



## Risco de deficiência hídrica decendial na metade sul do Estado do Rio Grande do Sul

**Janice F. Leivas<sup>1</sup>, Moacir A. Berlato<sup>1</sup> & Denise C. Fontana<sup>1</sup>**

### RESUMO

Conduziu-se o presente estudo com o objetivo de se avaliar o risco de ocorrência de deficiência hídrica decendial da metade sul do estado do Rio Grande do Sul; para tanto, obtiveram-se dados diários de temperatura máxima e mínima, insolação e precipitação pluvial de nove localidades, distribuídas nas cinco regiões ecoclimáticas (Campanha, Depressão Central, Grandes Lagoas, Litoral e Serra do Sudeste) da metade sul do Estado, do período 1961-1990. Realizaram-se balanços hídricos decendiais seriados pelo método de Thornthwaite-Mather com capacidade de armazenamento de água no solo de 50 e 125 mm. A partir daí, obteve-se o índice hídrico decendial ( $IH = ETR/ETo$ ). Para analisar o risco de ocorrência de deficiência hídrica adotou-se o limite 0,6 como valor crítico. Os resultados mostram que a região da Campanha é a de maior probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica decendial, principalmente no período compreendido entre o 2º decêndio de dezembro e o 2º de janeiro.

**Palavras-chave:** balanço hídrico, índice hídrico, evapotranspiração real, evapotranspiração potencial

## Risk of water deficit in ten days interval in the southern half of the Rio Grande do Sul State

### ABSTRACT

The objective of this study was to analyze the risk of occurrence of water deficit for periods of ten days in the southern half of the Rio Grande do Sul State. Daily meteorological data were obtained from nine localities, distributed over the five ecoclimatic regions (Campanha, Depressão Central, Grandes Lagoas, Litoral and Serra do Sudeste) of the southern half of the state, during the period of 1961 – 1990. Ten days intervals water balances were computed, using the Thornthwaite-Mather method, with a soil water storage capacity of 50 and 125 mm. From these computations, the ten days water index ( $IH = ETR/ETo$ ) was obtained. In order to verify the risk of occurring a water deficit, the value of 0.6 was adopted as critical value. Analysis of the results show that the Campanha region has the largest probability of occurrence of water deficit in a ten days period, mainly in the period between 2<sup>nd</sup> ten days of December to 2<sup>nd</sup> ten days of January.

**Key words:** water balance, water index, real evapotranspiration, potential evapotranspiration

## INTRODUÇÃO

Na metade sul do Rio Grande do Sul (sul do paralelo 30° S) chove menos que na metade norte (norte do paralelo 30° S). Ao sul de 30° S são registradas precipitações pluviométricas normais anuais, inferiores a 1.500 mm e a metade norte do Estado possui totais anuais superiores a 1.500 mm (Ávila et al., 1996; Instituto de Pesquisas Agronômicas, 1989, Berlato et al., 2000).

A frequência de anos considerados secos é maior na metade sul do Estado, sendo que na Campanha e Baixo Vale do Uruguai, a frequência média de anos secos atinge 20%. Nessas regiões do Estado ocorrem as mais intensas e extensas estiagens, como mostram as séries históricas disponíveis de observações meteorológicas (Berlato, 1992).

Na metade sul do Estado, a precipitação pluvial normal do trimestre dezembro, janeiro e fevereiro, varia de aproximadamente 250 a 350 mm (Berlato, 1992). Essa precipitação pluvial não atende à demanda evaporativa da atmosfera da estação de verão e, conseqüentemente, nesta região ocorre deficiência hídrica.

Além da produção pecuária, a metade sul do Estado é grande produtora de arroz, com produção significativa também de milho, feijão, sorgo, soja, olerícolas e frutíferas. No momento, ela está sendo objeto de incentivos governamentais para seu desenvolvimento agropecuário. A fruticultura deverá ser um dos principais fatores de desenvolvimento, contando com um projeto para a implantação de 35.000 ha, até o ano de 2005. Em vista do exposto acima, estudos mais detalhados das disponibilidades e limitações hídricas da região podem auxiliar no planejamento de uma agricultura mais racional e menos sujeita às adversidades climáticas.

Um dos índices amplamente utilizados para caracterização da disponibilidade hídrica climática e, também, para estudos de relação clima-planta como, por exemplo, nos modelos agrometeorológicos de estimativas de rendimento de culturas, é o que relaciona a evapotranspiração real (ETR) com a evapotranspiração potencial (ETP) ou evapotranspiração de referência (ETo) ou, ainda, evapotranspiração máxima (ETm). Este índice é usado com várias denominações, como índice R (Yao, 1968; Silva & Azevedo, 1994; Accioly et al., 2001), consumo relativo de água de determinada cultura (ETR/ETm) (Matzenauer et al., 1995; Medeiros et al., 1991; Matzenauer et al., 2002) ou simplesmente índice ETR/ETo (Berlato, 1987; D'Angiolella et al., 2003) ou, ainda, ISNA (Índice de satisfação das necessidades de água) (Farias et al., 2001). Este índice varia entre zero e um. Quando seu valor é igual a um, significa ótima disponibilidade hídrica e, conseqüentemente, quanto mais próximo de zero, maior a deficiência hídrica.

O valor de  $R = 0,6$  foi proposto por Silva & Azevedo (1994), como o ponto crítico de transição da umidade do solo. Valores de  $R > 0,6$  indicam que o solo apresenta condições de umidade favoráveis para as culturas e  $R \leq 0,6$  indica deficiência hídrica. Este limite também foi utilizado por Matzenauer et al. (2002), para a soja, embora os autores tenham usado a evapotranspiração máxima (ETm) da cultura e não a ETo. D'Angiolella et al. (2003) também empregaram o ín-

dice hídrico crítico de 0,6 para determinar a deficiência hídrica no sul da Bahia.

Os riscos de deficiência hídrica para a produção do milho e da soja, no Rio Grande do Sul, foram classificados em três faixas: áreas de baixo risco ( $ETR/ETm > 0,70$ , para o milho e  $ETR/ETm > 0,60$ , para a soja); médio risco ( $0,50 \leq ETR/ETm \leq 0,70$ , para o milho e  $0,40 \leq ETR/ETm \leq 0,60$ , para a soja) e de áreas de alto risco ( $ETR/ETm < 0,50$ , para o milho e  $ETR/ETm < 0,40$ , para a soja) (Matzenauer et al., 2002).

Para o planejamento agrícola, o conhecimento dos riscos é mais importante do que os valores normais dos elementos meteorológicos; neste sentido, o estudo das frequências ou probabilidades pode fornecer informações úteis sobre a chance de ocorrência de determinados valores das variáveis meteorológicas.

