

SEÇÃO VI - MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA

INFLUÊNCIA DO FENÔMENO EL NIÑO NA EROSIVIDADE DAS CHUVAS NA REGIÃO DE SANTA MARIA (RS)⁽¹⁾

Gizelli Moiano de Paula⁽²⁾, Nereu Augusto Streck⁽³⁾, Alencar Junior Zanon⁽⁴⁾, Flávio Luiz Foletto Eltz⁽⁵⁾, Arno Bernardo Heldwein⁽⁶⁾ & Simone Erotildes Teliginski Ferraz⁽⁷⁾

RESUMO

O fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS) altera o tempo e o clima em vários locais, provocando alterações na circulação atmosférica que afetam os elementos meteorológicos e climáticos, principalmente a chuva, nas diferentes regiões do Brasil. Na região Sul do País, em anos de El Niño, fase positiva do fenômeno, a chuva é frequentemente acima da normal, e, em anos de La Niña, fase negativa do fenômeno, a chuva é frequentemente abaixo da normal. Algumas características das chuvas são alteradas pelo ENOS, como a frequência de ocorrência, a intensidade e a quantidade. Essas características são importantes para a definição das chuvas erosivas. Entre os métodos de determinação da erosividade das chuvas, o índice de erosividade EI_{30} é o mais usado no Rio Grande do Sul (RS). O objetivo deste trabalho foi determinar e associar o índice de erosividade EI_{30} com o fenômeno ENOS para a região de Santa Maria, RS. Usaram-se os dados diários de chuva registrados em pluviogramas a partir de 1º de julho de 1978 a 30 de junho de 2008, coletados na Estação Climatológica Principal de Santa Maria, RS. As chuvas individuais e erosivas foram identificadas nos pluviogramas, classificadas em anos de El Niño, La Niña e Neutros, e foi calculado o seu índice EI_{30} . Foi realizada a análise de correlação de Pearson e análise de regressão entre o EI_{30} e o Índice Oceânico do Niño (ION). A significância da regressão foi testada com o teste t, a fim de quantificar a associação entre as duas variáveis, com vistas à possível previsibilidade do potencial erosivo das chuvas a partir de anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) no oceano Pacífico. Também foram classificadas as chuvas em padrões Avançado, Intermediário e Atrasado. O

⁽¹⁾ Parte da Dissertação da primeira autora. Recebido para publicação em abril de 2009 e aprovado em abril de 2010.

⁽²⁾ Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. Av. Roraima 1000, CEP 97105-900 Santa Maria (RS). E-mail: gizellidepaula@gmail.com

⁽³⁾ Professor do Departamento de Fitotecnia, Centro de Ciência Rural, UFSM. E-mail: nstreck2@yahoo.com.br

⁽⁴⁾ Graduando em Agronomia, UFSM. E-mail: alencarzanon@yahoo.com.br

⁽⁵⁾ Professor do Departamento de Solos, UFSM. E-mail: flavioeltz@gmail.com

⁽⁶⁾ Professor do Departamento de Fitotecnia, UFSM. E-mail: heldwein@ccr.ufsm.br

⁽⁷⁾ Professor do Departamento de Física, UFSM. E-mail: simonefe@smail.ufsm.br

potencial erosivo das chuvas em Santa Maria é afetado pelo fenômeno ENOS, de modo que maior número de chuvas tem maior potencial erosivo em anos de El Niño e em anos Neutros. A variabilidade do potencial erosivo das chuvas em Santa Maria é maior nos anos Neutros do que nos anos de anomalia da TSM. O padrão das chuvas é alterado em anos de anomalia da TSM, no sentido de que nos anos de El Niño há aumento nas chuvas de padrão avançado e em anos de La Niña há aumento nas chuvas de padrão atrasado; no padrão intermediário, há diminuição do número de chuvas em anos de El Niño e La Niña, em comparação com anos Neutros. A capacidade preditiva do potencial erosivo das chuvas em Santa Maria pelo índice ION é fraca.

Termos de indexação: índice de erosividade, ENOS, potencial erosivo, padrões de chuva.

