



Intensidade da seca utilizando índices de precipitação

doi: 10.4136/ambi-agua.1245

Received: 14 Nov. 2013; Accepted: 04 Dec. 2013

Claudia Fernanda Almeida Teixeira^{1*}; Rita de Cássia Fraga Damé¹; Luiz Carlos Salgueiro Bacelar²; Gisele Machado da Silva¹; Rosiane Schwantz do Couto¹

¹Universidade Federal de Pelotas – Pelotas, RS, Brasil

²Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) – Cachoeira Paulista, SP, Brasil

*Autor correspondente: e-mail: cfteixei@ig.com.br, ritah2o@hotmail.com, luiz.bacelar@cemaden.gov.br, giselesilva@cavg.ifsul.edu.br, couto.rosianes@gmail.com

RESUMO

A região Sul do Brasil, em especial a região da Campanha, tem enfrentado períodos de estiagens na última década, com intensidade e frequência superior à normalidade, afetando de forma decisiva a produção agrícola e, conseqüentemente, a economia. O monitoramento da área afetada pela seca e sua quantificação é uma informação importante para o manejo e o gerenciamento deste tipo de desastre natural. Objetivou-se analisar a intensidade da seca utilizando o número de dias sem chuva (NDSC), o índice de porcentagem normal (IPN) e o índice padronizado de precipitação (SPI) para a localidade de Bagé/RS/Brasil, representativa da região da Campanha do estado. O cálculo do SPI foi baseado em dados mensais de precipitação pluvial, utilizando-se a distribuição Gama. O ajuste dessa função de probabilidade aos dados do estudo foi comprovado por meio do teste de Qui-quadrado. Os resultados indicaram que tanto o NDSC, quanto o IPN foram capazes de detectar os eventos de seca extrema e severa, que contribuíram para a diminuição no rendimento da soja em Bagé. Os anos de ocorrência de seca classificada como severa e extrema, coincidem com os anos de ocorrência do fenômeno “La Niña”. Dos 1164 meses analisados, quanto aos valores de SPI, 6,8% (79) foram classificados como eventos de seca severa e extrema.

Palavras-chave: precipitação mensal, *Glycine max*, déficit hídrico, distribuição Gama, SPI.

Severity of drought using rainfall indices

ABSTRACT

The southern region of Brazil, especially the region of Campanha, has experienced periods of drought in the last decade, with greater severity and frequency than normal, seriously affecting agricultural production and therefore the economy. Monitoring of the drought-affected area and the drought's quantification are important for the management of this type of natural disaster. This study aimed to analyze the severity of drought using the number of days without rain (NDSC), the rate of normal percentage (IPN) and the standardized precipitation index (SPI), from the town of Bagé/RS/Brazil, representing the Campanha region of the state. The calculation of the SPI was based on monthly rainfall data, using the Gamma distribution. Adjusting this probability function to study data was confirmed by using the Chi-square test. The results indicated that both the NDSC and IPN

were able to detect extreme drought and severe events, which contributed to the decrease in soybean yield in Bagé. The years of drought occurrence, classified as severe and extreme, coincide with the years of occurrence of the phenomenon called "La Niña". Out of 1164 months analyzed considering the values of the SPI, 6.8% (79) were classified as severe and extreme drought events.

Keywords: monthly precipitation, *Glycine max*, water deficit, Gamma distribution, SPI.

1. INTRODUÇÃO

O estado do Rio Grande do Sul está convivendo nas últimas décadas com uma anomalia climática: a seca/estiagem. O déficit hídrico, normalmente, é o principal fator responsável por prejuízos na lavoura, particularmente, nas culturas de verão, cujas perdas verificadas em 1990/1991 chegaram próximo a 70%, decrescendo de um rendimento médio de grãos de 2.000 kg ha⁻¹ (1989/1990) para 750 kg ha⁻¹ (1990/1991). Na safra 2004/2005, o fenômeno causou prejuízos significativos aos produtores, com perdas severas, de modo que a agropecuária gaúcha confrontou-se com quatro meses de deficiência hídrica (Porto, 2005).

Atualmente há o Programa Estadual de Expansão da Agropecuária Irrigada – Mais Água, Mais Renda instituído pelo governo estadual, com o objetivo de proporcionar aos produtores rurais condições para adotar ou ampliar sistemas de produção irrigados em áreas de sequeiro. Como objetivos específicos, o programa procura incentivar e facilitar a expansão da irrigação, bem como aumentar a produtividade e a renda dos produtores, estimulando, também, o crescimento da renda pública.

