiration, respectively. The impact of MS in the hydric regime of the RS in 2006 was analyzed using data of occurrence of Frontal System (FS), Mesoscale Convective System (MCS) and Severe Events (SE). The 2006 RS rainfall distribution was uniform in the four periods of the year, with higher rainfall volume in the northern half of RS, where there was no lack of water in 2006. In the southern half of RS in 2006 there was lack of water in JFM and in OND in the coastal region. The factors that contributed to water availability during 2006 in the northern half and lack of water in the southern half of RS in JFM (Jan, Feb, Mar) and in OND (Oct, Nov, Dec) in the coastal region were: MCS and SE higher frequency in the northern half; FS lower frequency in this year in the southern half of RS in relation to the normal climatological data and the ENSO (El Niño South Oscillation) acting whose configuration in 2006 caused dry spell in the Brazil south region.

Keywords: water balance, meteorological systems, rainfall.

RESUMO. Neste trabalho foram realizadas a determinação e a análise sazonal do Balanço Hídrico (BH) e a análise do impacto dos Sistemas Meteorológicos (SM) no regime hídrico para o Rio Grande do Sul (RS) no ano de 2006. Utilizaram-se, para o cálculo dos BH, dados mensais de 2006 de temperatura média do ar e precipitação pluvial de 16 estações meteorológicas de superfície do Estado. Os métodos propostos por Thornthwaite & Mather (1955) e Thornthwaite (1948) foram usados para calcular os BH e a evapotranspiração, respectivamente. O impacto dos SM no regime hídrico do RS no ano de 2006 foi analisado com dados de ocorrência de Sistemas Frontais (SF), de Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM) e de Eventos com Condição de Tempo Severo (ECTS). A distribuição da precipitação pluvial no RS em 2006 foi uniforme nos quatro períodos do ano, com registro de maior volume pluviométrico na Metade Norte do Estado, onde não ocorreu falta de água em 2006. Na Metade Sul ocorreu falta de água em JFM (Jan, Fev, Mar) e o no litoral em OND (Out, Nov, Dez) neste ano. Os fatores que contribuíram para a disponibilidade d'água durante o ano de 2006 na Metade Norte e falta de água na Metade Sul do RS em JFM e no litoral em OND, foram: a maior frequência de SCM e de ECTS na Metade Norte do RS; a menor frequência de SF neste ano na Metade Sul do RS em relação à normal climatológica e a atuação do fenômeno ENOS (El Niño Oscilação Sul) cuja configuração em 2006 provocou estiagem na região Sul do Brasil.

Palavras-chave: balanço hídrico, sistemas meteorológicos, precipitação pluvial.

INTRODUÇÃO

A região sul do país é afetada por vários fenômenos do tempo que causam, de uma forma ou de outra, prejuízos à economia do Estado do RS. Isso porque variações na precipitação geradas pela atuação de diferentes SM causam variações no armazenamento hídrico pelo solo (Davis, 2000).

Dentro deste contexto, uma ferramenta extremamente útil para monitorar a variação do armazenamento de água no solo é o BH. Através do BH é possível determinar as regiões que apresentam déficit ou excesso hídrico, utilizando variáveis como precipitação (entrada de água no solo) e evapotranspiração (saída de água do solo). Esta ferramenta é de fundamental importância nos diversos campos das atividades humanas que tratam da utilização e manejo da água, nas quais se destacam o planejamento de atividades agrícolas, zoneamento agroclimático, classificação climática, vazão, previsão de enchentes, planejamento e manejo de qualquer sistema de irrigação (Costa et al., 1998; Silva et al., 1998).

Estudos mostram que, no RS, em algumas regiões da Metade Norte do Estado o volume de chuvas ultrapassa 1.900mm anuais, enquanto que na Metade Sul, algumas regiões apresentam volumes inferiores a 1.400mm anuais, caracterizando, portanto uma variabilidade espacial significativa (Matzenauer et al., 2007). Apesar da variabilidade espacial observada no RS, a distribuição da precipitação nas quatro estações do ano é bastante uniforme (Berlato, 1992). Porém os SM que as geram são distintos: nas estações frias (AMJ e JAS) e nas estações quentes (OND e JFM), grande parte da precipitação registrada é associada a sistemas sinóticos (SF) e a sistemas de mesoescala (SCM), respectivamente (Scaglioni & Saraiva, 2005; Marques, 2005). O acompanhamento dos SF que atuam no Brasil pode ser obtido nos Boletins de Monitoramento e Análise Climática – Climanálise, divulgados pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos localizado no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE). Para a detecção e acompanhamento dos SCM dispõem-se, atualmente, do aplicativo ForTrACC (Forecasting and Tracking of Actice Cloud Clusters) que utiliza limiares de temperatura nas imagens do canal-4 do satélite GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) para detectar os SCM (Vila et al., 2008).

Pelo exposto, fica clara a importância do estudo do regime hídrico do solo associado ao estudo dos SM que geram a precipitação no RS, uma vez que os efeitos da atuação desses sistemas no regime hídrico do Estado causam grande impacto na população em geral, na área econômica e também na área agrícola.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi determinar e analisar o Balanço Hídrico para o RS em 2006 visando detectar épocas e regiões de excesso ou déficit de água e analisar o impacto de Sistemas Meteorológicos no regime hídrico do Estado neste ano.

METODOLOGIA

O ano de 2006 foi selecionado para este estudo por ter apresentado precipitação abaixo da normal, com períodos de estiagem e também por ter sido um ano com atuação das três fases do fenômeno ENOS-El Niño Oscilação Sul (Climanálise, 2006).

Inicialmente foi calculado o BH para o ano de 2006 (BHA-2006), utilizando dados mensais de temperatura média do ar (Tm) e precipitação pluvial (P) de 16 estações meteorológicas de superfície distribuídas no RS (Fig. 1), pertencentes ao 8° DISME/INMET (Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia). As 16 estações meteorológicas de superfície foram escolhidas por estarem bem distribuídas, por apresentarem uma série completa de dados e por pertencerem a diferentes regiões Ecoclimáticas do Estado.

Os BH foram calculados pelo método proposto por Thornthwaite & Mather (1955), uma vez que o mesmo utiliza em seus cálculos elementos climatológicos que são os mais observados e de melhor qualidade (P e Tm) (Toledo et al., 2002). Este método é uma das várias maneiras de se monitorar a variação do armazenamento de água no solo. Através da contabilização do suprimento natural de água ao solo pela precipitação e da demanda atmosférica pela evapotranspiração potencial (ETP), e com um nível máximo de armazenamento ou capacidade de água disponível (CAD), o BH fornece estimativas da evapotranspiração real (ETR), da deficiência hídrica (DEF), do excedente hídrico (EXC) e do armazenamento de água no solo (ARM), para cada mês do ano (Camargo, 1971; Pereira et al., 1997). Para a estimativa da ETP foi utilizado o procedimento proposto por Thornthwaite (1948), o qual tem a vantagem de necessitar apenas dos dados de Tm dos períodos e da latitude do local, fornecendo resultados confiáveis entre as latitudes de 40°N e 40°S (Dourado & Lier, 1991). Considerou-se o valor de 100mm para a capacidade de armazenamento de água no solo (CAD), uma vez que Camargo (1971) e Tubelis & Nascimento (1983), sugerem que este valor pode ser considerado para as plantas agrícolas em geral. Foi adotada uma planilha EXCEL, desenvolvida por Rolim et al. (1998) para o cálculo dos BH. O BH de cada uma das estações meteorológicas de superfície, calculado conforme descrito acima, representou uma estimativa do comportamento do regime hídrico do RS em 2006, ou seja, serviu para identificar as regiões do Estado que possuíam déficit/excesso hídrico neste ano.

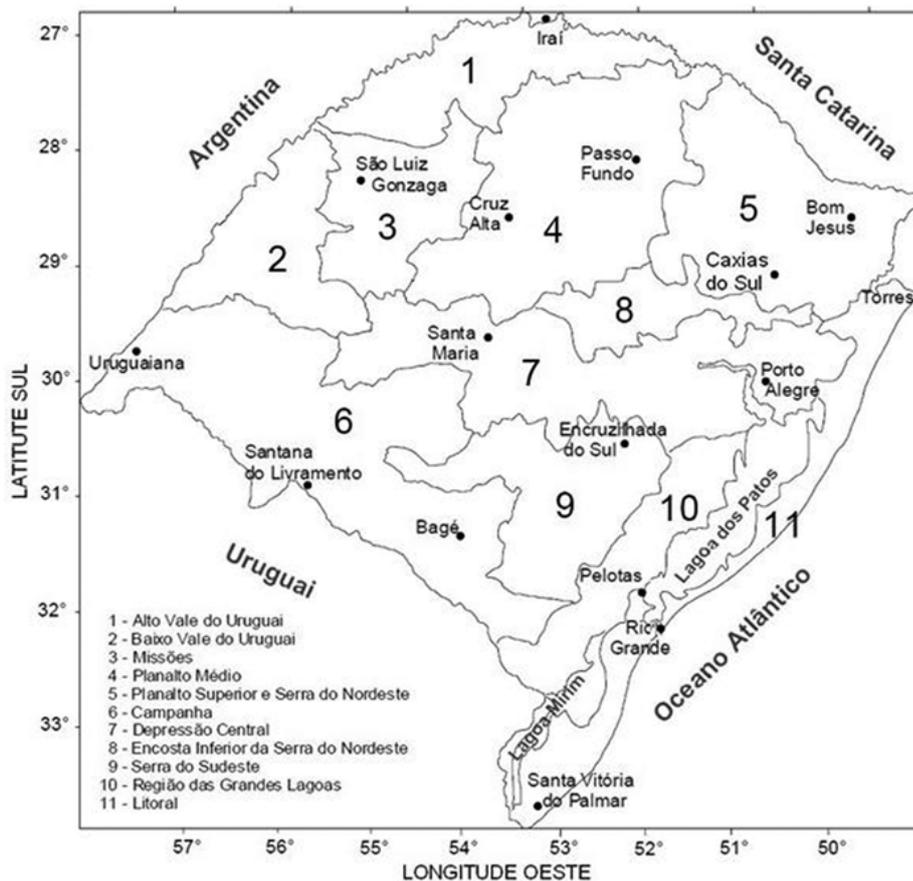


Figura 1 – Distribuição espacial das estações meteorológicas utilizadas neste trabalho, em suas respectivas Regiões Ecoclimáticas.