SUMMARY: EFFECT OF EL NIÑO / SOUTHERN OSCILLATION ON RAINFALL EROSIVITY IN SANTA MARIA (RS)

El Niño/Southern Oscillation (ENSO) affects the weather and climate of several locations, causing changes in the atmospheric circulation and climate variables, mainly rainfall, in all regions of Brazil. In southern Brazil, during El Niño years (the positive phase of ENSO), rainfall is often above normal whereas during La Niña years (the negative phase of ENSO), rainfall is often below normal. Some rainfall properties are affected by ENSO, such as frequency, intensity and amount. These properties are important to define erosive rainfall events. Among the methods to determine rainfall erosivity in Rio Grande do Sul State, the EI_{30} – erosivity index, is the most commonly used. The objective of this study was to determine and associate the EI_{30} erosivity index with the ENSO phenomenon for the region of Santa Maria, RS, Brazil. Daily rainfall data recorded from July 01, 1978 to July 30, 2008, collected in a standard Weather Station in Santa Maria, RS, were used. Individual erosive rainfall events were identified in the records, grouped into El Niño, La Niña and Neutral years, and the EI_{30} index was calculated. Rainfall events were also grouped into three patterns: Early, Intermediate and Late. Pearson correlation and regression analysis between the EI_{30} index and the Niño Oceanic Index (NOI) were performed. Regression was tested with the t test in order to quantify the relationship between the two variables, aiming at a possible predictability of the erosion potential of rainfall events due to abnormalities of the Sea Surface Temperature (SST) in the Pacific Ocean. Rainfall erosion potential in Santa Maria is affected by ENSO, so that a greater number of rainfall events have a higher erosion potential during El Niño and neutral years. The variability of the rainfall erosion potential is greater during Neutral years than during years with SST anomalies. The rainfall pattern is changed in years with SST anomalies, so that there is a slight increase in early rains during El Niño years and a slight decrease in late rains during La Niña years, whereas there is a decrease in rainfall events with Intermediate pattern during El Niño and La Niña years compared to Neutral years. The predictive capability of the erosion potential of rainfall events in Santa Maria based on the NOI index is weak or inexistent.

Index terms: erosivity index; ENSO; erosion potential; rainfall pattern.

INTRODUÇÃO

Um dos fenômenos de grande escala que mais afetam o tempo e o clima de diferentes locais na superfície terrestre e que tem sido bastante estudado nas últimas três décadas é o El Niño Oscilação Sul (ENOS). O ENOS caracteriza-se por alterações ou anomalias da temperatura da superfície do mar (TSM) na região do Pacífico Equatorial, próximo à costa oeste da América do Sul (Grimm et al., 1998). A condição

normal de TSM na região central da bacia do oceano Pacífico é a concentração de águas quentes na parte oeste e de águas frias na região leste. A essa condição normal das águas do oceano Pacífico denomina-se de ano Neutro. Quando as águas quentes migram para a região leste da bacia do Pacífico equatorial, define-se o El Niño, quando a anomalia de TSM é positiva, enquanto a La Niña é caracterizada quando a anomalia de TSM na região é negativa (Grimm et al., 1998; Berlato & Fontana, 2003). O fenômeno inicia-se no

começo do segundo semestre de um ano e termina no final do primeiro semestre do ano seguinte (Berlato & Fontana, 2003; Berlato et al., 2005).

A precipitação pluvial é o processo pelo qual a água condensada na atmosfera atinge gravitacionalmente a superfície terrestre; quando a precipitação é na forma líquida, é denominada de chuva (Tubelis & Nascimento, 1980). O fenômeno ENOS afeta a chuva nas diferentes regiões do Brasil, alterando a frequência, a intensidade e a quantidade (Fontana & Berlato, 1997; Grimm et al., 1998). No Rio Grande do Sul, a chuva é geralmente acima da normal em anos de El Niño e abaixo da normal em anos de La Niña (Fontana & Berlato, 1997). A frequência das chuvas é um fator que influencia sobremaneira as perdas de solo e água das lavouras, ocasionando erosão, pois, se os intervalos entre as chuvas forem curtos e o conteúdo de água no solo se mantiver alto, a possibilidade de essas chuvas causarem erosão é eminente, mesmo com baixa intensidade (Wischmeier & Smith, 1978).