No entanto só haverá sucesso na adoção do referido programa se houver uma caracterização quanto aos locais e/ou regiões que apresentem o problema da escassez hídrica. Uma vez conhecida a variabilidade espaço-temporal da mesma nas diferentes regiões do estado será possível prever e adotar ações de forma mais controlada e precisa. Sendo as incertezas quanto às condições climáticas um dos fatores de risco, qualquer ferramenta que venha a auxiliar o processo decisório é de grande importância ao setor produtivo.

Cunha (2008) destaca que todos os tipos de seca são originados da escassez de água, por tempos extremos de redução de precipitação mais ou menos longos. Tal fenômeno acomete qualquer região, seja com características úmidas ou áridas, sendo de difícil predição no que diz respeito ao seu início e fim e suas consequências são sentidas nas mais diversas áreas: agrícola, pecuária, geração de energia, lazer, e no consumo industrial e doméstico.

Gross et al. (2012) realizaram um levantamento de dados que detectaram os municípios do estado do Rio Grande do Sul afetados pela estiagem entre os anos de 2000 e 2010, São Borja e Seberi, que têm como principais culturas, o milho, a soja e o trigo. Os autores afirmam que estas culturas são muito dependentes das condições hídricas, e que as consequências negativas da seca agem como um efeito cascata, onde tem início no campo, interferindo na economia dos municípios do estado. Quanto à soja, Sperling et al. (2012) trabalharam com dados de 22 anos de cultivo deste produto no município de Cruz Alta e verificaram que em épocas de estiagem a produção foi baixa nos anos de 1977/1978, 1978/1979, 1981/1982, 1985/1986, 1987/1988, 1990/1991, 1995/1996, 1996/1997, 1998/1999 e 1999/2000.

A seca pode ocorrer em qualquer região sem diferenciação de clima, pois mesmo em um clima com características predominantemente úmidas esse fenômeno pode se manifestar. Sentelhas (2010) comenta que o Brasil em função das suas grandes dimensões e de todos os fatores macroclimáticos, o país apresenta uma grande variedade de climas, variando do tropical no centro-norte ao temperado no sul, e de úmido na parte norte da região amazônica ao semi-árido na maior parte do Região Nordeste, onde o bioma Caatinga prevalece. Portanto, mesmo regiões úmidas, como a Floresta Amazônica no estado do Amazonas e a região dos

Pampas, no Rio Grande do Sul, têm experimentado períodos de seca severa durante os últimos anos, causando desastres para diversas atividades humanas, principalmente a agricultura.

Atualmente, as pesquisas referentes à predição da seca utilizam vários índices indicadores de ocorrência do evento, tais como o índice de porcentagem normal (IPN), o índice de severidade de seca de Palmer (PDSI), o índice padronizado de precipitação (SPI), entre outros (Nery et al., 2000; Blain e Brunini, 2007; Blain et al., 2010; Mishra e Singh, 2010; Guedes et al., 2012; Sayari et al., 2013). Os índices, segundo Guedes et al. (2012), requerem diferentes variáveis e metodologias de cálculo, sendo, portanto, necessário definir, na seleção de qual deles utilizar, aquele em que se dispõe dos dados de entrada e qual é o objetivo fim.

O SPI, desenvolvido por Mckee et al. (1993), tem sido atualmente muito utilizado por vários pesquisadores (Blain e Brunini, 2007; Blain et al., 2010; Guedes et al., 2012) para a caracterização dos eventos de seca, em diferentes escalas de tempo, para uma dada localidade. Como vantagem tem-se que o mesmo utiliza apenas dados de precipitação, variável comumente disponível nas estações meteorológicas. De acordo com Quiring (2009), um único índice não pode representar todos os aspectos da seca, por isso é melhor utilizar uma abordagem multi-índice.

Nesse sentido, objetivou-se analisar o número de dias sem chuva, o índice de porcentagem normal e os valores do índice padronizado de precipitação, quanto à seca, aplicados aos dados mensais de precipitação para o município de Bagé, na região da Campanha do estado do Rio Grande do Sul.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados dados mensais de precipitação pluvial da estação agroclimatológica de Bagé localizada nas coordenadas 31°20'S e 54°06'W, e a 242,31 m de altitude, pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), no período de 1913 a 2009 (Figura 1).