Os dados resultantes do cálculo do BHA2006 foram separados:

- i) por região: Metade Norte e Metade Sul. Isso foi feito porque segundo diversos autores (Ipagro, 1989; Nimer, 1989; Ávila et al., 1996; Berlato et al., 2000; Matzenauer et al., 2007) existe uma diferença no regime pluviométrico destas duas regiões do Estado. As estações meteorológicas que compõem a Metade Norte do Estado são: Bom Jesus, Caxias do Sul, Cruz Alta, Iraí, Passo Fundo, Santa Maria, São Luiz Gonzaga e Torres, e aquelas que compõem a Metade Sul do Estado são: Bagé, Encruzilhada do Sul, Pelotas, Porto Alegre, Rio Grande, Santa Vitória do Palmar, Santana do Livramento e Uruguaiana (Fig. 1) e
- ii) por trimestres que representam cada uma das estações do ano (Araújo, 2005): período quente (jan-fev-mar, JFM), período temperado frio (abr-mai-jun, AMJ), período frio (jul-ago-set, JAS) e período temperado quente (out-nov-dez, OND). Não foram usados os trimestres astronômicos, que definem as estações do ano, por facilitar os cálculos

com dados dentro do mesmo ano. A separação por trimestres dos componentes do BHA2006 de cada uma das 16 estações meteorológicas utilizadas neste trabalho foi feita da seguinte maneira: os valores de P, (P-ETP), DEF e EXC de cada trimestre correspondem à soma dos valores desses componentes obtidos em cada mês do trimestre. Portanto, cabe ressaltar que dentro de um trimestre é possível que uma determinada estação meteorológica apresente tanto DEF quanto EXC hídricos, uma vez que esses valores são o resultado da soma dos DEF e EXC hídricos ocorridos nos 3 meses que compõem o trimestre.

Na sequência foi feita a análise sazonal do regime pluviométrico e hídrico para a Metade Norte e para a Metade Sul do RS utilizando os resultados do BHA2006.

Em seguida foi feita a análise do impacto dos SM no regime hídrico do RS no ano de 2006, da seguinte forma:

- i) inicialmente analisou-se a distribuição sazonal dos SF que atuaram no RS utilizando-se os Boletins Climanalise

(2006), divulgados pelo CPTEC/INPE, que descrevem as situações sinóticas ocorridas em cada mês no Brasil, e permitem a detecção da atuação de SF sobre a região de estudo. Com estes dados, foi contabilizado o número de SF que atuaram em 2006 em cada estação do ano no RS;

- ii) em seguida analisou-se a distribuição sazonal dos SCM que atuaram na Metade Norte e na Metade Sul do RS. Para tal, utilizou-se imagens brutas do satélite GOES-12, com resolução espacial de 4×4 km e escala temporal de 30 minutos, fornecidas pelo CPTEC/INPE, do ano de 2006 e o aplicativo ForTrACC (Vila et al., 2008), que utiliza limiares de temperatura, nas imagens do canal-4 do GOES para detectar os SCM. Este aplicativo, que é um método de identificação e acompanhamento dos SCM, fornece informações sobre as características físicas de cada SCM durante seu ciclo de vida. Foram selecionados os SCM, com duração superior a 1h30min, que atuaram no RS em 2006 pela detecção do centro de massa da máxima extensão de cada SCM, que deveria estar dentro dos limites de latitude e longitude do Estado e
- iii) por fim analisou-se a distribuição sazonal dos fenômenos atmosféricos que causaram condições de tempo severo no RS, utilizando-se dados fornecidos pela defesa civil do RS (Defesa Civil, 2009). Do banco de dados da defesa civil do RS foram selecionadas as ocorrências de eventos com condição de tempo severo (enchente, furacão, granizo e vendaval) observadas em 2006. Foi computado o número de eventos observados na Metade Norte e Metade Sul do Estado, para cada estação do ano.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A distribuição anual da precipitação pluvial para 2006 mostra que os maiores volumes pluviométricos foram registrados na Metade Norte quando comparados com a Metade Sul do RS. Pode-se observar na Figura 2a uma isoietas de 1.300mm que corta o RS de leste a oeste, próximo a 30° S, com valores superiores ao Norte e inferiores ao Sul. Na região noroeste da Metade Norte o volume pluviométrico ultrapassou 1.700mm anuais e na Metade Sul, na região da campanha e extremo Sul do RS, os volumes de chuva foram inferiores a 1.100mm. Pode-se observar também que em 2006 no RS ocorreram anomalias negativas de precipitação pluvial (Fig. 2b), ou seja, neste ano no RS choveu menos do que a normal climatológica do período de 1977 a 2006. Além disso, as regiões norte e sudoeste do Estado foram as que apresentaram as maiores anomalias negativas de precipitação pluvial neste ano.

Uma justificativa para o registro de volume pluviométrico anual abaixo da normal em 2006 no RS (Fig. 2b), foi a atuação do fenômeno ENOS (Climanálise, 2006) que apresentou a seguinte configuração: JFM – La Niña fraca; AMJ – condições de neutralidade; JAS – início El Niño fraco e OND – El Niño fraco. Apesar de estudos climatológicos indicarem que o fenômeno El Niño normalmente causa aumento da precipitação na região sul do Brasil, foi registrada precipitação abaixo da média climatológica nos trimestres JAS e OND. Este fato está associado a uma forma atípica do fenômeno El Niño encontrada no Oceano Pacífico Tropical, o El Niño Modoki (palavra em japonês que significa similar, porém diferente). Esse fenômeno se caracteriza por apresentar anomalias positivas de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) na região central do Oceano Pacífico (e não no leste do Oceano Pacífico próximo à costa peruana como é observado no El Niño tradicional) e provoca efeitos contrários daqueles do El Niño no regime de precipitação, ou seja, causa estiagem nas regiões sul e sudeste e chuvas acima da média climatológica no nordeste do Brasil (Ashok et al., 2007; Wang & Hendon, 2007; Weng et al., 2007). A atuação do El Niño Modoki nos trimestres JAS e OND de 2006 pode ser comprovada, uma vez que foram observadas, nestes trimestres, anomalias positivas de TSM localizadas na região central do Oceano Pacífico (Climanálise, 2006) e índices de El Niño Modoki positivos (Jamstec, 2010), que são indicativos de ocorrência deste fenômeno.

Os maiores e menores volumes pluviométricos em 2006 foram observados em diferentes regiões do Estado dependendo do trimestre analisado. No período quente (JFM) volumes pluviométricos superiores a 480mm foram observados no norte da Metade Norte enquanto que no oeste da Metade Sul do RS foram observados valores inferiores a 150mm (Fig. 3a). No período temperado frio (AMJ) a distribuição de precipitação variou de valores superiores a 300mm nas regiões nordeste (Caxias de Sul) e fronteira oeste (Uruguaiana), a valores inferiores a 180mm no litoral sul (Pelotas) (Fig. 3b). No período frio (JAS) os volumes de chuva foram superiores a 350mm na região nordeste do RS e na região sudoeste estes não ultrapassaram 250mm (Fig. 4a). Já no período temperado quente (OND) na região noroeste do RS os volumes de precipitação foram superiores a 600mm, e inferiores a 180mm no extremo Sul da Metade Sul do RS (Fig. 4b).