A erosão do solo provocada pela chuva é denominada de erosão hídrica. As chuvas que têm capacidade de provocar erosão são denominadas de chuvas erosivas. A erosividade das chuvas depende da intensidade delas e da energia cinética de impacto das gotas sobre a superfície do solo e da capacidade de infiltração deste; a erosão provocada irá depender, entre outros fatores, da erodibilidade do solo, da cobertura vegetal, da declividade e, inclusive, da quantidade de água no solo (Wischmeier, 1959).

O potencial erosivo das chuvas pode ser quantificado por meio de índices que expressam a erosividade. O índice EI_{30} é o mais amplamente utilizado e representa o produto da energia cinética total de impacto das gotas pela quantidade máxima da chuva em 30 min, expressa em intensidade ($mm\ h^{-1}$) (Wischmeier, 1959). O EI_{30} foi considerado por Moraes et al. (1988) o mais adequado para as condições do Rio Grande do Sul, por ter boa correlação linear entre a energia cinética e as perdas de solo.

Há duas épocas de maior influência do ENOS sobre a chuva no Rio Grande do Sul: a primeira é nos meses de outubro a dezembro e a segunda, chamada de "repique", ocorre nos meses de abril a junho (Fontana & Berlato, 1997). Segundo Eltz et al. (1977), nessas épocas, por coincidirem com a semeadura e com a fase inicial de desenvolvimento das culturas de verão e inverno, respectivamente, há elevado risco de perda de solo por erosão hídrica devido à reduzida presença de plantas e, conseqüentemente, cobertura do solo. Em Uruguaiana (RS), no período de 1963 a 1991, os meses de outubro a abril apresentaram 67 e 77,5 % da precipitação e da erosividade anual, respectivamente (Hickmann et al., 2008). Dessa forma, é importante programar as atividades agrícolas para que os períodos de maiores riscos de erosão em anos do fenômeno ENOS coincidam com a maior cobertura do solo (Cogo et al., 2006).

O Estado do Rio Grande do Sul localiza-se numa das regiões do globo afetadas pelo fenômeno ENOS: sudeste da América do Sul (Grimm et al., 1998). Santa Maria, localizada na região fisiográfica da Depressão Central do RS, é um polo de produção agrícola importante no Estado, onde são cultivadas várias culturas agrícolas com distintos manejos de solo. Assim, é importante associar índices de erosividade das chuvas com o ENOS, o que pode auxiliar na determinação das épocas de preparo e outras práticas de manejo do solo, visando minimizar os impactos negativos da variabilidade climática sobre a conservação do solo. Na literatura são escassos os trabalhos que associam a erosividade das chuvas com períodos em que há sinal do ENOS; para Santa Maria, o único trabalho é o de Amado et al. (2002), mas nele foram usados poucos anos (1993 a 2000). Agora, no início da segunda década do século XXI, a série temporal de dados meteorológicos é mais longa e, assim, é pertinente estender o estudo sobre o efeito do fenômeno ENOS na erosividade na região de Santa Maria, pois séries mais longas representam melhor a variabilidade climática do local. O objetivo deste trabalho foi determinar e associar o índice de erosividade EI_{30} com o fenômeno ENOS para a região de Santa Maria (RS).

MATERIAL E MÉTODOS

O local do estudo é Santa Maria (RS), onde se encontra a Estação Climatológica Principal do Instituto Nacional de Meteorologia (ECPINM) - 8º Distrito de Meteorologia, considerada uma estação-padrão e representativa de uma região com raio de aproximadamente 50 km. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é Cfa – subtropical úmido, sem estação seca definida, com verões quentes (Moreno, 1961). O elemento meteorológico usado neste estudo foi a chuva, registrada em pluviogramas por um pluviógrafo instalado na ECPINM, localizada no Campo Experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (latitude de 29° 43' S, longitude de 53° 43' W e altitude de 95 m).