Para a análise do número de dias sem chuva foi considerado o período de 1961 a 2009, em que foram considerados dias sem chuva, aqueles cujos valores foram iguais a zero e menores do que 1,0 mm (Dereczynski et al., 2009).

Para o cálculo do índice de porcentagem normal (IPN) foi realizado, conforme Sayari et al. (2013), dividindo-se a precipitação pluvial mensal atual, pela normal climatológica, ou seja, a média dos últimos 30 anos, de acordo com a Equação 1. A Tabela 1 apresenta a classificação do IPN proposta por Cunha (2008), considerando-se que para precipitações pluviais mensais iguais ou superiores a 85% da precipitação pluvial normal, é assumido que não ocorrem eventos de seca.

$$IPN = \frac{P_{\text{atual}}}{P_{\text{normal}}} \quad (1)$$

em que:

P_{atual} - precipitação pluvial medida na estação (mm); e

P_{normal} - normal climatológica do local (mm).

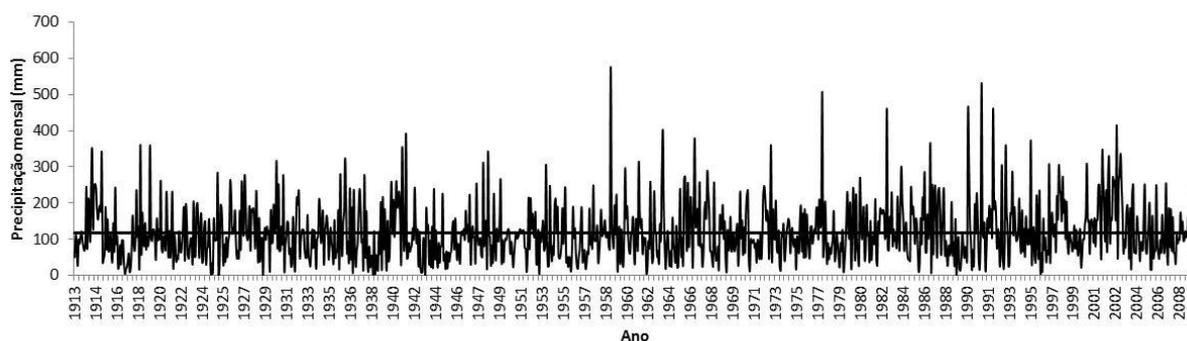


Figura 1. Comportamento temporal dos valores de precipitação mensal anual para a estação de Bagé, RS, com valor médio de 118,03 mm para o período analisado (1913-2009).

Tabela 1. Classificação dos índices de porcentagem normal (IPN) e padronizado de precipitação (SPI), quanto à severidade de seca.

IPN (adimensional)	Classe de severidade	SPI (adimensional)	Classe de severidade
$IPN \geq 1,10$	Normal	0,49 a -0,49	Normal
$0,85 \leq IPN < 1,10$	Próxima do Normal	-0,50 a -0,99	Seca incipiente
$0,75 \leq IPN < 0,85$	Seca Moderada	-1,00 a -1,49	Seca moderada
$0,50 \leq IPN < 0,75$	Seca Severa	-1,50 a -1,99	Seca severa
$IPN < 0,50$	Seca Extrema	$\leq -2,00$	Seca extrema

Com o propósito de analisar a relação entre o NDSC e do IPN com a principal cultura da região, foram obtidas as informações de produtividade anual da soja para o município de Bagé (período de 1990 a 2011) e do estado do RS (período 1981 a 2011) do banco de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), considerando-se o período de 1990 a 2000.

Os valores do SPI foram calculados para a escala temporal de 1 mês, seguindo a metodologia descrita em Mckee et al. (1993), sendo a distribuição Gama de dois parâmetros (Blain e Brunini, 2007) aplicada para estimar a probabilidade de ocorrência dos dados mensais de precipitação pluvial. A distribuição Gama é definida para uma variável aleatória contínua positiva x pela função de densidade de probabilidade (Equação 2).

$$g(x) = \frac{1}{\beta} \left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha-1} \frac{\exp\left(-\frac{x}{\beta}\right)}{\Gamma(\alpha)} \quad x > 0 \quad (2)$$

em que:

α - parâmetro de forma, $\alpha > 0$ (adimensional);

β - parâmetro de escala, $\beta > 0$ (mm); e

$\Gamma(\alpha)$ – função Gama de α (adimensional).