A variabilidade interanual das condições hídricas do solo, determinada pela variabilidade das chuvas, é o fator que exerce maior peso na variação dos rendimentos das culturas de primavera-verão, no Rio Grande do Sul (Berlato, 1992).

Os estudos, especialmente de deficiência hídrica, realizados na região foram feitos, na maioria dos casos, em base mensal (Berlato, 1987; Berlato, 1992; Ávila et al., 1996; Puchalski, 2000). Para a agricultura é necessário um detalhamento temporal maior, sendo a base decedial mais adequada.

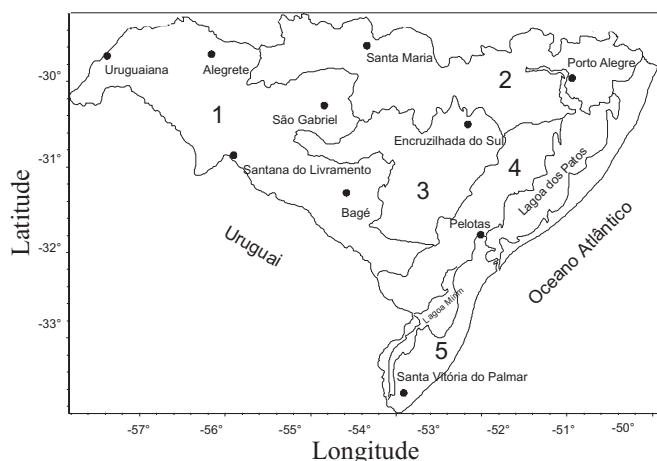
Tendo em vista que na metade sul do Rio Grande do Sul chove menos que na metade norte, o presente trabalho sugere a hipótese de que essa região tenha grandes riscos climáticos por deficiências hídricas decediais, principalmente nos decênios do período de verão, devido à elevada demanda evaporativa atmosférica. Assim, objetivou-se, através deste trabalho avaliar os riscos de ocorrência de deficiência hídrica decedial das regiões ecoclimáticas componentes da metade sul do Estado do Rio Grande do Sul.

## MATERIAL E MÉTODOS

A região de estudo neste trabalho, compreende a metade sul do estado do Rio Grande do Sul, aproximadamente entre as latitudes 29° 30' e 34° 00' Sul e longitudes de 49° 43' e 57° 39' Oeste e as altitudes variam do nível médio do mar (litoral) a 427 m, em Encruzilhada do Sul, na Serra do Sudeste.

A Figura 1 exibe as regiões ecoclimáticas da metade sul do Estado (Campanha (1), Depressão Central (2), Serra do Sudeste (3), região das Grandes Lagoas (4), Litoral (5)) e, também, as estações meteorológicas utilizadas neste trabalho (Alegrete, Bagé, Encruzilhada do Sul, Pelotas, Porto Alegre, Santa Maria, Santa Vitória do Palmar, São Gabriel e Uruguaiana).

Dessas estações meteorológicas, utilizaram-se os dados de precipitação pluvial (P), temperatura média do ar (T), obtida a partir da temperatura diária máxima e mínima, radiação solar global (Rg) e número de horas de brilho solar (n), do período que se estende de 1961 a 1990. Os dados



**Figura 1.** Regiões ecoclimáticas e estações meteorológicas da metade sul do Rio Grande do Sul

Fonte: Adaptado de Rio Grande do Sul (1994)

meteorológicos diários foram coletados e armazenados num banco de dados, tendo sido calculadas as médias (e/ou somatórios) decendiais, dos elementos meteorológicos.

Os dados meteorológicos diários foram fornecidos pela Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Sul (FEPAGRO), pelo 8º Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia (8º DISME/INMET) e pela Universidade Federal de Pelotas (UFPEL).

Para o preenchimento das falhas nas séries foram utilizados dados das estações meteorológicas da mesma região ecoclimática e altitude semelhante. Quando não havia uma estação meteorológica com características físicas semelhantes, utilizava-se a metodologia de Tubelis & Nascimento (1980).

Com os dados meteorológicos básicos decendiais, calculou-se a evapotranspiração de referência pelo método de Priestley e Taylor, segundo Berlatto & Molion (1981), dado por:

$$ET_o = \alpha \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n - S) \quad (1)$$

onde  $ET_o$  é o fluxo de calor latente de evapotranspiração,  $\Delta$  é a tangente à curva que relaciona a pressão de saturação do vapor d'água e a temperatura do ar,  $\gamma$  é o coeficiente psicrométrico,  $R_n$  é o saldo de radiação,  $S$  é o fluxo de calor no solo e  $\alpha$  é o parâmetro de Priestley e Taylor. Como  $ET_o$  foi tomado como média diária decendial, considerou-se  $S = 0$ , devido a sua magnitude ser desprezível ante as demais variáveis, ficando a equação utilizada como:

$$ET_o = \alpha \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} R_n \quad (2)$$

$ET_o$  e  $R_n$  na equação (2) foram tomadas em  $MJ m^{-2} d^{-1}$ .

O parâmetro de Priestley e Taylor ( $\alpha$ ) foi tomado como 1,26 e é válido para condições saturadas e em ausência de advecção.

A tangente à curva que relaciona pressão de saturação do vapor d'água e temperatura do ar, foi obtida segundo Burman & Pochop (1994):

$$\Delta = \frac{2503}{(T + 237,3)^2} \exp \left[ \frac{17,27T}{(T + 237,3)} \right] \quad (3)$$

sendo  $T$  a temperatura do ar ( $^{\circ}C$ ).

O saldo de radiação ( $R_n$ ), para condição de solo vegetado com grama, foi estimado pela relação com a radiação solar global ( $R_g$ ) (Bergamaschi & Guadanin, 1990):

$$R_n = -18,81 + 0,69 R_g \quad (4)$$

onde  $R_g$  é a radiação solar global. A radiação integrada no dia no topo da atmosfera ( $R_a$ ) foi calculada segundo Sellers (1965).  $R_n$  e  $R_g$  na equação (4) são dadas em  $cal cm^{-2} d^{-1}$ . Para utilização na equação (2), o  $R_n$  foi convertido para  $MJ m^{-2} d^{-1}$ .