Usaram-se os dados de chuva obtidos de pluviogramas de registros diários no período de 1º de julho de 1979 a 30 de junho de 2008. As chuvas individuais e erosivas foram identificadas nos pluviogramas, sendo registrados o tempo e a altura dessas chuvas para cada segmento de intensidade uniforme (mesma declividade do registro da chuva no pluviograma). Como chuvas individuais foram consideradas aquelas separadas da anterior e da posterior por um período mínimo de seis horas sem chuva ou com menos de 1,0 mm de chuva, e como chuvas erosivas foram consideradas as que tinham a chuva total superior a 10 mm ou igual ou superior a 6 mm em até 15 min de chuva (Cabeda, 1976).

Para cada segmento de intensidade uniforme, calculou-se a energia cinética, conforme Wischmeier & Smith (1978), e as unidades foram transformadas para o sistema internacional, segundo Foster et al. (1981):

$$EC = 0,119 + 0,0873 \log_{10} I$$

em que EC é a energia cinética ($\text{MJ ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$) do segmento de chuva e I é a intensidade do segmento de chuva (mm h^{-1}). O índice de erosividade das chuvas (EI_{30}) representa o produto da energia cinética total da chuva pela intensidade máxima, em mm h^{-1} , calculada com base na quantidade máxima durante 30 min contínuos de chuva (Wischmeier, 1959; Morais et al., 1988) pela equação:

$$EI_{30} = EC_T I_{30}$$

em que EI_{30} é o índice de erosividade das chuvas ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$), EC_T é a energia cinética total das chuvas erosivas (MJ ha^{-1}) (somatório da EC de cada segmento de intensidade constante da chuva) e I_{30} (mm h^{-1}) é a intensidade máxima em 30 min, transformada em milímetros por hora.

Calculou-se o EI_{30} diário, mensal e anual com o programa CHUVEROS 2, com algoritmo implementado em FORTRAN pelo professor Elemar Cassol, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

As chuvas erosivas foram classificadas em anos de El Niño (EN), La Niña (LN) e Neutros (N), considerando-se o período de 1º de julho do ano até 30 de junho do ano seguinte, já que o fenômeno ENOS geralmente inicia-se no segundo semestre de um ano e termina no primeiro semestre do ano seguinte (Grimm et al., 1998; Berlato & Fontana, 2003). Os anos de ocorrência e duração dos eventos El Niño e La Niña, assim como os valores do Índice Oceânico do Niño (ION), foram retirados de NOAA (2008). O ION é um índice que identifica as anomalias da superfície do mar na região do Niño 3.4, entre as coordenadas 5°N–5°S e 170–120°W no oceano Pacífico, por meio de uma média móvel de três meses. Quando o índice for maior que +0,5 °C por, no mínimo, cinco meses consecutivos, é caracterizado um El Niño; quando menor que -0,5 °C por, no mínimo, cinco meses consecutivos, é caracterizado uma La Niña. A intensidade do fenômeno ENOS foi classificada em classes fraca, moderada e forte, usando-se a média do ION e de acordo com os critérios de classificação apresentados no quadro 1.

Dos 30 anos analisados (1978 a 2008), seis (78/79, 81/82, 82/83, 83/84, 94/95 e 95/96) não foram usados no trabalho, por problemas nos pluviogramas. Nos 24 anos restantes, ocorreram 22 chuvas em anos de El Niño, 15 chuvas em anos de La Niña e 41 chuvas em anos Neutros, em que os pluviogramas apresentavam sinais ou anotações dos observadores meteorológicos que sugeriam possível registro inadequado (a descarga pelo sifão não ocorreu ou ocorreu parcialmente). Essas 78 chuvas foram

Quadro 1. Critérios para classificar a intensidade do fenômeno El Niño Oscilação Sul usados no estudo

| Evento | Valor do ION ⁽¹⁾ | Intensidade |
|---------|-----------------------------|-------------|
| El Niño | 0,5 a 0,9 | Fraca |
| | 1,0 a 1,4 | Moderada |
| | ≥ 1,5 | Forte |
| La Niña | -0,5 a -0,9 | Fraca |
| | -1,0 a -1,4 | Moderada |
| | ≤ -1,5 | Forte |

⁽¹⁾ ION: média dos valores do Índice Oceânico do Niño. Fonte: Golden Gate Weather Services (2008).