A função gama $\Gamma(\alpha)$ na Equação 2 é definida por:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (3)$$

Para a estimativa dos parâmetros α e β foi utilizado o método da máxima verossimilhança (Thom, 1958), segundo as Equações 4, 5 e 6.

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad (4)$$

$$\beta = \frac{\bar{X}}{\alpha} \quad (5)$$

$$A = \ln(\bar{X}) - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \ln(X) \quad (6)$$

em que:

\bar{X} - média aritmética da precipitação pluvial (mm); e

N - número de observações da série de precipitação (adimensional).

Os resultados dos parâmetros de forma e escala foram utilizados para se calcular a probabilidade cumulativa de um evento de precipitação observado, para a escala de tempo considerada (mensal). A probabilidade cumulativa é dada pela Equação 7.

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} dx \quad (7)$$

Substituindo $t = x/\beta$, a Equação 7 transforma-se na função Gama incompleta (Equação 8).

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^{\frac{x}{\beta}} t^{\alpha-1} e^{-t} dt \quad (8)$$

A distribuição gama é, por definição, indefinida para $x \leq 0$. Considerando que séries de chuva podem conter zeros, a probabilidade cumulativa utilizada no cálculo do SPI é dado por $H(x)$, descrito na Equação 9.

$$H(x) = q + (1 - q) G(x) \quad (9)$$

$$q = (m/n) \quad (10)$$

em que:

q – probabilidade de ocorrência de precipitação zero;

m - número de observações com chuva igual a zero; e

n – número de observações de chuva maior do que zero.

O valor de (Z) ou SPI pode ser obtido pela aproximação matemática desenvolvida por Abramowitz e Stegun (1965), que relaciona a distribuição de probabilidade cumulativa Gama e a Normal, sendo (Z) definido pelas Equações 11 e 12 e t pelas Equações 13 e 14.

$$Z = \text{SPI} = - \left(t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \quad \text{para } 0 < H(x) \leq 0,5 \quad (11)$$

$$Z = \text{SPI} = + \left(t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \quad \text{para } 0,5 < H(x) \leq 1,0 \quad (12)$$

$$t = \sqrt{\ln \left[\frac{1}{(H(x))^2} \right]} \quad \text{para } 0 < H(x) \leq 0,5 \quad (13)$$

$$t = \sqrt{\ln \left[\frac{1}{(1 - H(x))^2} \right]} \quad \text{para } 0,5 < H(x) < 1,0 \quad (14)$$

Os coeficientes utilizados nas Equações 11 e 12 são:

$$C_0 = 2,515517;$$

$$C_1 = 0,802853;$$

$$C_3 = 0,010328;$$

$$d_1 = 1,432788;$$

$$d_2 = 0,189269;$$

$$d_3 = 0,001308.$$

Após a determinação dos valores de SPI para a localidade de Bagé, na escala mensal foi utilizada a Tabela 1 para a classificação dos valores, quanto a severidade da seca (Guedes et al., 2012). Tendo em vista que o SPI tem como base de sua metodologia, o ajuste da série histórica de chuva à distribuição Gama incompleta (FDPG), foi aplicado o teste Qui-quadrado (χ^2) para analisar a aderência da mesma (Wilks, 2006).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2 é apresentado o número de dias sem chuva (NDSC), bem como o valor médio de NDSC = 273, para o município de Bagé, no período de 1961 a 2009. Observam-se

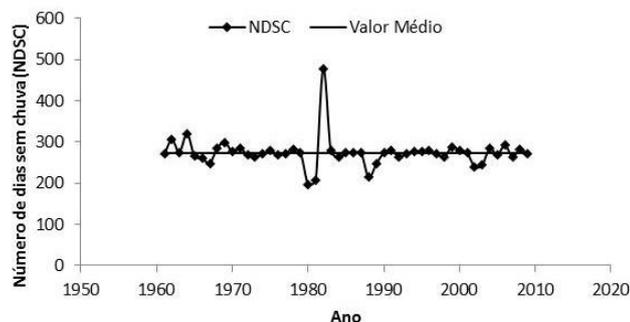


Figura 2. Número de dias sem chuva (NDSC) e a média, para o município de Bagé, no período de 1961 a 2009.

quatro períodos que excedem o valor médio, 1962 (NDSC = 305), 1964 (NDSC = 320), 1969 (NDSC = 299) e 1982 (NDSC = 478), o que representam 11,7; 17,2; 9,5 e 75,1% superiores à média. Para o período analisado, ocorrem em média 24, 24, 21 e 23 dias sem chuva nos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março, respectivamente. Santos e Bassegio (2011) encontraram para o município de Cascavel-PR, num período de 10 anos de dados, uma média de 24,7 dias sem chuva por mês.