Na ausência de  $R_g$ , esse elemento foi estimado pela relação de Ångström, dada por (Berlatto & Molion, 1981):

$$R_g = R_a \left( a + b \frac{n}{N} \right) \quad (5)$$

em que  $n$  é o número de horas de brilho solar,  $N$  é o número máximo possível de horas de brilho solar,  $R_a$  é a radiação solar recebida no topo da atmosfera,  $a$  e  $b$  são coeficientes da equação. Os coeficientes  $a$  e  $b$  foram obtidos pela média dos coeficientes determinados em localidades da metade sul do Estado por Fontana & Oliveira (1996).  $R_g$  e  $R_a$  na equação (5) foram tomados em  $MJ m^{-2} d^{-1}$ .

O calor latente de evaporação ( $L$ ) foi calculado segundo Burman & Pochop (1994):

$$L = 2501 - 2,3601 T \quad (6)$$

Para expressar o fluxo de calor latente (Eq. 2) em termos de mm de evapotranspiração equivalente, o calor latente de evaporação foi tomado na unidade  $MJ kg^{-1}$ .

Com a  $ET_o$  calculada pela metodologia acima descrita e com a  $P$  (totalizada de dez dias), calculou-se o balanço hídrico decendial seriado, pelo método de Thornthwaite e Mather (Cunha, 1992) para duas capacidades de armazenamento de água disponível no solo (CAD) 50 e 125 mm. Esses dois valores de CAD bem distintos, foram usados para analisar a disponibilidade hídrica devido à diversidade de tipos de solo e de vegetação, no estado do Rio Grande do Sul. A CAD de 50 mm foi escolhida visando áreas de solos rasos, com pouca profundidade, coberto com vegetação rasteira, como os campos, principalmente na região ecoclimática da Campanha; já a CAD de 125 mm foi usada para analisar a deficiência hídrica de solos mais profundos e cobertos por culturas com raízes mais profundas como, por exemplo, as frutíferas.

O cálculo do balanço hídrico foi iniciado em 1960, de forma a atender a premissa de máximo armazenamento de água no solo, no início da contabilização; para os cálculos foi utilizado o programa Bhseq V5.0, 1999 (Rolim et al., 1998).

Com a evapotranspiração real ( $ETR$ ), derivada do balanço hídrico decendial seriado e a evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ), determinou-se o índice hídrico (IH), ou seja:

$$IH = ETR/ETo \quad (7)$$

O risco, ou probabilidade empírica, refere-se, neste trabalho, à frequência de ocorrência de deficiência hídrica decendial, haja vista que não foi ajustada nenhuma função teórica de probabilidade, sendo adotado o IH de 0,6 como ponto crítico, abaixo do qual há deficiência hídrica climática severa.

A partir da distribuição de frequência relativa acumulada do índice hídrico decendial, obteve-se a probabilidade empírica deste índice ser igual ou menor que 0,6, ou seja, a evapotranspiração real igual ou menor que 60% do total que deveria ocorrer em condições potenciais (sem deficiência hídrica).

As probabilidades empíricas de  $IH \leq 0,6$  foram representadas espacialmente na metade sul do Estado, através de isolinhas traçadas pelo método de Krigging, utilizando-se o software Surfer 7.0.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Figuras 2 a 4 apresentam o risco de deficiência hídrica ( $IH \leq 0,6$ ) decendial, para CAD = 50 mm, e as Figuras 5 a 7, para CAD = 125 mm, do período outubro a março, época mais importante do ano no que se refere às deficiências hídricas da metade sul do Estado.

Em outubro (Figura 2), as maiores probabilidades de ocorrência de deficiência hídrica (CAD = 50 mm) são observadas no 2º decêndio, ultrapassando 30% na maior parte da região da Campanha, já que a precipitação decendial média desse período é menor que a dos demais decêndios (em torno de 48 mm). Nos 1º e 3º decêndios, o risco de déficit hídrico é menor que 20% em praticamente toda a região estudada. Quando a análise é feita para CAD = 125 mm (Figura 5), o risco de deficiência hídrica cai para menos de 10%, nos três decêndios de outubro, em toda a região analisada, com exceção apenas de pequena área do extremo oeste do Estado, no 2º decêndio de outubro.

Os riscos do índice hídrico ser igual ou menor que 0,6, aumentam do 1º para o 3º decêndios de novembro, para CAD = 50 mm (Figura 2) e para CAD = 125 mm (Figura 5), sendo maiores na região da Campanha, nos 2º e 3º decêndios, nos quais os riscos foram superiores a 32 e 41%, para CAD = 50 mm, e 21 e 30% para CAD = 125 mm, respectivamente, na maior parte da região ecoclimática da Campanha. O mês de novembro é o de menor precipitação pluvial normal da metade sul do Estado (Berlato et al., 2000).

Em dezembro, com a aproximação do verão e o aumento da demanda evaporativa da atmosfera, os riscos continuam aumentando chegando, no 3º decêndio, a 60%, ou mais, em grande parte da região da Campanha, para CAD = 50 mm (Figura 3), sendo que, para CAD = 125 mm (Figura 6), o risco de deficiência hídrica varia de 43 a 48%, na região; já em janeiro ocorre tendência de decréscimo do risco de deficiência hídrica, sobretudo no 3º decêndio, em que o 2º decêndio apresenta maior risco de deficiência hídrica, principalmente na região da Campanha (igual ou maior que 47%,

em grande parte da região, para CAD = 50 mm, e 37% para CAD = 125 mm). Quanto a fevereiro, os riscos decrescem lentamente nos 1º e 2º decêndios mas no 3º decêndio ocorre tendência de elevação do risco por deficiência hídrica, chegando a 36% para CAD = 50 mm (Figura 4) e 32% para CAD = 125 mm (Figura 7) o que se justifica pela ocorrência de menor precipitação pluvial no último decêndio de fevereiro, em torno de 26 mm, em relação aos 1º e 2º decêndios, com aproximadamente 44 mm.

Em relação ao 1º decêndio de março na região da Campanha, há risco de deficiência hídrica em torno de 40%, para a CAD = 50 mm (Figura 4) e para CAD = 125 mm (Figura 7), os riscos variam de 26 a 31%, nessa região.

A região ecoclimática da Campanha é a de maior risco de deficiência hídrica, considerando-se áreas expressivas da metade sul do Estado com probabilidade em torno de 60% do índice hídrico ser igual ou menor que 0,6, para CAD = 50 mm (Figura 3). Para CAD = 125 mm, o risco de deficiência hídrica, nesta região, chega a 48% no 3º decêndio de dezembro (Figura 6). Os decêndios mais críticos são os 2º e 3º de dezembro e os 1º e 2º de janeiro; portanto, nada menos de 40 dias com alta probabilidade de deficiência hídrica. A região ecoclimática da Depressão Central é a de menor risco na metade sul do Estado.