Conforme mencionado anteriormente, apesar da variabilidade espacial observada no RS, a distribuição da precipitação nas quatro estações do ano é bastante uniforme (Berlato, 1992). Porém os Sistemas Meteorológicos que as geram são distintos: nas estações frias (AMJ e JAS) e nas estações quentes (OND e JFM), grande parte da precipitação registrada é associada a

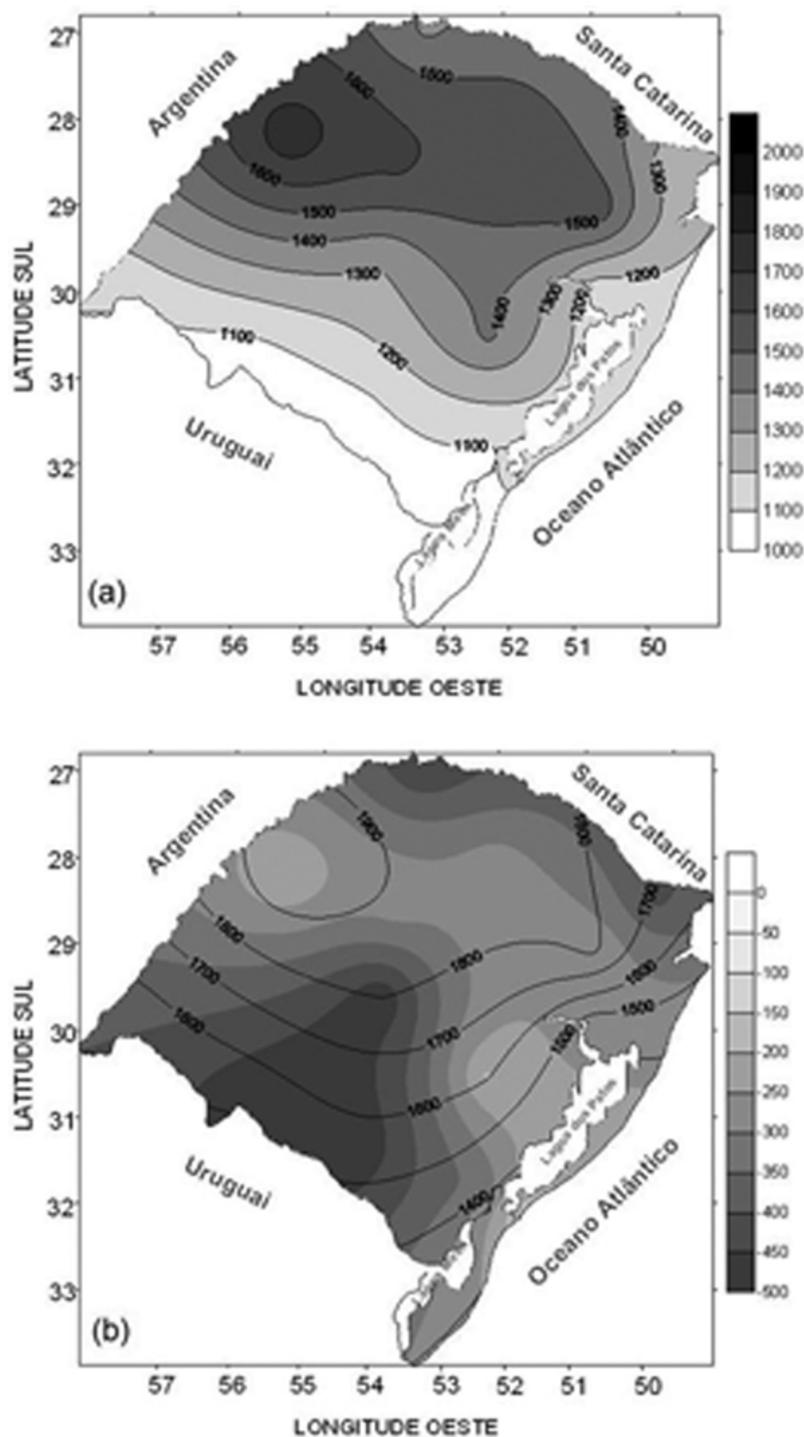


Figura 2 – Distribuição anual da precipitação pluvial (mm) no RS em 2006 (a) e anomalias de precipitação pluvial (mm) de 2006 (contornos em laranja) em relação à normal climatológica do período de 1977 a 2006 (isolinhas) (b).

sistemas sinóticos (SF) e a sistemas de mesoescala (SCM), respectivamente (Oliveira, 1986; Lemos & Calbete, 1996; Justi da Silva & Silva Dias, 2002; Cavalcanti & Kousky, 2003; Scaglioni

& Saraiva, 2005; Marques, 2005; Campos et al., 2007).

O comportamento sazonal do regime hídrico do RS, no ano de 2006 é mostrado nas Figuras 5 a 8.

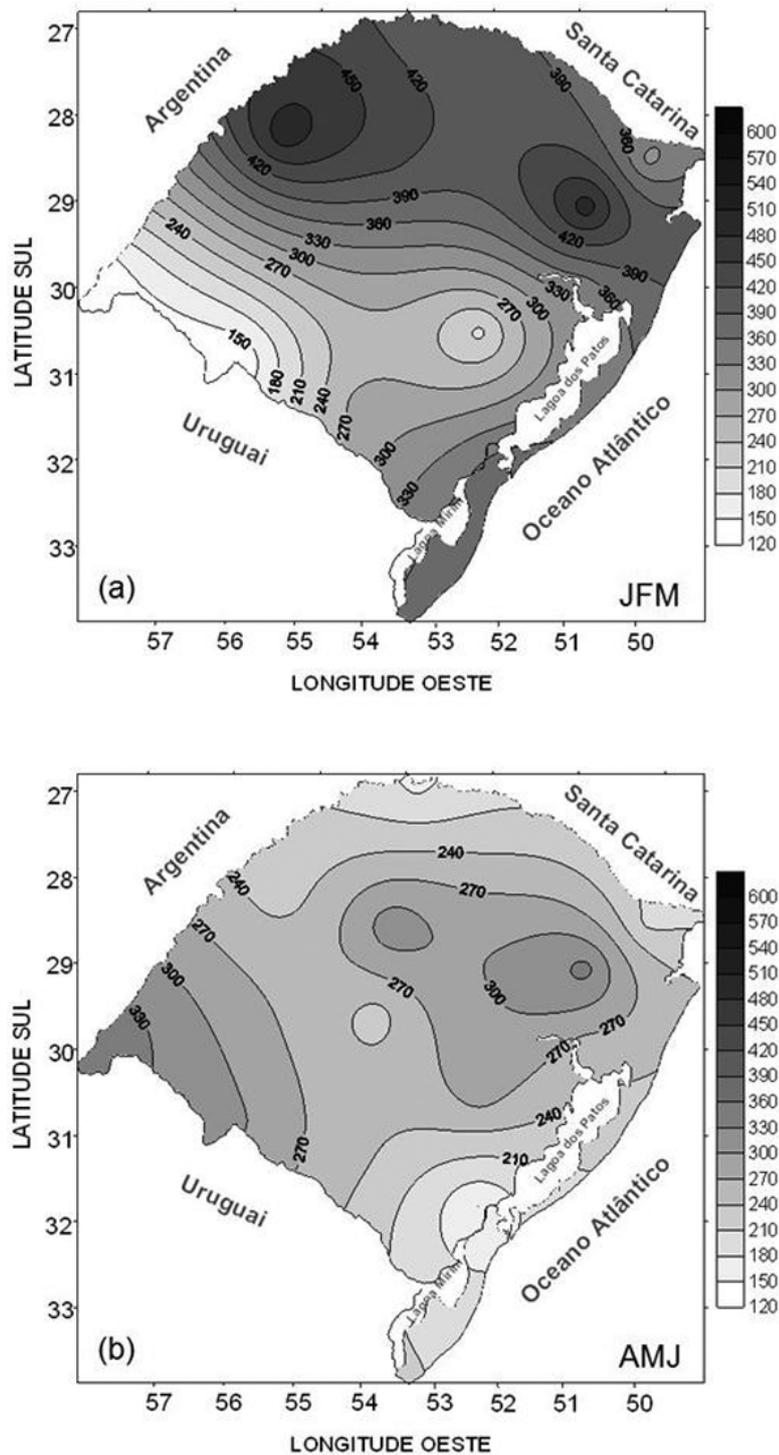


Figura 3 – Distribuição sazonal da precipitação pluvial (mm) no RS em 2006 nos períodos: (a) quente (JFM), (b) temperado frio (AMJ).

No período quente (JFM) na Metade Norte do Estado observou-se a ocorrência de déficits e excessos hídricos (Fig. 5). Na porção leste da Metade Norte do RS, foram registrados os

maiores volumes de excedentes hídricos. Esse fato ocorreu devido aos maiores índices pluviométricos associados a menores índices evaporativos desta região. Já na região oeste da Metade