Considerando a soja como cultura de interesse da localidade em estudo, buscou-se estabelecer uma relação entre o NDSC e a produtividade da mesma. Na Figura 3a é apresentada a variação do rendimento da soja (kg ha^{-1}) para o município (período de 1990 a 2011), e para o estado (período de 1981 a 2011), bem como o valor médio estadual (1.734 kg ha^{-1}). Observa-se que nos períodos de 1991 (712 kg ha^{-1}) e 2005 (654 kg ha^{-1}), para o RS e 1992 (900 kg ha^{-1}) e 2006 (750 kg ha^{-1}) para Bagé foram os que apresentaram os menores valores de produtividade. Na Figura 3b, na avaliação em conjunto, o comportamento do NDSC em relação à produtividade média, verifica-se que no ano de 2006, com menor produtividade, ocorreu também o maior número de dias sem chuva (NDSC = 292). De acordo com Berlato e Fontana (1999), a precipitação pluvial de dezembro a março, explica cerca de 80% da variação interanual do rendimento da soja no RS. Por outro lado, a ocorrência de dias sem chuva reduz a quantidade de água disponível no solo para as plantas e também pode afetar o desenvolvimento das culturas.

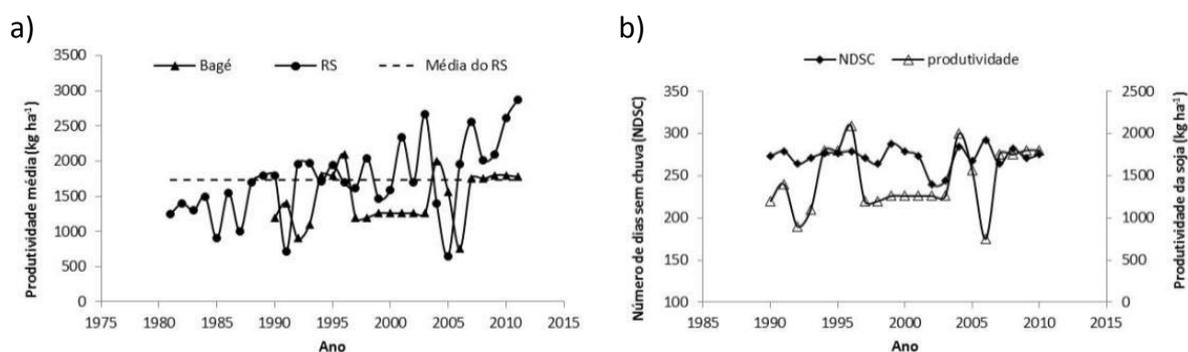


Figura 3. (a) Variação da produtividade da soja (kg ha^{-1}) para o município de Bagé (1990 a 2011), RS (1981 a 2011) e o valor médio do estado do Rio Grande do Sul (1.734 kg ha^{-1}) e; (b) Relação entre a produtividade da soja (kg ha^{-1}) e o número de dias sem chuva (NDSC), no período de 1990 a 2010.

Considerando-se que o período de cultivo da soja, no estado, estende-se de novembro-dezembro a fevereiro-março, são apresentados na Figura 4 apenas os gráficos que representam o comportamento do índice de porcentagem normal (IPN) da precipitação pluvial para os quatro meses de interesse.

Analisando-se os valores do IPN, a partir de 1990, e realizando-se uma correspondência com os dados de produtividade da cultura, verifica-se, de acordo com a classificação de Cunha (2008), duas ocorrências de seca severa ($0,50 \leq \text{IPN} < 0,75$) em dezembro (1996 e 2007), três em janeiro (1999, 2000 e 2005), três em fevereiro (2000, 2001 e 2007) e quatro em março (1999, 2005, 2006 e 2009). Quanto à seca extrema ($\text{IPN} < 0,50$) ocorreram quatro eventos em dezembro (1995, 1999, 2004 e 2005), oito em janeiro (1990, 1991, 1995, 1997, 2003, 2004, 2007 e 2008), seis em fevereiro (1991, 1993, 1999, 2002, 2005 e 2006) e quatro em março (1993, 1996, 1997 e 2004). Considerando o período de cultivo da soja, os meses que indicaram situação de seca severa e extrema foram fevereiro e março de 2006, respectivamente, coincidindo com o valor de menor produtividade (750 kg ha^{-1}).