Ressalvada a diferença metodológica (uso de ETm em vez de ETo, no índice hídrico) os resultados sobre riscos de ocorrência de deficiências hídricas aqui apresentados na metade sul do Estado, são coerentes com os resultados de Matzenauer et al. (2002) que estudaram, para algumas localidades da metade sul do Estado, o risco de ocorrência de deficiência hídrica nos períodos críticos em relação à água da soja e milho. Por exemplo, para o caso da soja, os autores encontraram risco de ocorrência do índice  $ETR/ETm \leq 0,6$ , para o período crítico dessa cultura, de 30, 35, 38 e 44%, respectivamente, em Encruzilhada do Sul, Taquari, Rio Grande e São Gabriel. Os referidos autores destacaram a região de São Gabriel como de grande risco de ocorrência de deficiência hídrica, o que também foi constatado e detalhado no presente trabalho.

Os resultados estão de acordo com os obtidos por Cunha et al. (1998) já que a região da Campanha, localizada no sudoeste do Estado, apresentou maior risco de ocorrência de deficiência hídrica, acarretando maior perda de rendimento potencial da soja, por déficit hídrico.

Estudo semelhante foi realizado por D'Angiolella et al. (2003), para o sul da Bahia. Os autores constataram que a disponibilidade hídrica é satisfatória ao desenvolvimento dos cultivos, em grande parte da região analisada, exceto no extremo sudoeste do estado, nas proximidades das divisas com o estado de Minas Gerais e Espírito Santo, onde foram encontrados valores de índice de deficiência hídrica inferiores a 0,6, nos meses de junho, agosto e outubro. Na Bahia e de forma geral, a região litorânea apresenta-se mais chuvosa ao longo do ano com maiores índices pluviométricos ocorrendo entre março e setembro na porção norte e de outubro a dezembro na porção sul. No Rio Grande do Sul, apesar da inexistência de estação chuvosa, já que a precipitação pluvial é bem distribuída nas quatro estações

do ano, a deficiência hídrica se concentra no verão devido à alta demanda evaporativa da atmosfera.

A discussão refere-se a termos de risco de ocorrência de deficiência hídrica climática na metade sul do Estado (IH ≤ 0,6) mas, logicamente, pode-se fazer o raciocínio inverso, ou seja, as chances de se ter condições hídricas

favoráveis (IH > 0,6), subtraindo-se as porcentagens de risco de 100%.

Os resultados obtidos neste trabalho servem de subsídio para o planejamento e tomada de decisão, visando minimizar os riscos da agricultura da metade sul do Estado, no que se refere às condições hídricas.

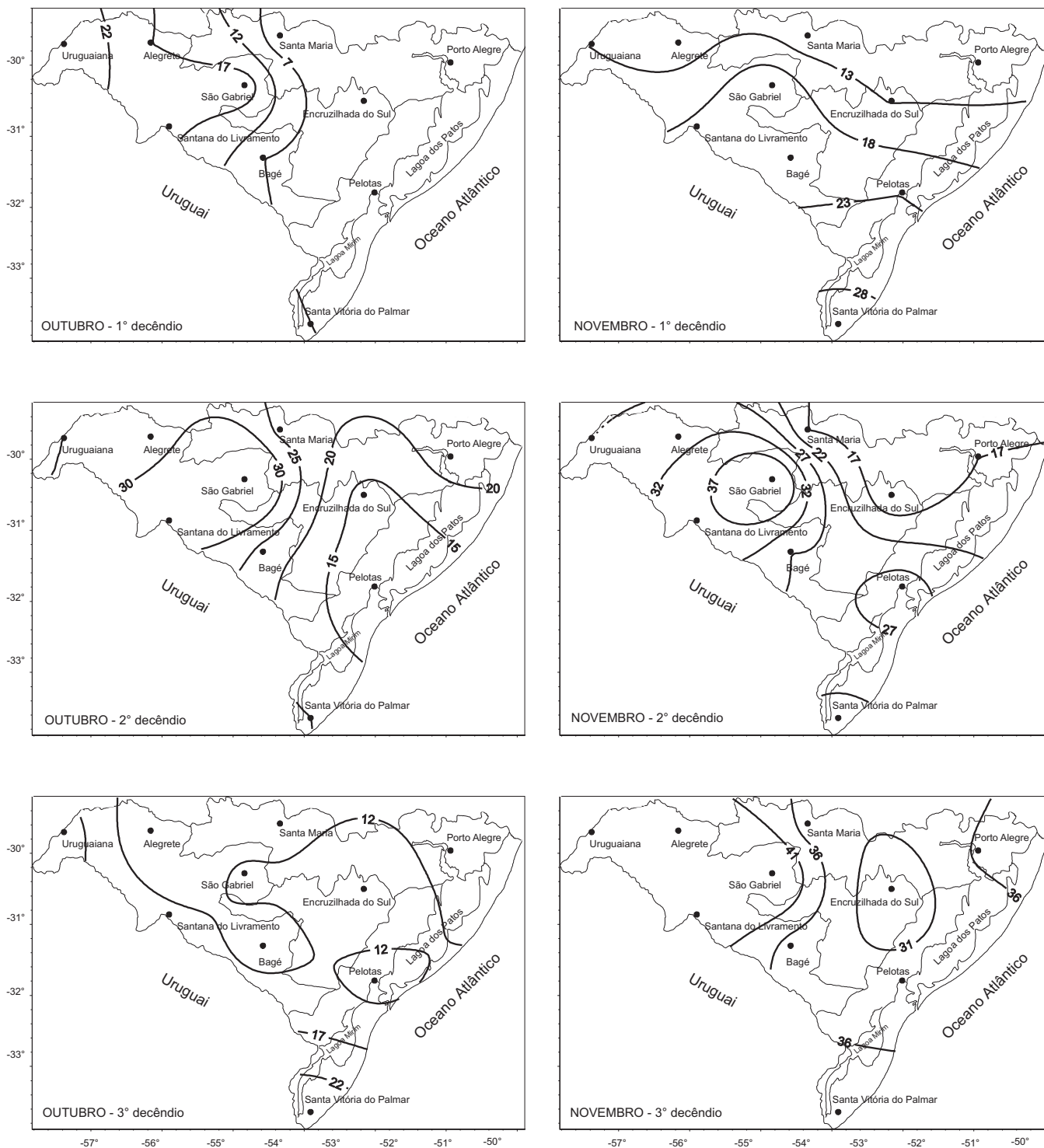


Figura 2. Probabilidade empírica (%) do índice hídrico (CAD = 50 mm) decendial ser igual ou menor que 0,6, nos meses de outubro e novembro, na metade sul do Estado do Rio Grande do Sul – período: 1961-1990