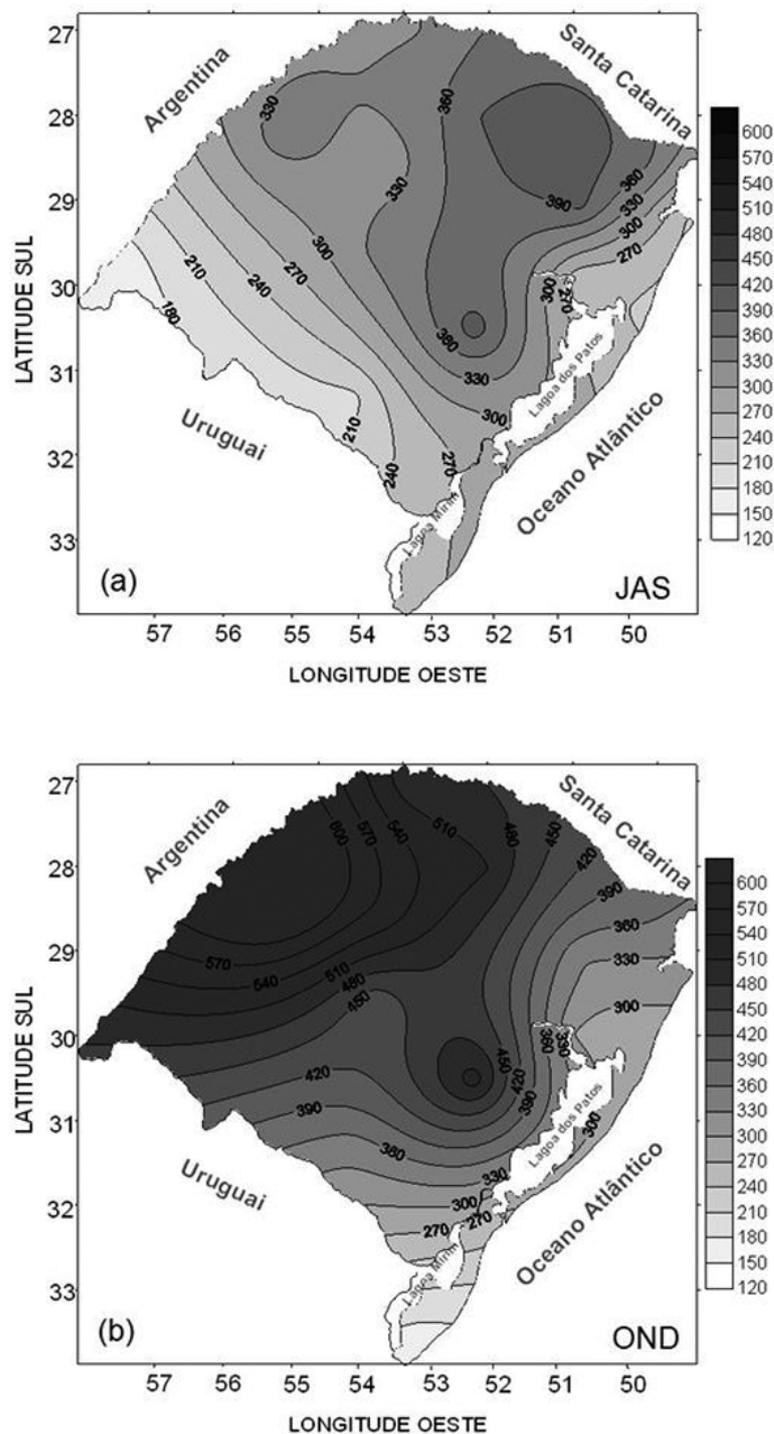


Figura 4 – Distribuição sazonal da precipitação pluvial (mm) no RS em 2006 nos períodos: (a) frio (JAS) e (b) temperado quente (OND).

Norte observou-se a ocorrência de déficits hídricos. É importante destacar que os maiores e os menores volumes sazonais de déficits hídricos e de excedentes hídricos na Metade Norte do

Estado ocorreram neste trimestre na região central. Os déficits hídricos observados foram supridos em toda região, exceto na região central (Santa Maria) que registrou somente déficit hídrico

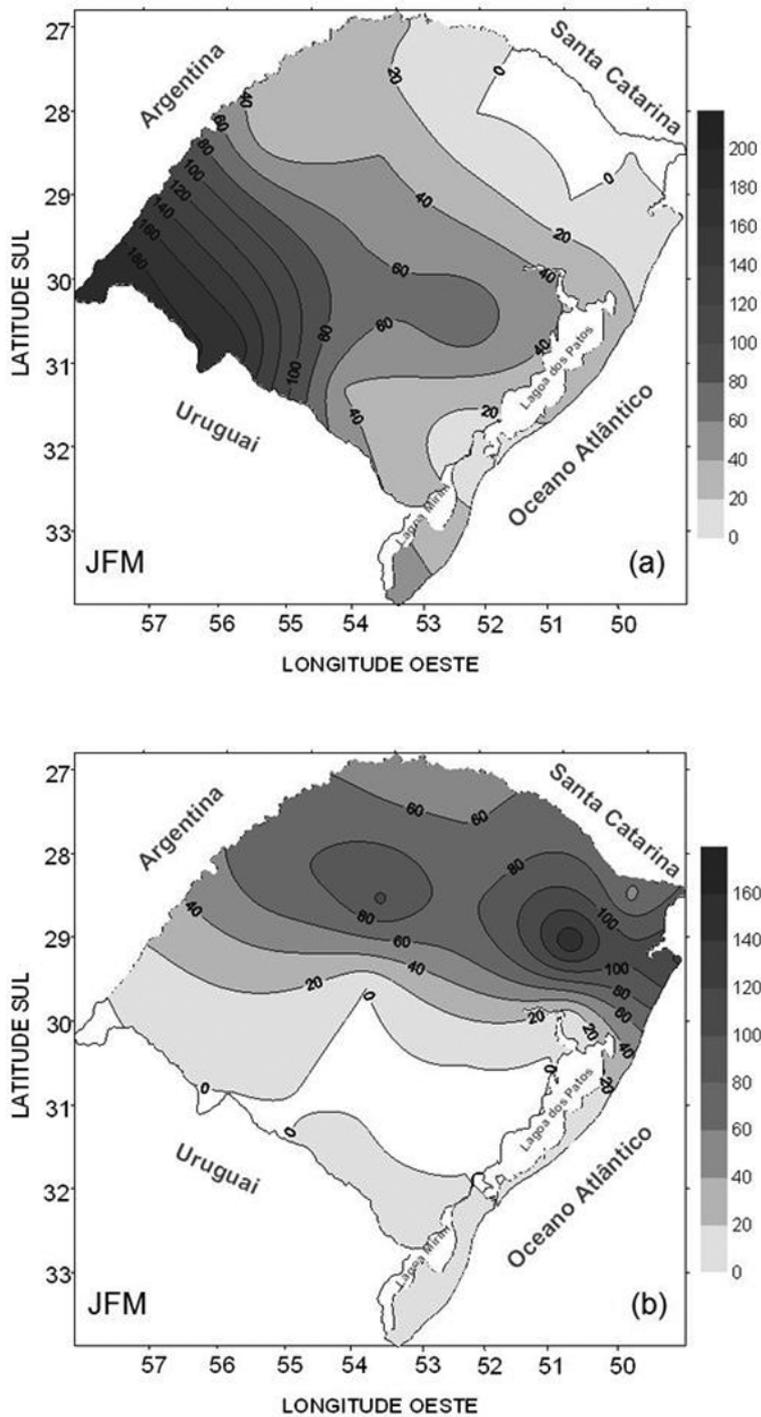


Figura 5 – Regime hídrico do RS em 2006 para o período quente (JFM). (a) déficits hídricos (mm) e (b) excessos hídricos (mm).

devido à demanda evaporativa ter sido superior ao volume de chuva. Neste trimestre, na Metade Sul do Estado também ocorreram tanto déficits quanto excessos hídricos. Porém os déficits foram sempre superiores aos excessos hídricos. A região oeste da

porção Sul do RS foi a que registrou os maiores déficits hídricos. Os altos índices evaporativos deste trimestre contribuíram para a baixa disponibilidade de água, causando falta d'água na Metade Sul do RS neste trimestre principalmente na fronteira oeste.

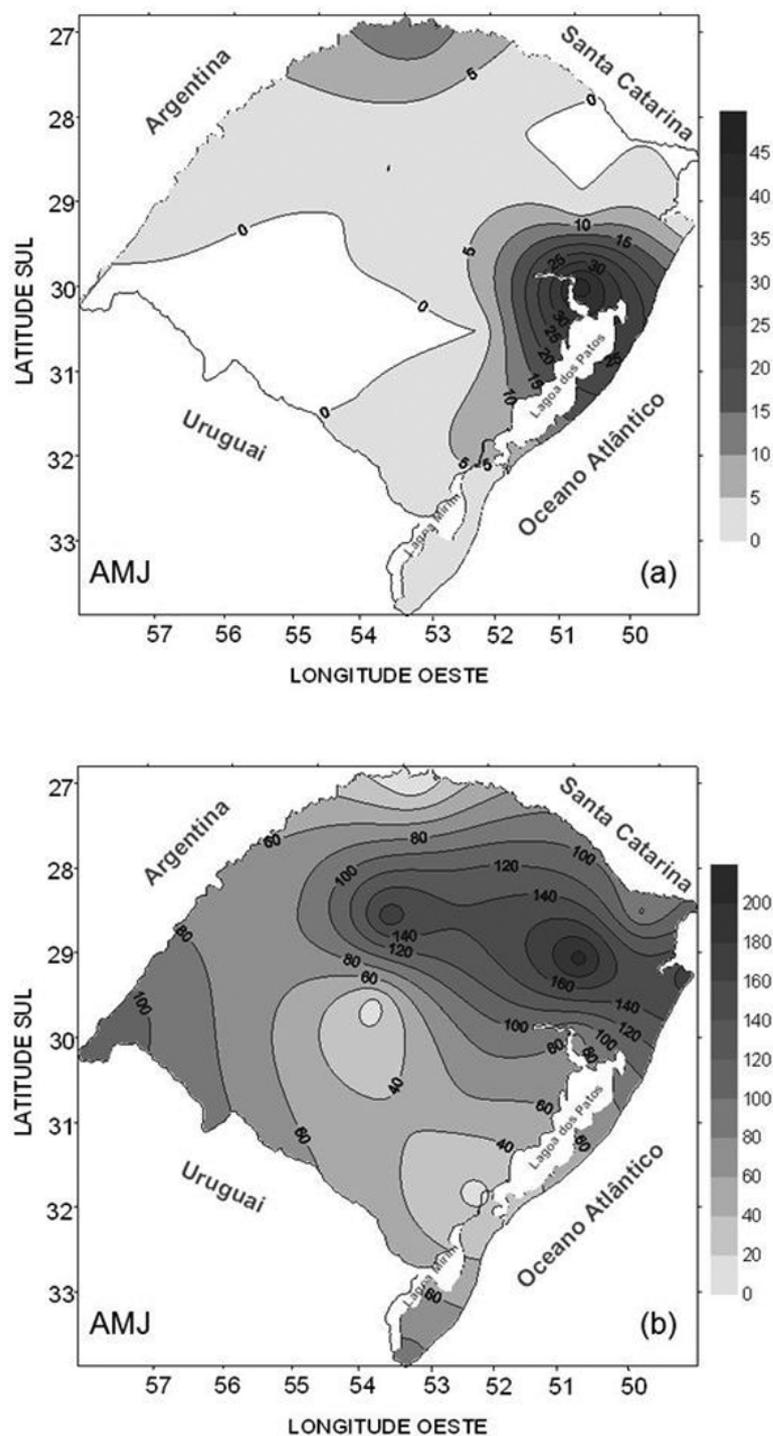


Figura 6 – Regime hídrico do RS em 2006 para o período temperado frio (AMJ). (a) déficits hídricos (mm) e (b) excessos hídricos (mm).