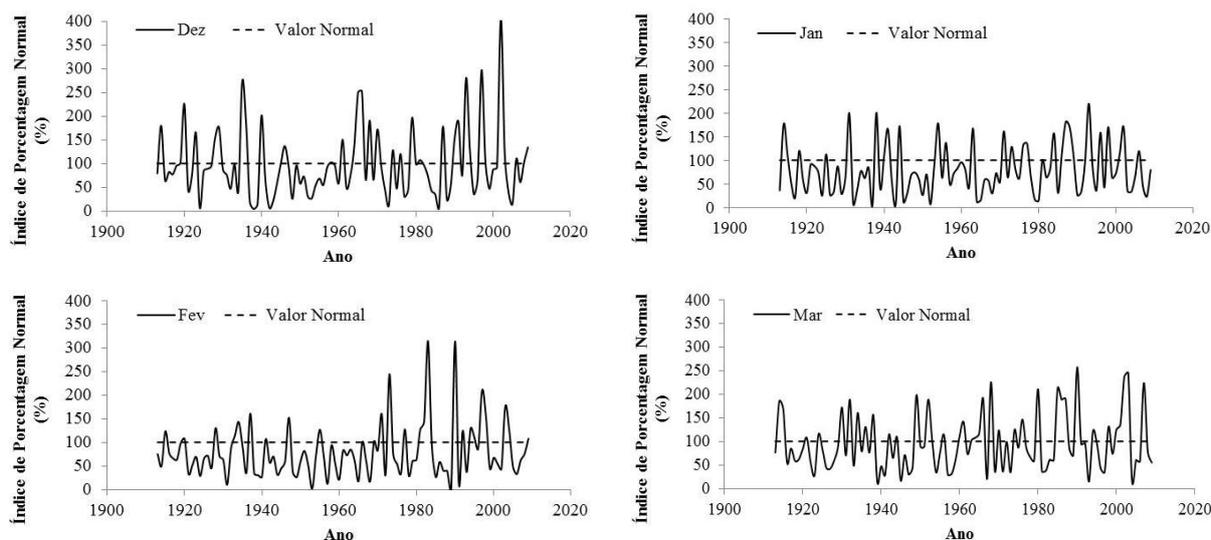


Figura 4. Comportamento do índice de porcentagem normal de precipitação pluvial, considerando os meses de cultivo da soja, para o período de 1913 a 2009.

Na Tabela 2 são apresentados os resultados do teste χ^2 aplicado às séries mensais de precipitação, verificando-se que quando são comparados os valores das estatísticas calculadas, estes são sempre inferiores ao valor crítico (74,40), indicando um bom ajuste das mesmas à FDPG, ou seja, as amostras mensais podem ser consideradas oriundas de uma população com distribuição Gama. A partir da adequação da distribuição Gama é possível o uso do SPI para detectar as situações de seca na localidade. Para tanto, os valores dos parâmetros α e β das FDPG mensais, as médias e os coeficientes de variação (CV%) são apresentados na Tabela 2. Verifica-se que não é possível definir com clareza os períodos chuvosos e secos, a partir dos valores médios mensais, o que permitiria a partir de uma análise conjunta do parâmetro α e do valor de CV, a ocorrência de baixos totais mensais de precipitação.

Tabela 2. Valores do teste Qui-quadrado (χ^2), parâmetros da distribuição Gama (α e β), média e coeficiente de variação relativos à série de precipitação (1913 a 2009), para a localidade de Bagé/RS/Brasil.

Mês	Teste	Parâmetros		Média (mm)	CV (%)
	χ^2	α	β		
Jan	5,81	2,3	48,8	110,2	66,6
Fev	11,51	1,9	60,0	115,9	71,9
Mar	4,31	2,6	42,0	110,2	61,7
Abr	3,65	1,6	80,1	126,5	82,8
Mai	10,81	2,1	59,6	125,7	68,9
Jun	3,48	2,9	44,0	124,4	54,8
Jul	3,54	2,0	62,6	123,3	71,2
Ago	0,75	2,8	41,6	116,3	59,8
Set	3,64	3,2	43,6	137,3	56,3
Out	7,45	3,2	40,0	128,0	55,9
Nov	12,94	1,6	63,4	100,5	79,4
Dez	3,60	1,8	54,4	100,6	73,5

Nota: Valor crítico do teste χ^2 ($\alpha = 5\%$) = 74,40.