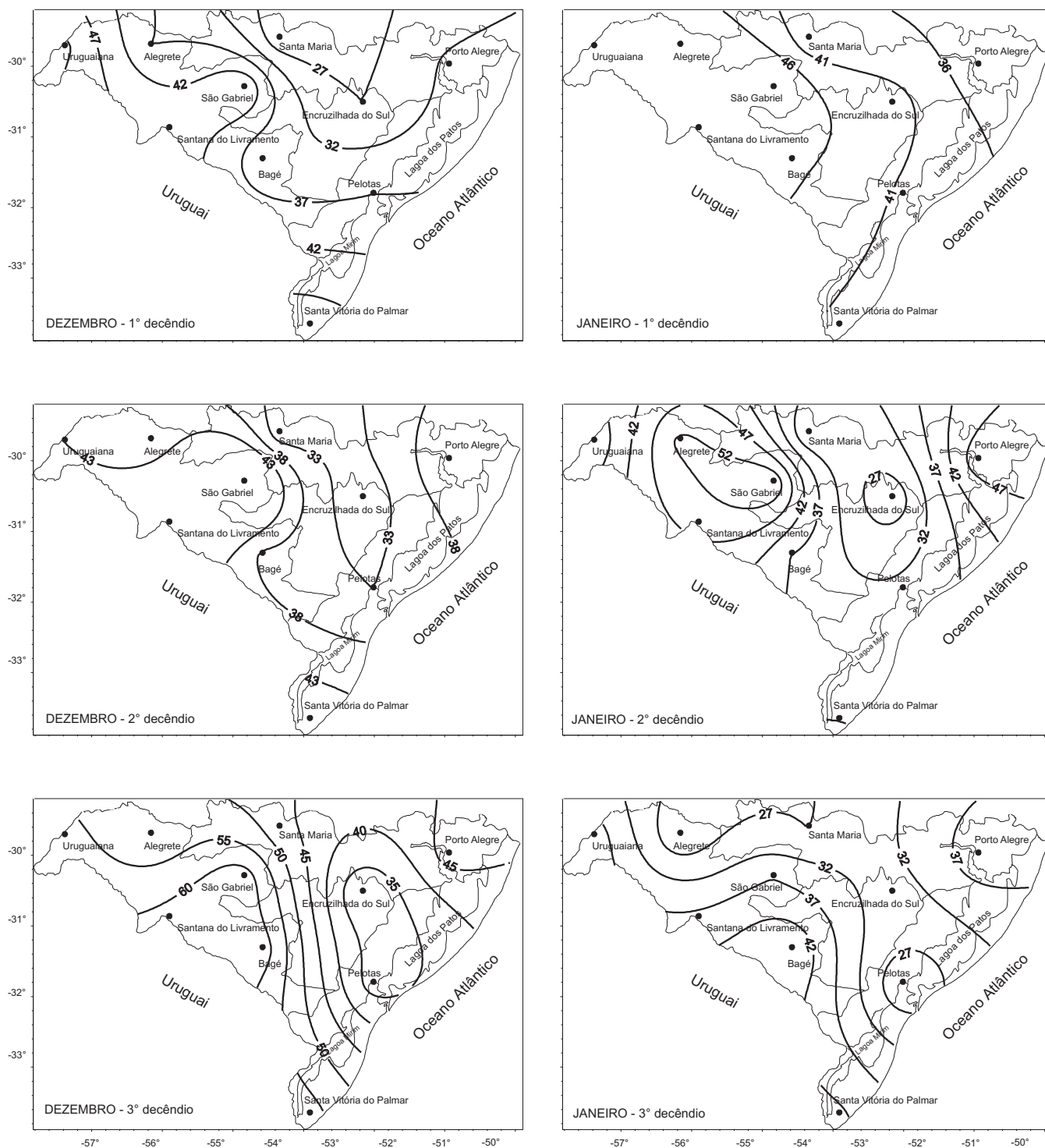


Figura 3. Probabilidade empírica (%) do índice hídrico (CAD = 50 mm) decenal ser igual ou menor que 0,6, nos meses de dezembro e janeiro, na metade sul do Estado do Rio Grande do Sul – período: 1961-1990