No período temperado frio (AMJ), assim como no período quente (JFM), observou-se na Metade Norte do RS, a ocorrência de déficits e excessos hídricos, porém com valores menores de déficits e maiores de excessos hídricos em relação à JFM (Fig. 6).

Os excessos hídricos, neste trimestre, foram maiores no centro leste e menores no norte e os déficits hídricos foram maiores no norte da porção norte do Estado. Apesar de neste trimestre, na Metade Norte do RS em 2006, ter ocorrido deficiências hídricas,

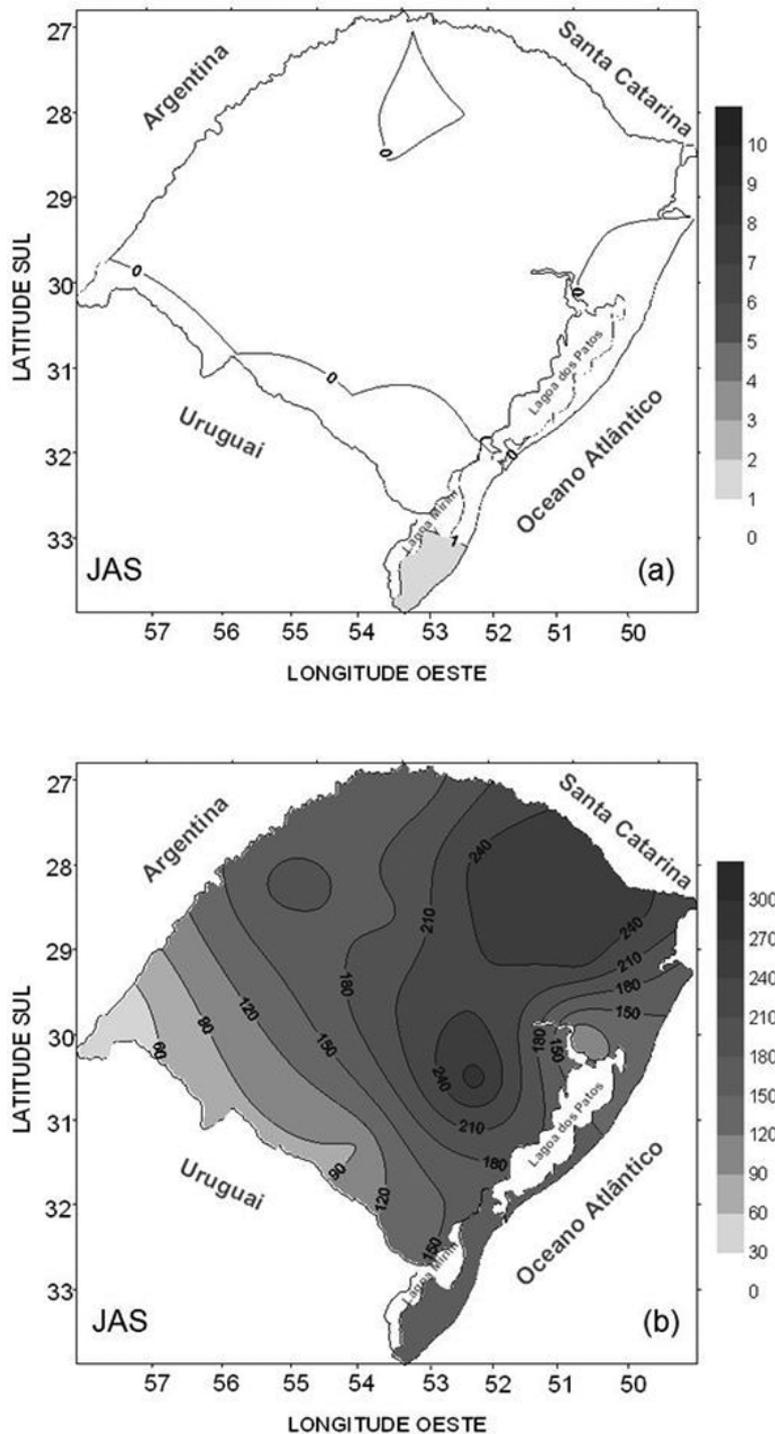


Figura 7 – Regime hídrico do RS em 2006 para o período frio (JAS). (a) déficits hídricos (mm) e (b) excessos hídricos (mm).

estas foram pequenas e supridas pela disponibilidade de água. Exceção ocorreu na região norte (Iraí), onde o volume de chuvas não supriu a demanda evaporativa. Na Metade Sul do RS neste trimestre, também ocorreram tanto déficits quanto ex-

cessos hídricos. Porém, ao contrário do observado no trimestre de JFM, em AMJ os excessos foram sempre superiores aos déficits hídricos. Os maiores e menores valores de excedente hídrico foram observados na fronteira oeste (acima de 110mm, na região

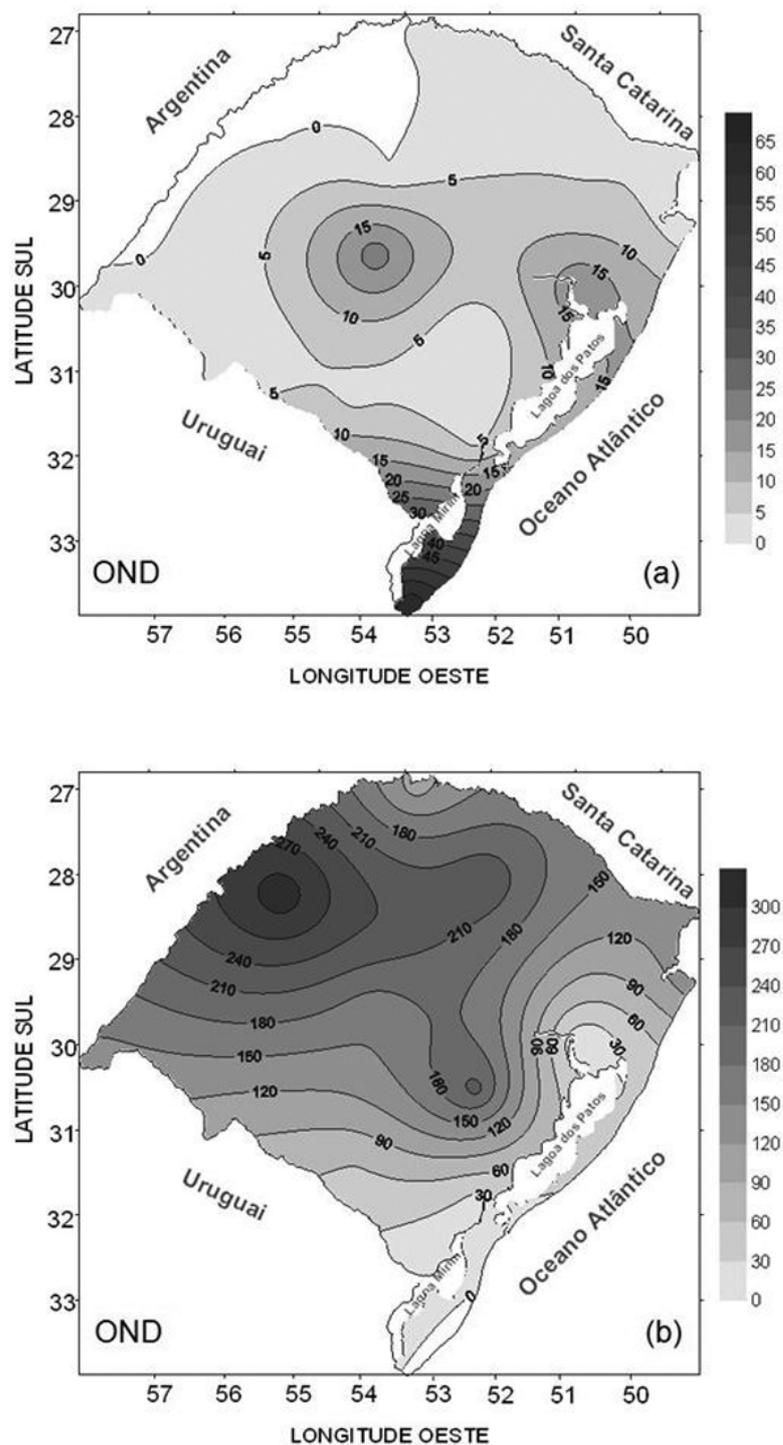


Figura 8 – Regime hídrico do RS em 2006 para o período temperado quente (OND). (a) déficits hídricos (mm) e (b) excessos hídricos (mm).

de Uruguaiana) e no litoral Sul (inferior a 20mm, na região de Pelotas), respectivamente. Já os déficits hídricos ficaram concentrados no litoral (valores superiores a 40mm, na região de Porto

Alegre). Neste trimestre, apesar da ocorrência de déficits hídricos, a demanda evaporativa mais baixa contribuiu para que não houvesse falta de água na Metade Sul do RS.