Blain et al. (2010) com o objetivo de utilizar o índice padronizado de precipitação para a quantificação da seca no Espírito Santo, encontraram períodos chuvosos e secos bem definidos. O período de seca, nos meses de maio a setembro, foram os que alcançaram os menores valores de α e maiores de CV(%). No presente trabalho os menores valores do parâmetro α ocorreram em fevereiro, abril, novembro e dezembro, em torno de 1,7 e, por consequência, maiores valores de CV(%), em média 76,9.

O comportamento do SPI mensal, para o ano de 1917 evidencia a presença de seca, cujos valores do índice variaram de 0 (fevereiro) a -2,64 (outubro), sendo classificados como normal e seca extrema, respectivamente (Figura 5). Nos demais períodos verifica-se uma grande variabilidade temporal, ou seja, meses secos precedidos e seguidos de meses normais, como, por exemplo, abril (SPI = -2,29) seguido de maio (SPI = 0,26) de 2009. A sequência de meses de seca, classificada por Domingos (2006) como severa (SPI = -1,50 a -1,99) ocorreram nos meses de agosto (SPI = -1,82) e setembro (SPI = -1,88) de 1993. Já a sequência de eventos de seca extrema (SPI \leq -2,00) ocorreu em 1917 (maio = -2,60; junho = -2,08), e em 1942 (dezembro = -2,24) e 1943 (janeiro = -2,23). Guedes et al. (2012) comentam que a seca depende de sistemas meteorológicos que atuam na região, do relevo e dos fenômenos climáticos. Nesse sentido Porto (2005) define “La Niña” como sendo um fenômeno oceânico-atmosférico oposto ao “El Niño”, caracterizado por um resfriamento anormal das águas superficiais no Oceano Pacífico Tropical, com chuvas menores do que a média. Todos os anos de ocorrência do “La Niña” coincidem com os períodos de seca severa e extrema na localidade, que são 1992/93, 1916/17 e 1942/43.

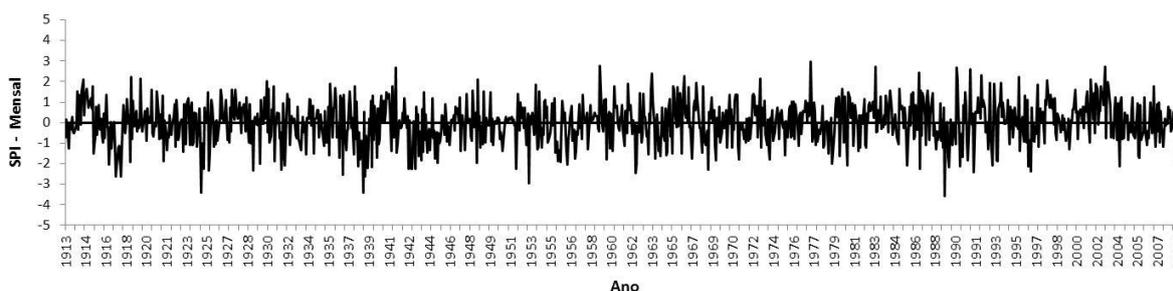


Figura 5. Comportamento do índice padronizado de precipitação (SPI), na escala mensal, para a localidade de Bagé/RS/Brasil, no período de 1913 a 2009.

4. CONCLUSÃO

Tanto a análise do número de dias sem chuva, quanto do índice de porcentagem normal da precipitação foram capazes de detectar os eventos de seca extrema e severa, os quais contribuíram para a diminuição no rendimento da soja no município de Bagé.

A série de precipitação mensal de Bagé pode ser considerada oriunda de uma população com distribuição Gama e que, portanto, permite a aplicação do índice padronizado de precipitação. Dos 1164 meses analisados, quanto aos valores de SPI, 6,8% (79) foram classificados como eventos em que ocorreram secas severas e extremas.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio fornecido pelo Centro de Engenharias da Universidade Federal de Pelotas. Gisele Machado da Silva agradece ao Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água/MACSA pela oportunidade de realização do mestrado.