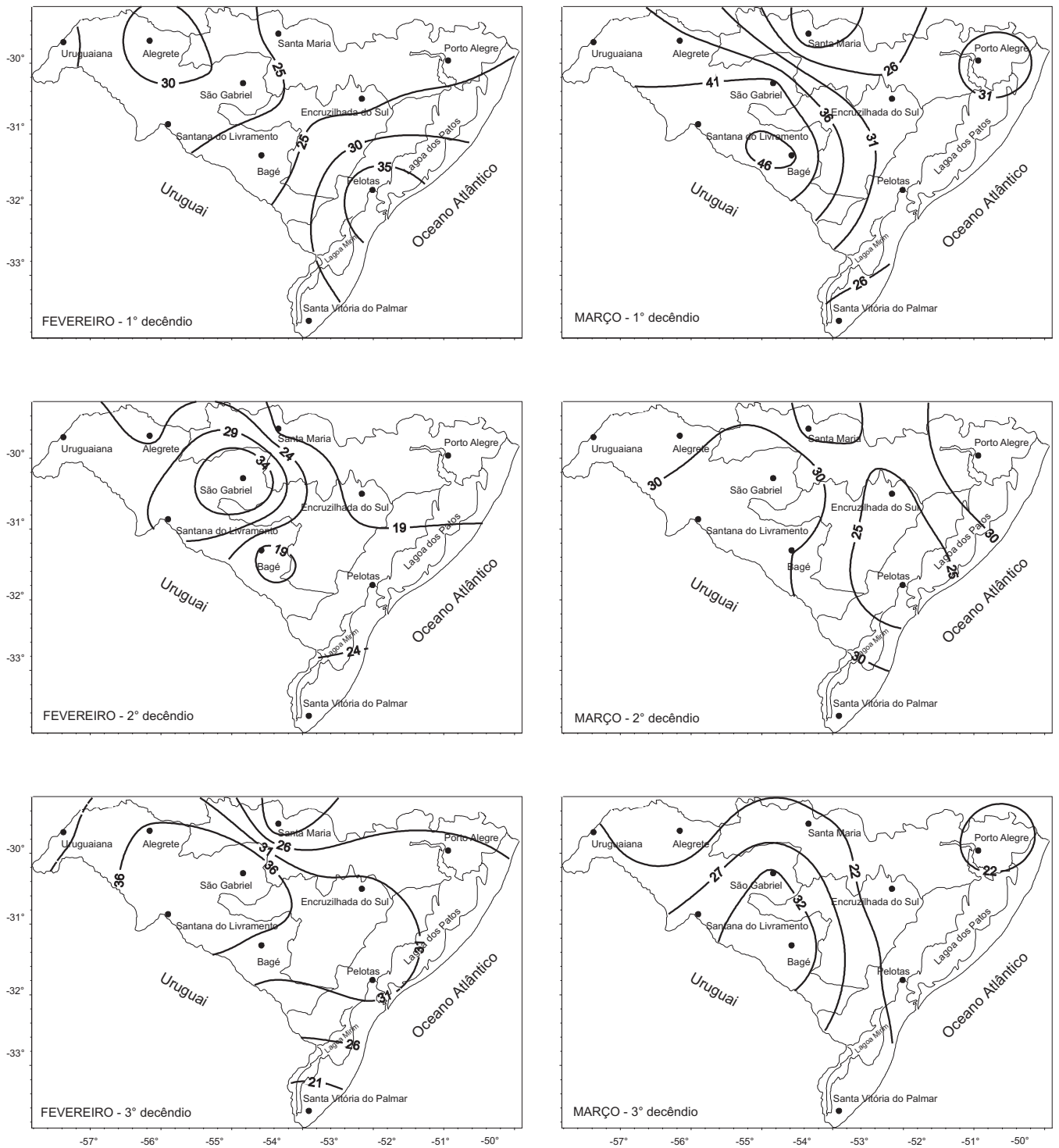


Figura 4. Probabilidade empírica (%) do índice hídrico (CAD = 50 mm) decendial ser igual ou menor que 0,6, nos meses de fevereiro e março, na metade sul do Estado do Rio Grande do Sul – período: 1961-1990

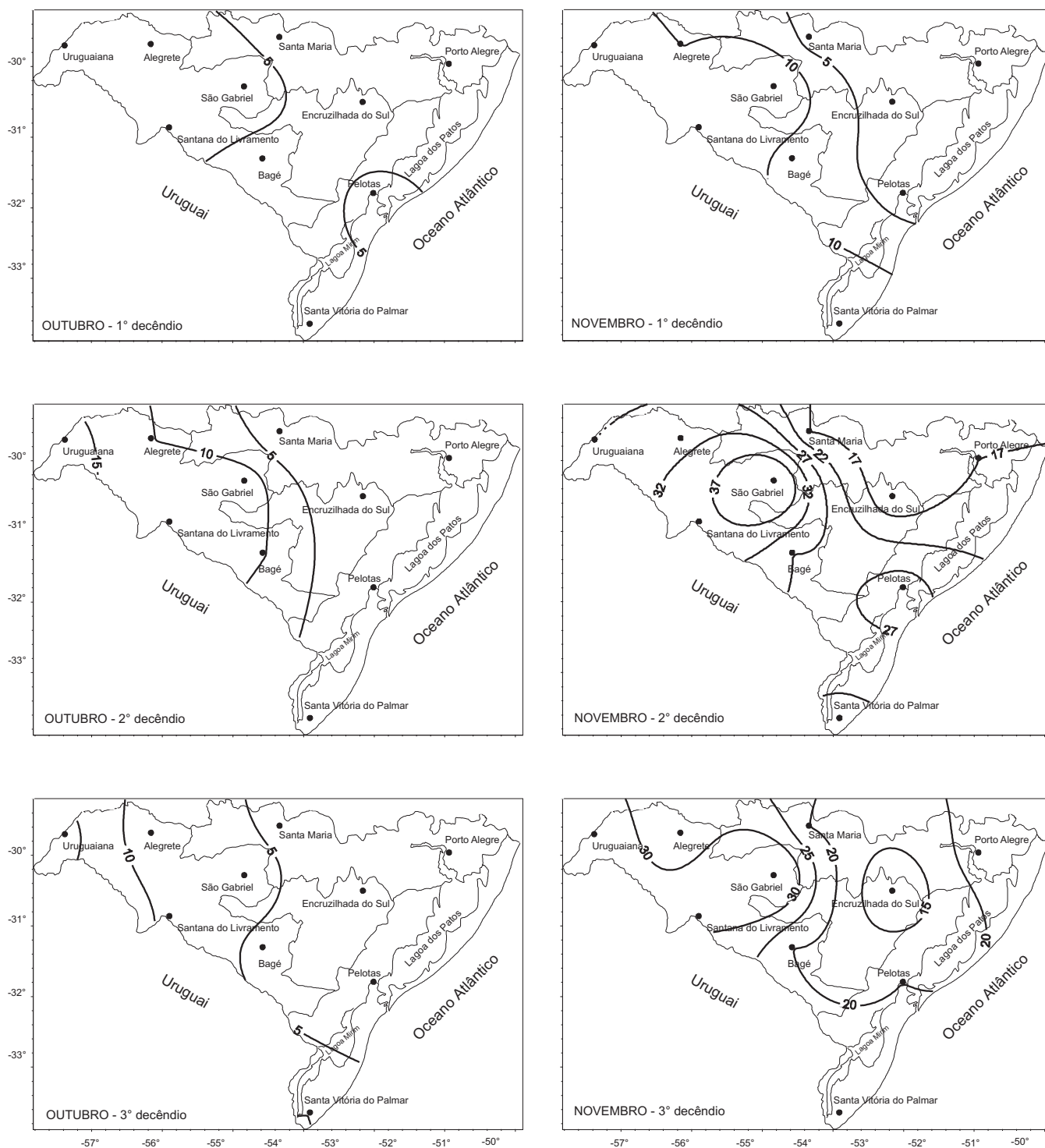


Figura 5. Probabilidade empírica (%) do índice hídrico (CAD = 125 mm) decenal ser igual ou menor que 0,6, nos meses de outubro e novembro, na metade sul do Estado do Rio Grande do Sul – período: 1961-1990