O período frio (JAS) foi o que apresentou os maiores volumes sazonais de excedente hídrico (Fig. 7). Em toda a Metade Norte do RS, neste trimestre, foram observados excessos hídricos, não havendo diferenças marcantes quanto à distribuição espacial destes, com menores e maiores valores de excesso hídrico registrados, respectivamente, nas regiões norte e nordeste. Na Metade Sul do RS neste trimestre as regiões centro leste e oeste foram as que apresentaram os maiores e menores valores de excedente hídrico, respectivamente. Apenas na região de Santa Vitória do Palmar foi observada deficiência hídrica de 1,84mm no mês de setembro. Assim não ocorreu falta d'água em 2006 no RS neste trimestre, uma vez que a disponibilidade de água foi suficiente para repor a demanda evaporativa do período.

No período temperado quente (OND) o regime hídrico na Metade Norte do RS apresentou características semelhantes às observadas nos trimestres JFM e AMJ, ou seja, ocorreram tanto déficits quanto excessos hídricos (Fig. 8). Em toda esta porção do Estado o excedente hídrico foi sempre superior à deficiência hídrica. A região noroeste da Metade Norte do RS, neste trimestre foi a que apresentou os maiores valores de excesso hídrico, destacando-se a região de São Luiz Gonzaga, única a registrar apenas excedente hídrico e o maior volume de excesso hídrico (~320mm). Por outro lado, os déficits hídricos registrados nessa porção do Estado foram maiores na região central, destacando-se Santa Maria que registrou o maior volume de deficiência hídrica (~23mm). Novamente assim como nos trimestres JFM e AMJ, não houve falta d'água em 2006 na Metade Norte do Estado, uma vez que os déficits hídricos observados foram inferiores aos excessos hídricos. Para a Metade Sul do RS observou-se também neste trimestre, assim como em JFM e AMJ, a ocorrência de déficits e excessos hídricos. Neste trimestre, os maiores volumes de excedentes hídricos, superiores a 180mm, estavam concentrados na porção central da Metade Sul do RS. Por outro lado, no litoral da Metade Sul do RS, neste trimestre, foi observada a ocorrência de déficits hídricos. Pode-se notar que, neste trimestre, na região de Porto Alegre e Santa Vitória do Palmar houve falta de água, uma vez que a demanda evaporativa foi superior à precipitação pluvial. Nas outras regiões da Metade Sul do Estado a demanda evaporativa foi suprida pelo aporte de água, não ocorrendo falta de água.

Assim na Metade Norte do RS em 2006 pode-se observar que os maiores volumes de déficit e os menores volumes de excesso hídricos, foram observados no período quente (JFM). Já os maiores volumes de excedente hídrico foram observados no período frio (JAS), único trimestre a não apresentar deficiência hídrica. Pode-se constatar que não ocorreu falta de água nesta porção do

Estado em 2006, apesar da ocorrência de déficits hídricos nos trimestres de JFM, AMJ e OND, uma vez que estes foram inferiores aos excessos hídricos. Exceção ocorreu nas regiões de Santa Maria (em JFM) e Iraí (em AMJ) que apresentaram somente déficit hídrico e, portanto falta de água. Essa situação é incomum nesta porção do Estado, já que segundo Sentelhas et al. (1999) as regiões cobertas por essas duas cidades, pelo cálculo do BH para o período de 1961 a 1990, caracterizam-se por apresentar excedentes hídricos em todos os meses do ano. Portanto, apesar de a Metade Norte do RS apresentar precipitação anual superior a 1.600mm de acordo com as normais climatológicas de 1977 a 2006 (Fig. 2b) e, por essa razão ser caracterizada por não apresentar falta de água, no ano de 2006 observou-se nessa porção do Estado valores de precipitação mais baixos (superiores a 1.300mm, Fig. 2a), além da ocorrência de déficits hídricos e falta de água em duas regiões. Uma justificativa para isso foi a atuação do fenômeno La Niña em JFM e AMJ e El Niño Modoki em JAS e OND que causam estiagem na região sul do Brasil.

Por outro lado, em 2006, na Metade Sul do RS, pode-se observar a ocorrência de déficits e excessos hídricos em todos os trimestres do ano (Figs. 5 a 8). Os maiores e menores volumes de déficits hídricos ocorreram em JFM (superiores a 180mm, no oeste) e JAS (inferior a 2mm, no litoral), respectivamente. Já os maiores e menores volumes de excedentes hídricos ocorreram, respectivamente, em JAS (superiores a 270mm, na região central) e JFM (inferiores a 20mm, no litoral). Nesta porção do Estado em 2006 não houve falta d'água, apesar da ocorrência de déficits hídricos, nos trimestres AMJ, JAS e OND, uma vez que a demanda evaporativa foi suprida pelo aporte de água. Porém a menor disponibilidade de água e a maior deficiência hídrica observada em 2006 em relação às condições normais, para o período de 1977 a 2006, causou falta d'água em 2006 na Metade Sul do RS no período quente (JFM), e no litoral no período temperado quente (OND). Pode-se justificar esse fato pela atuação do fenômeno La Niña em JFM e AMJ e El Niño Modoki em JAS e OND que causam precipitação abaixo da média climatológica no sul do Brasil.

Comparando os resultados do regime hídrico da Metade Sul com aqueles da Metade Norte do Estado (Figs. 5 a 8) pode-se observar que a porção Sul do RS em 2006 apresentou menor disponibilidade de água e maior deficiência hídrica. Esse fato ocorreu devido a dois fatores. Primeiro, o volume pluviométrico diferenciado das duas regiões, ou seja, a Metade Sul registrou em 2006 precipitação pluvial menor em relação à Metade Norte do Estado. E segundo, diferença na composição do solo das duas regiões: Metade Norte – solos da classe dos Latossolos e Argilosos, com

baixo risco de ocorrência de deficiência hídrica e Metade Sul – solos do tipo Neossolos, de baixa profundidade e baixa capacidade de armazenamento (FZB-RS, 2008).

O impacto de SM no regime hídrico do RS em 2006 é analisado a seguir.

Os resultados da análise da distribuição sazonal dos SF que atuaram no RS em 2006 mostraram que neste ano atuaram sobre o RS 53 SF em todos os trimestres (Fig. 9). Os trimestres que apresentaram maior e menor ocorrência de SF foram JAS (34% do total de SF) e JFM (18,7% do total de SF). Esses resultados concordam com Oliveira (1986), Lemos & Calbete (1996), Justi da Silva & Silva Dias (2002) e Cavalcanti & Kousky (2003) que mostram que os SF atingem a região costeira do sul do Brasil mais frequentemente no período de inverno (JAS).

Por outro lado, a climatologia de SF para latitudes entre 25°S e 35°S, dentro da qual se localiza o RS (~27°S e ~34°S), é de 6 e 7 SF por mês nos períodos de dezembro a junho e julho a novembro, respectivamente (Climanálise, 2006). Com base nesta informação a climatologia de SF para cada trimestre do ano é a seguinte: 18 SF nos trimestres JFM e AMJ, 21 SF no trimestre JAS e 20 SF no trimestre OND. Confrontando os resultados obtidos neste trabalho com a climatologia de SF para cada trimestre pode-se observar que o número de SF em todos os trimestres do ano de 2006 ficou abaixo do esperado (Fig. 9). Sendo os períodos quente (JFM) e frio (JAS) os que apresentaram maior e menor desvio negativo de ocorrência de SF em relação ao valor climatológico, ou seja, passaram sobre o RS nestes trimestres 44,5% e 14,3% menos SF do que normalmente se espera para estes períodos, respectivamente. Nos períodos temperado frio (AMJ) e temperado quente (OND) foram observados desvios negativos de ocorrência de SF em relação ao valor climatológico de 33,3% e 35%, respectivamente. Outra observação que pode ser feita foi com relação à atuação dos SF na Metade Norte e Sul do RS. Pode-se constatar que a maioria dos SF atuou com maior frequência na Metade Sul do Estado.

Em seguida foi analisada a distribuição sazonal dos SCM que atuaram na Metade Norte e na Metade Sul do RS em 2006 (Fig. 10). Pode-se observar que em 2006 foram detectados 607 SCM sobre o RS. Destes 53,9% ocorreram na Metade Norte (327 SCM) e 46,1% na Metade Sul (280 SCM). Os trimestres JFM e AMJ foram os que apresentaram maior e menor ocorrência de SCM, representando 43,7% e 14% do total de SCM observados em 2006, respectivamente. Também foram detectados SCM nos trimestres JAS (19,9% do total de SCM) e OND (22,4% do total de SCM). Esses resultados concordam com estudos que mostram que a Metade Norte do Estado é mais atingida por SCM

do que a Metade Sul (Campos et al., 2007) e que o trimestre JFM é o que apresenta maior ocorrência de SCM (Maddox, 1983; Torres, 2003).

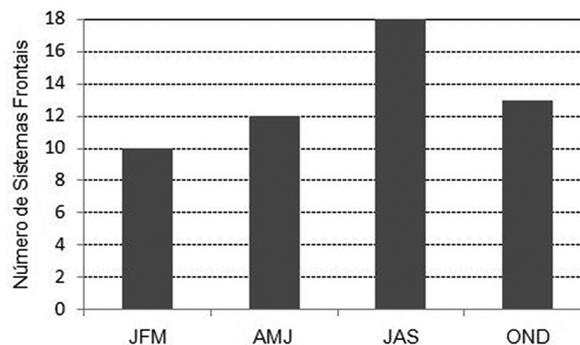


Figura 9 – Distribuição sazonal dos Sistemas Frontais que atuaram em 2006 no RS.