6. REFERÊNCIAS

- ABRAMOWITZ, M.; STEGUN, I. A. **Handbook of mathematical function**. [S.l.]: Dover Publications, 1965. 1045 p.
- BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. Variabilidade interanual da precipitação pluvial e rendimento da soja no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 119-125, 1999.
- BLAIN, G. C.; BRUNINI, O. Análise comparativa dos índices de seca de Palmer, Palmer adaptado e índice padronizado de precipitação no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Piracicaba, v. 22, n. 1, p. 105-111, 2007.
- BLAIN, G. C.; PEZZOPANE, J. R. M.; PEZZOPANE, J. E. M.; BONOMO, R. Índice padronizado de precipitação aplicado às condições de seca no Estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 10, p. 1067-1073, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662010001000007>
- CUNHA, R. L. A. **Definição de cenários de referência para avaliação dos impactos das secas**. 2008. 147f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2008.
- DERECZYNSKI, C. P.; OLIVEIRA, J. S.; MACHADO, C. O. Climatologia da precipitação no município do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Piracicaba, v. 24, n. 1, p. 24-38, 2009.
- DOMINGOS, S. I. S. **Análise do índice de seca Standardized Precipitation Index (SPI) em Portugal Continental e sua comparação com o Palmer Drought Severity Index (PDSI)**. 2006. 53f. Tese (Licenciatura em Meteorologia, Oceanografia e Geofísica Interna) – Faculdade de Ciências, Lisboa, 2006.
- GROSS, J. A.; REIS, J. T.; SAUSEN, T. M. Avaliação socioeconômica dos municípios afetados pela estiagem no Rio Grande do Sul de 2000 a 2010. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE DESASTRES NATURAIS, 2012, São Paulo, **Proceedings...** Rio Claro: CENAD, 2012.
- GUEDES, R. V. S.; MACEDO, M. J. H.; SOUSA, F. A. S. Análise espacial de eventos de secas com base no índice padronizado de precipitação e análise de agrupamento. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, São Paulo, v. 23, p. 55-65, 2012.
- MCKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. The relationship of drought frequency and duration to times scale. In: CONFERENCE ON APPLIED CLIMATOLOGY, 8. 1993, Boston. **Proceedings...** Boston: American Meteorological Society, 1993. p. 179-184.
- MISHRA, A. K.; SINGH, V. P. Drought modeling – A review. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 391, p. 202-216, 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.012>
- NERY, J. T.; BALDO, M. C.; MARTINS, M. L. O. F. O comportamento da precipitação na Bacia do Itajaí. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 22, n. 5, p. 1429-1435, 2000.
- PORTO, R. O. As estiagens e as perdas na agricultura: fenômeno natural ou imprevidência? Esteio: FEDERACITE, 2005. p. 17-42.
- QUIRING, S. M. Monitoring drought: an evaluation of meteorological drought indices. **Geography Compass**, v. 3, p. 64- 88, 2009. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1749-8198.2008.00207.x>

- SANTOS, R. F.; BASSEGIO, D. Comportamento histórico da precipitação e ocorrências de dias secos e chuvosos em Cascavel, Paraná. **Revista Thêma et Scientia**, Cascavel, v. 1, n. 1, p. 30-40, 2011.
- SAYARI, N.; BANNAYAN, M.; ALIZADEH, A.; FARID, A. Using drought indices to assess climate change impacts on drought conditions in the northeast of Iran (case study: Kashafrud basin). **Meteorological Applications**, v. 20, p. 115–127, 2013. <http://dx.doi.org/10.1002/met.1347>
- SENTELHAS, P. C. Agricultural drought indices proceedings of an expert meeting. In: **Agricultural Drought Indices in Current use in Brazil**. Murcia: Proceedings of an Expert Meeting, 2010. p. 60-71.
- SPERLING, S.; BONETTI, L. P.; SOARES, R. M.; ANTONIAZZI, R. L. Recorrência do fenômeno de estiagens na estação de cultivo da soja no município de Cruz Alta, Rio Grande do Sul. In: SEMINÁRIO INTERINSTITUCIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 17., 6-8 nov. 2012, Cruz Alta, **Proceedings...** Cruz Alta: UNICRUZ. 2012.
- THOM, H. C. S. A note on the gamma distribution. **Monthly Weather Review**, v. 86, n. 4, p. 117-122, 1958. [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0493\(1958\)086%3C0117:ANOTGD%3E2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0493(1958)086%3C0117:ANOTGD%3E2.0.CO;2)
- WILKS, D. S. **Statistical methods in the atmospheric sciences**. San Diego: Academic Press, 2006. 627 p.