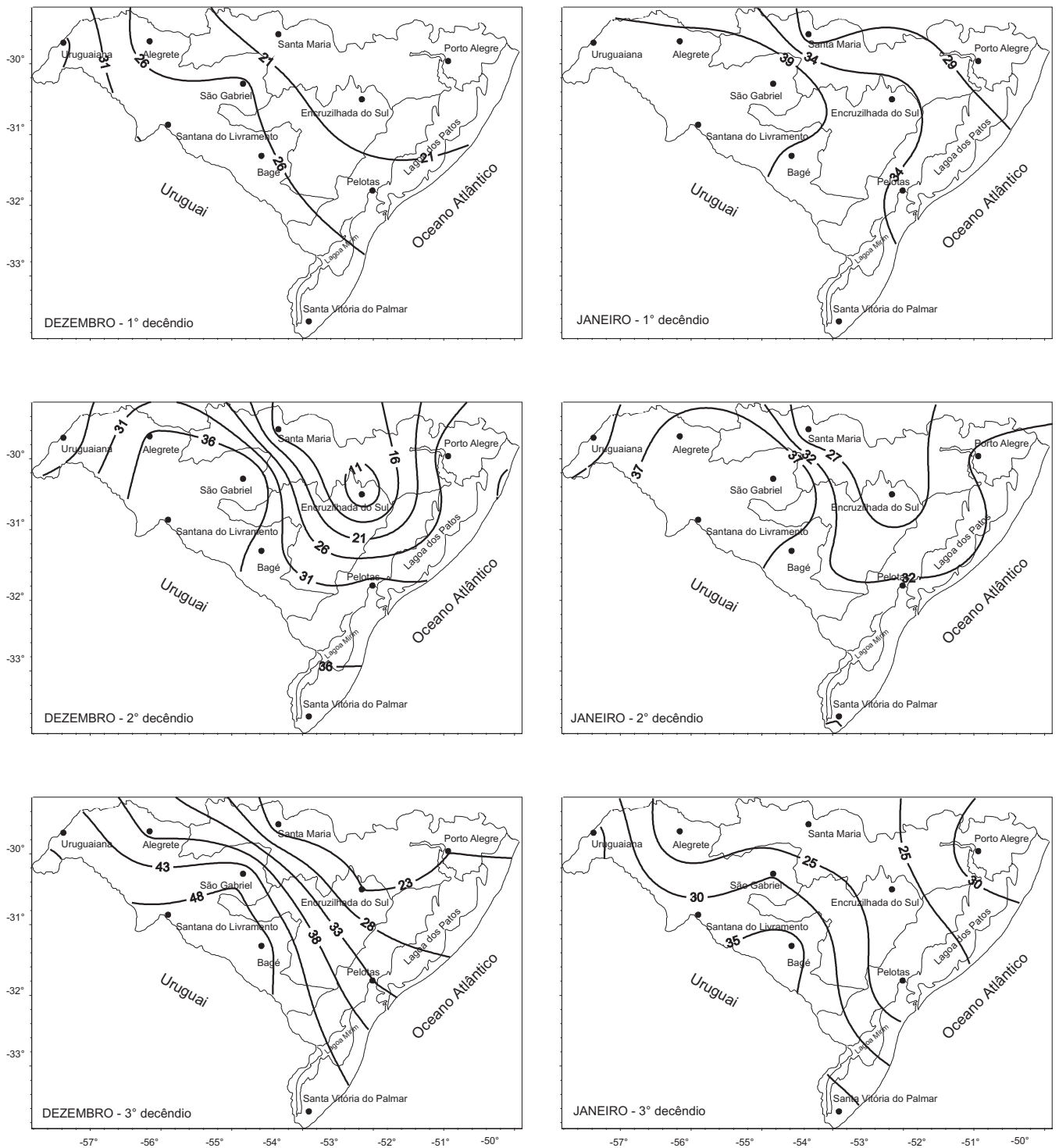


Figura 6. Probabilidade empírica (%) do índice hídrico (CAD = 125 mm) decendial ser igual ou menor que 0,6, nos meses de dezembro e janeiro, na metade sul do Estado do Rio Grande do Sul – período: 1961-1990

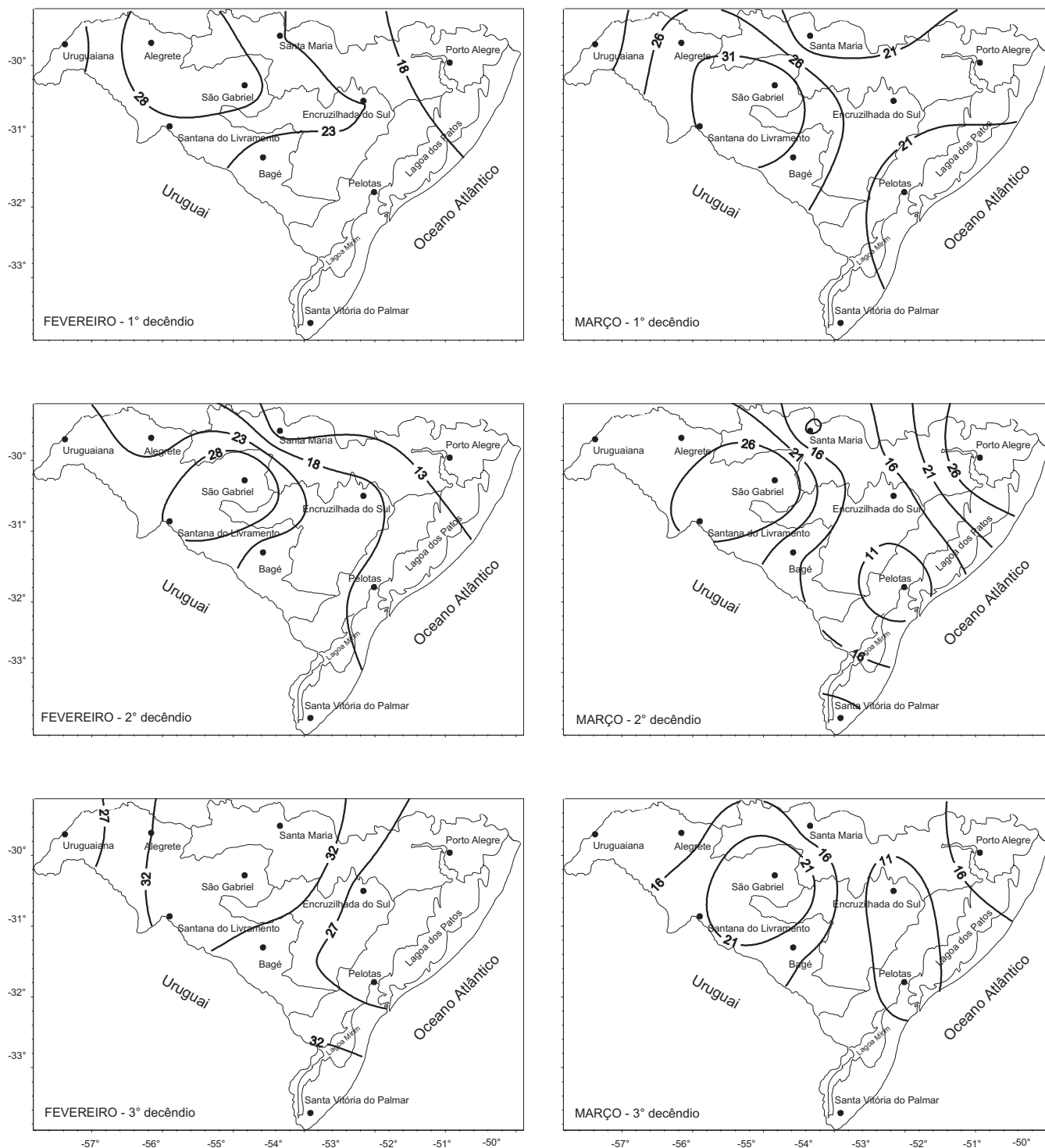


Figura 7. Probabilidade empírica (%) do índice hídrico (CAD = 125 mm) decenal ser igual ou menor que 0,6, nos meses de fevereiro e março, na metade sul do Estado do Rio Grande do Sul – período: 1961-1990