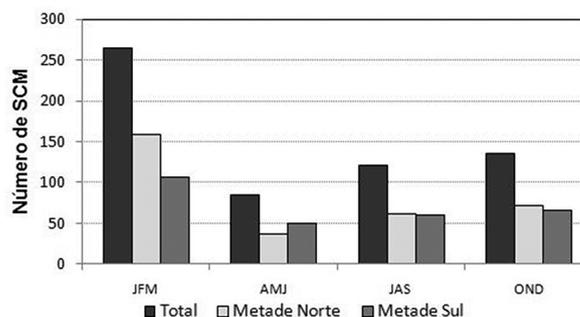


Figura 10 – Distribuição sazonal dos Sistemas Convectivos de Mesoescala que atuaram no RS em 2006.

Por fim foi analisada a distribuição sazonal dos fenômenos atmosféricos que causaram condições de tempo severo (enchente, furacão, granizo e vendaval) e que atuaram na Metade Norte e na Metade Sul do RS em 2006. Das 16 cidades que fazem parte deste estudo, três foram atingidas por 7 eventos que causaram condições de tempo severo (10/01/06 e 25/12/06 – Caxias do Sul; 08/01/06 e 10/01/06 – Rio Grande e 25/01, 14/09/06 e 06/11/06 – Santa Maria). A maioria dos 7 eventos ocorreu no trimestre JFM (57,1% do total), também foram observados eventos nos trimestres OND (28,6%) e JAS (14,3%). A Metade Norte do RS foi a região onde ocorreram a maioria dos 7 eventos (71,4% do total).

Pode-se observar que os SM contribuíram para a precipitação no Estado durante todo o ano. Sendo que os SCM e os eventos com condição de tempo severo foram os mais frequentes na Metade Norte e no período quente (JFM) e os SF foram os mais frequentes na Metade Sul e no período frio (JAS). Esses resultados confirmam que nas estações frias (AMJ e JAS) e nas estações quentes (OND e JFM), grande parte da precipi-

tação registrada no RS é associada a sistemas sinóticos (SF) e a sistemas de mesoescala (SCM), respectivamente (Scaglioni & Saraiva, 2005; Marques, 2005).

Analisando-se o impacto dos SM no regime hídrico do RS em 2006, pode-se observar que a maioria dos SCM e eventos com condição de tempo severo ocorreram na Metade Norte do Estado nos trimestres JFM e OND, coincidindo com a região e trimestres onde foram registrados os maiores volumes pluviométricos (ver Figs. 3a e 4b). Portanto esses SCM e eventos com condição de tempo severo que ocorreram na Metade Norte do RS contribuíram para o total pluviométrico e por consequência para a disponibilidade de água da região, neste ano. Por essa razão não ocorreu falta de água na Metade Norte do Estado em 2006, uma vez que o aporte de água foi superior à demanda evaporativa em todos os trimestres. Exceção ocorreu na região de Santa Maria (Fig. 5), que foi a única região da Metade Norte do RS a registrar falta d'água em 2006 no trimestre JFM. Isso mostra que a ocorrência dos SCM e do evento com condições de tempo severo, observado em 25/01/06, apesar de minimizar o déficit hídrico não foram suficientes para repor a demanda evaporativa dessa região nesse trimestre. Na Metade Sul do Estado, conjuntamente com a menor frequência de SF neste ano em relação à normal climatológica, a ocorrência de SCM e dos eventos com condição de tempo severo em Rio Grande (08/01/06 e 10/01/06) não foi suficiente para repor a demanda evaporativa do trimestre JFM. O mesmo ocorreu na região de Porto Alegre e Santa Vitória do Palmar em OND.

Em 2006, com a TSM indicando a persistência do fenômeno La Niña de fraca intensidade em JFM e condições de neutralidade em AMJ sobre o Pacífico Equatorial e com o posicionamento da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) mais ao norte, as chuvas no Estado ficaram abaixo da média climatológica (Climanálise, 2006). Isso causou a passagem rápida dos SF sobre o RS, o que é desfavorável para a organização da convecção (SCM) e consequentemente das chuvas. Portanto, houve ocorrência de estiagem no RS principalmente na região sul e oeste do Estado nestes trimestres. Essa situação justifica o porquê de no trimestre JFM, na Metade Sul do RS, o aporte de água ter sido inferior à demanda evaporativa e a ocorrência de deficiência hídrica na região (ver Fig. 5a). Como na Metade Norte do Estado choveu mais do que na Metade Sul em 2006 (Fig. 2), os SM que atuaram nesta região no trimestre JFM, apesar de ter ocorrido déficit hídrico, foram capazes de repor a demanda evaporativa e geraram excedente hídrico neste ano em quase toda a Metade Norte do RS, com exceção da região de Santa Maria conforme mencionado anteriormente.

No trimestre JAS teve início o fenômeno El Niño, que se caracteriza por apresentar na sua fase madura precipitação abundante na primavera, chuvas intensas de maio a julho e aumento da temperatura média. Porém, conforme mencionado anteriormente, no RS neste trimestre foi registrada precipitação abaixo da média climatológica. Esse fato está associado ao El Niño Modoki (Ashok et al., 2007; Wang & Hendon, 2007; Weng et al., 2007), que causa estiagem no sul do Brasil, uma vez que foram observadas, neste trimestre, anomalias positivas de TSM localizadas na região central do Oceano Pacífico (Climanálise, 2006; Jamstec, 2010), que é um indicativo de ocorrência deste fenômeno. Apesar de a precipitação ainda ter-se mantido um pouco abaixo da média climatológica no RS, o aporte de água foi suficiente para suprir a demanda evaporativa tanto da Metade Norte quanto da Metade Sul do Estado neste trimestre (Fig. 7). Ou seja, os SM que atuaram no RS neste trimestre contribuíram para o regime hídrico do Estado mantendo-o com disponibilidade hídrica.

No trimestre OND as condições de TSM e Radiação de Onda Longa (ROL) eram indicativas de aumento da precipitação e consistentes com a fase madura do fenômeno El Niño, porém de fraca intensidade (Climanálise, 2006). Apesar do estabelecimento do El Niño, a precipitação ficou abaixo da média, neste trimestre. Esse fato está associado à atuação do El Niño Modoki, que conforme mencionado anteriormente, provoca efeitos contrários ao do El Niño, ou seja, estiagem no sul do Brasil (Jamstec, 2010). Na Metade Norte do Estado neste trimestre a demanda evaporativa foi mais alta em relação aos dois trimestres anteriores, uma vez que as temperaturas médias deste trimestre foram maiores. Os SM que atuaram no RS foram capazes de repor a demanda evaporativa, apesar da ocorrência de deficiência hídrica. Na Metade Sul do Estado foi observado, como era de se esperar, uma deficiência maior em relação à Metade Norte, porém os SM que atuaram neste trimestre contribuíram para a ocorrência de precipitação pluvial próxima à média climatológica e, portanto a demanda evaporativa foi suprida. Exceção ocorreu na região de Porto Alegre e Santa Vitória do Palmar onde o aporte de água foi insuficiente, causando falta de água.

CONCLUSÃO

O Balanço Hídrico e o impacto de Sistemas Meteorológicos no regime hídrico do RS em 2006 foram analisados neste trabalho.

Observou-se no ano de 2006 que a distribuição sazonal da precipitação pluvial foi uniforme, porém a distribuição espacial foi diferenciada com volumes pluviométricos na Metade Norte superiores à Metade Sul do Estado. Ocorreram anomalias negativas

de precipitação pluvial em 2006 em relação à normal do período de 1977 a 2006.

Na Metade Norte do RS não ocorreu falta de água, apesar da ocorrência de déficits hídricos nos trimestres de JFM, AMJ e OND, uma vez que estes foram inferiores aos excessos hídricos. Exceção ocorreu nas regiões de Santa Maria em JFM e Iraí em AMJ que apresentaram somente déficit hídrico e, portanto falta de água.

Na Metade Sul do RS nos trimestres AMJ, JAS e OND não houve falta d'água, apesar da ocorrência de déficits hídricos, uma vez que a demanda evaporativa foi suprida pelo aporte de água. Porém a menor disponibilidade de água e a maior deficiência hídrica observada em 2006 em relação às condições normais, para o período de 1977 a 2006, causou falta d'água no período quente (JFM), e no litoral no período temperado quente (OND), nesta porção do Estado.

Os fatores que contribuíram para a ocorrência de excedentes hídricos superiores aos déficits hídricos durante todo o ano na Metade Norte e falta de água na Metade Sul do RS em JFM e no litoral em OND, foram:

- i) a maior frequência de SCM e de eventos com condições de tempo severo na Metade Norte do RS em relação à Metade Sul;
- ii) a menor frequência de SF neste ano na Metade Sul do RS em relação à normal climatológica; e
- iii) a atuação do fenômeno ENOS cuja configuração em 2006 (JFM-La Niña; AMJ-neutralidade; JAS-EI Niño Modoki; OND-EI Niño Modoki) provocou estiagem na região sul do Brasil e, portanto precipitação abaixo da normal em todos os trimestres do ano.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq (Bolsa PQ – 1º autor) e à CAPES (bolsa de mestrado – 2º autor) pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO SMB. 2005. Estudo da variabilidade climática em regiões homogêneas de temperaturas média do ar no Rio Grande do Sul. Pelotas. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Faculdade de Meteorologia, UFPel, 54 pp.