identificadas como chuvas erosivas, pela comparação do total de chuvas medido no pluviômetro da estação com o registro nos pluviogramas e aplicando-se dois critérios: (a) houve registro de chuva no pluviômetro, mas não havia registro no pluviograma e (b) o total de chuva medido no pluviômetro foi 5 mm maior ou menor do que o total de chuvas registrado no pluviograma. Realizou-se a regressão linear simples entre chuva total diária e EI_{30} para essas 78 chuvas erosivas, porém, como o coeficiente de determinação (R^2) foi baixo (0,6, 0,5 e 0,6 para anos de El Niño, La Niña e Neutros, respectivamente), não foi utilizado no trabalho. Assim, dos 24 anos usados, sete foram de El Niño, seis de La Niña e 11 Neutros; quanto ao número de chuvas erosivas, destes 24 anos, 338 chuvas foram nos anos de El Niño, 257 nos anos de La Niña e 460 nos anos Neutros, totalizando 1.055 chuvas erosivas.

Os padrões de chuvas foram calculados com o algoritmo do programa CHUVEROS 2 e classificados em avançado, intermediário e atrasado. Padrão de chuva avançado foi considerado quando o pico de maior intensidade da chuva ocorreu no tercil inferior do tempo de duração total da chuva; intermediário, quando a maior intensidade da chuva ocorreu no tercil intermediário do tempo de duração total da chuva; e atrasado, quando a maior intensidade da chuva ocorreu no tercil superior do tempo de duração total da chuva (Horner & Jens, 1941).

Calcularam-se as estatísticas descritivas total, média, maior valor absoluto, desvio-padrão e coeficiente de variação do EI_{30} para anos de El Niño, La Niña e Neutros. Foram construídos diagramas de caixa com a mediana (percentil 50) e percentis de 10, 25, 75 e 90 do EI_{30} , conforme método usado por Carmona & Berlato (2002), Berlato & Fontana (2003) e Streck et al. (2008). Foi realizada também a análise de correlação de Pearson e análise de regressão linear entre o EI_{30} e o ION, e a significância do coeficiente angular da equação de regressão foi avaliada com o teste t de Student, com o objetivo de quantificar a associação entre as duas variáveis, com vistas a possível previsibilidade do potencial erosivo das chuvas a partir de anomalias de TSM no oceano Pacífico.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos 24 anos usados no estudo, um evento de El Niño (1997/1998) e um evento de La Niña (1988/1989) foram classificados como de intensidade forte. Os demais anos estão distribuídos nas classes de intensidade moderada (sete eventos) e intensidade fraca (quatro eventos).

Os sete eventos de El Niño tiveram duração de seis (2006/2007, intensidade fraca) a 15 meses (1991/1992, intensidade moderada), e os seis eventos de La Niña, duração variável de cinco (1999/2000, intensidade fraca) a 13 meses (1988/1989, intensidade forte). O El Niño de maior intensidade (1997/1998) teve duração de anomalia de TSM de 12 meses.

Dos sete eventos de El Niño, o de 2002/2003, classificado como intensidade moderada, foi o que teve o maior EI_{30} acumulado anual (16.115,5 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹) e o maior EI_{30} médio anual de chuvas individuais (219,9 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹) (Quadro 2). O El Niño de intensidade forte (1997/1998) teve o segundo maior EI_{30} acumulado anual (12.425 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹). Esperava-se que o El Niño de intensidade forte tivesse o maior EI_{30} acumulado anual, e o motivo de não se

confirmar essa expectativa pode ser o fato de não terem sido contabilizadas cinco chuvas devido a problemas nos pluviogramas no ano de 1997/1998. Contudo, foi no El Niño 1997/1998 que se obteve o maior valor absoluto de EI_{30} de chuvas individuais (2.586 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹), que ocorreu na data de 11/04/1998, durante a época do repique do fenômeno, de acordo com Fontana & Berlatto (1997). O ano de menor EI_{30} acumulado anual (5.559,5 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹) foi no El Niño de 2004/2005, classificado como de intensidade fraca (Quadro 2). Resultados similares foram encontrados para Jaguarão (RS), onde o potencial erosivo foi maior nos anos de El Niño e no período que vai de novembro a abril (Santos et al., 2006).