## CONCLUSÕES

1. Na metade sul do Estado, as regiões da Campanha e da Depressão Central são as que apresentam maior e menor deficiência hídrica decendial, respectivamente.

2. O maior risco de ocorrência de deficiência hídrica se concentra no período compreendido entre o 2º decêndio de dezembro e o 2º de janeiro.

## LITERATURA CITADA

- Accioly, C. V.; Srinivasan, V. S.; Ramana Rao, T. V. Regionalização agro-climatológica para o estado de Pernambuco baseado no índice R. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 12, 2001, Fortaleza, Anais..., Santa Maria: SBA, 2001. p.9-10.
- Ávila, A. M. H.; Berlato, M. A.; Silva, J. B. da; Fontana, D. C. 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, v.2, n.2, p.149-154, 1996.
- Bergamaschi, H.; Guadagnin, M. R. Agroclima da estação experimental agrônômica da UFRGS. Porto Alegre: Faculdade de Agronomia/UFRGS, 1990. 91p.
- Berlato, M. A. Modelo de relação entre rendimento de grãos de soja e o déficit hídrico para o estado do Rio Grande do Sul. São José dos Campos: INPE, 1987. 93p. Tese Doutorado
- Berlato, M. A. As condições de precipitação pluvial no estado do Rio Grande do Sul e os impactos das estiagens na produção agrícola. In: Bergamaschi, H.; Berlato, M. A.; Fontana, D. C.; Cunha, G. R.; Santos, M. L. V. dos; Farias, J. R. B.; Barni, N. A. Agrometeorologia aplicada à irrigação, Porto Alegre: UFRGS, 1992. p.11-23.
- Berlato, M. A.; Fontana, D. C.; Puchalski, L. 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.
- Berlato, M. A.; Molion, L. C. B. Evaporação e evapotranspiração. Porto Alegre: IPAGRO, 1981. 95p. Boletim Técnico/IPAGRO, 7
- Burman, R.; Pochop, L. O. Evaporation, Evapotranspiration and Climatic Data. Comparisons and example calculations. New York: Elsevier, 1994. Cap.8 p.191-213
- Cunha, G. R.; Balanço hídrico climático. In: Bergamaschi, H.; Berlato, M. A.; Fontana, D. C.; Cunha, G. R.; Santos, M. L. V. dos; Farias, J. R. B.; Barni, N. A. Agrometeorologia Aplicada à Irrigação, Porto Alegre: UFRGS, 1992. p.63-84.
- Cunha, G. R. da; Haas, J. C.; Dalmago, G. A.; Pasinato, A. Perda de rendimento potencial em soja no Rio Grande do Sul por deficiência hídrica. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v.6, n.1, p.111-119, 1998.
- D'Angiolella, G.; Vasconcelos, V. L. D.; Rosa, J. W. Estimativa e espacialização do balanço hídrico na mesorregião sul da Bahia. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 13, Santa Maria, Anais..., Santa Maria: SBA, 2003. p.1011-1012.
- Farias, J. R. B.; Almeida, I. R. de; Castro, C. Caracterização das regiões de risco climático ao girassol nos estados do Paraná e de Goiás. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 12, 2001, Fortaleza, Anais..., Santa Maria: SBA, 2001. p.27-28.
- Fontana, D. C.; Oliveira, D. Relação entre radiação solar global e insolação para o estado do Rio Grande do Sul. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v.4, n.1 p.87-91, 1996.
- Instituto de Pesquisas Agronômicas. Atlas agroclimático do estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura e Abastecimento, 1989, v.1, 102p.
- Matzenauer, R.; Bergamaschi, H.; Berlato, M. A.; Maluf, J. R. T.; Barni, N.; Bueno, A. C.; Didoné, I. A.; Anjos, C. S. dos; Machado, F. A.; Sampaio, M. dos R. Consumo de água e disponibilidade hídrica para milho e soja no Rio Grande do Sul. Porto Alegre: FEPAGRO, 2002. 105p. Boletim Fepagro, 10
- Matzenauer, R.; Bergamaschi, H.; Berlato, M. A.; Riboldi, J. Relações entre rendimentos de milho e variáveis hídricas. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v.3, p.85-92, 1995
- Medeiros, S. L. P.; Westphalen, S. L.; Matzenauer, R.; Bergamaschi, H. Relações entre evapotranspiração e rendimento de grãos de milho. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.6, n.1, p.1-10, 1991.
- Puchalski, L. A. Efeitos associados ao fenômeno El Niño e La Niña na temperatura média, precipitação pluvial e déficit hídrico no estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: UFRGS, 2000. 100p. Dissertação Mestrado
- Rio Grande do Sul, Macrozoneamento agroecológico e econômico. Porto Alegre: Coordenadoria Estadual de Planejamento Agrícola, 1994, 57p.
- Rolim, G. S.; Sentelhas, P. C.; Barbieri, V. Planilhas no ambiente Excel para cálculos de balanço hídrico norma, seqüencial, de culturas e produtividade real e potencial. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v.6 n.1. p.133-137, 1998.
- Sellers, W. D. Physical climatology. Chicago: The University of Chicago.1965. 272p.
- Silva, V. de P. R.; Azevedo, P. V. Uso do índice R na determinação da estação de cultivo e época de semeadura para a região de Campina Grande, Paraíba. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 8, e Congresso Latino-Americano e Ibérico de Meteorologia, 2, 1994, Fortaleza. Anais... Fortaleza: SBMET, 1994, v.2, p.694-696.
- Tubelis, A.; Nascimento, F. J. L. Meteorologia descritiva. São Paulo: Nobel. 1980. 374p.
- Yao, A. Y. M. The R index for plant water requirement. Agricultural Meteorology, Amsterdam, v.6. p.259-273, 1968.