ASHOK K, BEHERA SK, RAO SA, WENG H & YAMAGATA T. 2007. El Niño Modoki and its possible teleconnection. *Journal of Geophysical Research*, 112, C11007, doi: 10.1029/2006JC003798.

AVILA AMH, BERLATO M, SILVA JB & FONTANA DC. 1996. Probabilidade de ocorrência de precipitação pluvial mensal igual ou maior que a evapotranspiração potencial para a estação de crescimento das culturas de primavera-verão no Estado do Rio Grande do Sul. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, Porto Alegre, 2(2): 149–154.

BERLATO MA. 1992. As condições de precipitação pluvial no estado do Rio Grande do Sul e os impactos das estiagens na produção agrícola. In: BERGAMASCHI H, BERLATO MA, FONTANA DC, CUNHA GR, SANTOS MLV DOS, FARIAS JRB & BARNI NA. *Agrometeorologia aplicada à irrigação*, UFRGS, Porto Alegre, p. 11–23.

BERLATO MA, FONTANA DC & PUCHALSKI L. 2000. Precipitação pluvial normal e riscos de ocorrência de deficiência pluviométrica e deficiência hídrica no Rio Grande do Sul: ênfase para a metade sul do Estado. In: *Seminário Sobre Água na Produção de Frutíferas 68: 2000*, Pelotas: Anais... Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2000, p. 67–81.

CAMARGO AP. 1971. Balanço hídrico do Estado de São Paulo. *Boletim do Instituto Agrônomo de Campinas*, 116: 1–24.

CAMPOS CRJ, PINTO LB & EICHHOLZ CW. 2007. Condições de tempo severo observadas no RS entre 2003 e 2006 que causaram prejuízos à agricultura. In: *Congr. Bras. Agrometeor.*, 15: 2007, Aracaju-SE. Anais... Aracaju-SE: SBAGro, 2007. CD-ROM.

CAVALCANTI IFA & KOUSKY V E. 2003. Climatology of South American cold fronts. In: *International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography*, 7: 2003, Wellington, New Zealand. *Proceedings...* New Zealand: American Meteorological Society, 2003. CD-ROM.

CLIMANÁLISE – BOLETIM DE MONITORAMENTO E ANÁLISE CLIMÁTICA – INPE/CPTec. 2006. São José dos Campos – SP, Brasil. Disponível em: <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/>>. Acesso em: 09 maio 2009.

COSTA JPR, ELOI CMA & MORAES JC. 1998. Avaliação do comportamento da evapotranspiração em área de floresta tropical úmida da Amazônia. In: *Congr. Bras. Meteor.*, 10: 1998, Brasília. Anais... Brasília: SBMet, 1998. CD-ROM.

DAVIS EG. 2000. Estudo de Chuvas Intensas no Estado do Rio de Janeiro. 2 ed. revista e ampliada. Brasília, Serviço Geológico do Brasil – CPRM, 2000. 140 pp.

DEFESA CIVIL. 2009. Disponível em: <<http://www.defesacivil.rs.gov.br>>. Acesso em: 09 mar. 2009.

DOURADO ND & LIER QJV. 1991. Programa para elaboração do balanço hídrico para culturas anuais e perenes. Departamento de Agricultura da ESALQ/USP, Piracicaba. 58 p. (Apostila).

FZB-RS. 2008. Recursos hídricos. Disponível em: <http://www.fzb.rs.gov.br/novidades/silvicultura/recursos_hidricos/texto_recursos_hidricos.pdf>. Acesso em: 07 ago. 2008.

- IPAGRO. 1989. Instituto de Pesquisas Agronômicas. Atlas Agroclimático do Estado do Rio Grande do Sul, IPAGRO, Porto Alegre. 102 pp.
- JAMSTEC. 2010. Modoki ENSO: a new phenomenon is found in the Tropical Pacific. Disponível em: <http://www.jamstec.go.jp/frcgc/research/d1/iod/modoki_home.html.en>. Acesso em: 10 jan. 2010.
- JUSTI DA SILVA MGA & SILVA DIAS MAF. 2002 A frequência de fenômenos meteorológicos na América do Sul: uma climatologia. In: Congr. Bras. Meteor., 11: 2002, Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu: SBMET, 2002. CD-ROM.
- LEMOS CF & CALBETE NO. 1996. Sistemas frontais que atuaram no litoral do Brasil (período 1987-1995). Boletim Climanalise, Edição comemorativa 10 anos, (INPE-10717-PRE/6178). 131–135 p.
- MADDOX RA. 1983. Large-scale meteorological conditions associated with midlatitude, mesoscale convective complexes. Monthly Weather Review, 121(5): 1398–1416.
- MARQUES JR. 2005. Variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial no Rio Grande do Sul e sua relação com indicadores oceânicos. Tese (Doutorado-Fitotecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 209 pp.
- MATZENAUER R, VIANA DR, BUENO AC, MALUF JRT & CARPENEDO CB. 2007. Regime anual e estacional de chuvas no Rio Grande do Sul. In: Congr. Bras. Agrometeor., 15: 2007, Aracaju-SE. Anais... Aracaju-SE: SBAgro, 2007. CD-ROM.
- NIMER E. 1989. Climatologia do Brasil. IBGE. Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, Rio de Janeiro, 2 ed. 421 pp.
- OLIVEIRA AS. 1986. Interações entre sistemas frontais na América do Sul e convecção na Amazônia. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. (INPE-4008-TDL/239). 134 pp.
- PEREIRA AR, VILLA NOVA NA & SEDIYAMA GC. 1997. Evapo(transpi)ração. FEALQ, Piracicaba. 183 pp.
- ROLIM GS, SENTELHAS PC & BARBIERI V. 1998. Planilhas no ambiente EXCEL™ para os cálculos de balanços hídricos: normal, seqüencial, de cultura e de produtividade real e potencial. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, 6(1): 133–137.
- SCAGLIONI TP & SARAIVA JMB. 2005. Climatologia dos sistemas precipitantes frequentes no inverno, atuantes no RS. In: Congr. Bras. Agrometeor., 14: 2005, Campinas-SP. Anais... Campinas-SP: SBAgro, 2005. CD-ROM.
- SENTELHAS PC, PEREIRA AR, MARIN FR, ANGELOCCI LR, ALFONSI RR, CARAMORI PH & SWART S. 1999. Balanços hídricos climatológicos do Brasil. Piracicaba, ESALQ-USP. CD-ROM.
- SILVA LMP, MARCELINO BC, LIMA MV & SIAS EK. 1998. Balanço hídrico para diferentes locais do Rio Grande do Sul. In: Congr. Bras. Meteor., 10: 1998, Brasília. Anais... Brasília: SBMet, 1998. CD-ROM.
- THORNTHWAITE CW. 1948. An approach toward a rational classification of climate. Geogr. Rev., 38: 55–94.
- THORNTHWAITE CW & MATHER JR. 1955. The water balance. Drexel Institute of Technology, Centerton-New Jersey, 104 pp.
- TOLEDO LB, ROLIM PAM, NEVES DG, BRAGA AP, NASCIMENTO MJC, SANTOS DN & LIMA KC. 2002. Balanço hídrico de Altamira-PA. In: Congr. Bras. Meteor., 12: 2002, Foz do Iguaçu-PR. Anais... Foz do Iguaçu: SBMet, 2002. CD-ROM.
- TORRES JC. 2003. Sistemas Convectivos en Mesoescala Altamente Precipitantes en el Norte y Centro de Argentina. Tese de doutorado. FCEyN-UBA. 130 pp.
- TUBELIS A & NASCIMENTO FJL. 1983. Meteorologia Descritiva. Fundamentos e Aplicações Brasileiras. 1 ed. Livraria Nobel S.A., São Paulo, 374 pp.
- VILA DA, MACHADO LAT, LAURENT H & VELASCO I. 2008. Forecast and Tracking the Evolution of Cloud Clusters (ForTraCC) Using Satellite Infrared Imagery: Methodology and Validation. Wea. Forecasting, 23: 233–245.
- WANG G & HENDON HH. 2007. Sensitivity of Australian rainfall to Inter-EI Niño variations. Journal of Climate, 20(16): 4211–4226. doi: 10.1175/JCLI4228.
- WENG H, ASHOK K, BEHERA SK, RAO SA & YAMAGATA T. 2007. Impacts of recent El Niño Modoki on dry/wet conditions in the Pacific rim during boreal Summer. Climate Dynamics, 29: 113–129.

NOTAS SOBRE OS AUTORES

Cláudia Rejane Jacondino de Campos. Professora Associada do Departamento de Meteorologia, da Faculdade de Meteorologia da Universidade Federal de Pelotas. Graduação em Meteorologia, pela Universidade Federal de Pelotas, UFPel (1984-1987), Mestrado em Agronomia (Meteorologia Agrícola) pela Universidade Federal de Viçosa, UFV (1988-1990) e Doutorado em Física da Atmosfera, pela Université de Toulouse III (Paul Sabatier), U.T. III, França (1993-1996). Áreas de interesse: meteorologia, meteorologia de mesoescala, meteorologia sinótica, climatologia e agrometeorologia.

Morgana Vaz da Silva. Mestranda do Programa de Pós-graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Pelotas. Graduação em Meteorologia pela Universidade Federal de Pelotas, UFPel (2004-2007). Áreas de interesse: meteorologia, meteorologia de mesoescala, climatologia e agrometeorologia.