Nos anos de La Niña, o ano de maior índice EI_{30} anual foi o de 2000/2001, classificado como intensidade fraca, com 11.054,4 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹. Esse mesmo evento foi o que apresentou o maior EI_{30} médio anual de chuvas individuais (220,1 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹) e o maior valor absoluto (1.780,1 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹) de EI_{30} em anos de La Niña, que ocorreu em 11/12/2000. A maior erosividade das chuvas em La Niña fraca, comparada com La Niña moderada e forte, está associada ao decréscimo do número e de intensidade de eventos de chuva quando a fase negativa do ENOS é moderada ou forte.

Quadro 2. Estatísticas do índice de erosividade EI_{30} das chuvas individuais erosivas nos anos de ocorrência do fenômeno El Niño Oscilação Sul, em Santa Maria, RS, período 1979–2008

| Evento e ano | EI_{30} (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹) | | | | |
|--------------|---|----------------------|----------------------------|-------------------|-----------------------|
| | Total ⁽¹⁾ | Média ⁽²⁾ | Maior valor ⁽³⁾ | DP ⁽⁴⁾ | CV ⁽⁵⁾ (%) |
| El Niño | | | | | |
| 1986 - 1987 | 8403,3 | 147,4 | 1442,3 (FEV) | 224,2 | 152,1 |
| 1987 - 1988 | 6769,2 | 188,0 | 971,4 (DEZ) | 226,1 | 120,2 |
| 1991 - 1992 | 5762,7 | 144,1 | 818,7 (DEZ) | 173,1 | 120,2 |
| 1997 - 1998 | 12425,0 | 188,8 | 2586,0 (ABR) | 352,8 | 186,8 |
| 2002 - 2003 | 16115,5 | 219,9 | 1156,2 (JAN) | 255,9 | 116,4 |
| 2004 - 2005 | 5559,5 | 173,7 | 1142,0 (ABR) | 225,5 | 129,8 |
| 2006 - 2007 | 6753,1 | 177,7 | 1050,4 (OUT) | 208,9 | 117,6 |
| La Niña | | | | | |
| 1984 - 1985 | 8784,3 | 179,3 | 1215,1 (JAN) | 220,6 | 123,1 |
| 1988 - 1989 | 6227,1 | 197,6 | 990,7 (MAR) | 240,3 | 121,6 |
| 1998 - 1999 | 6632,2 | 165,8 | 971,1 (JAN) | 207,0 | 124,9 |
| 1999 - 2000 | 8839,3 | 176,8 | 1065,2 (JAN) | 254,3 | 143,9 |
| 2000 - 2001 | 11054,4 | 220,1 | 1780,1 (DEZ) | 314,9 | 143,1 |
| 2007 - 2008 | 3399,2 | 99,9 | 509,1 (SET) | 124,0 | 124,0 |
| Neutro | | | | | |
| 1979 - 1980 | 5972,1 | 497,7 | 771,5 (OUT) | 222,3 | 145,2 |
| 1980 - 1981 | 6554,9 | 546,2 | 1788,2 (JAN) | 399,6 | 231,7 |
| 1985 - 1986 | 7566,6 | 687,9 | 1869 (MAI) | 362,8 | 230,7 |
| 1989 - 1990 | 6686,9 | 557,2 | 576,4 (FEV) | 127,2 | 96,9 |
| 1990 - 1991 | 8727,5 | 793,4 | 1595,2 (ABR) | 295,5 | 152,4 |
| 1992 - 1993 | 6048,4 | 504,0 | 653,1 (MAI) | 146,4 | 108,9 |
| 1993 - 1994 | 11340,3 | 1134,0 | 2174,9 (MAI) | 453,3 | 138,3 |
| 1996 - 1997 | 6428,7 | 584,4 | 1222,5 (DEZ) | 228,6 | 149,4 |
| 2001 - 2002 | 10448,3 | 870,7 | 865,2 (MAR) | 230,3 | 102,5 |
| 2003 - 2004 | 7570,4 | 688,2 | 1760,2 (MAR) | 389,8 | 164,8 |
| 2005 - 2006 | 6032,7 | 502,7 | 1197,1 (DEZ) | 250,2 | 165,9 |

⁽¹⁾ Total acumulado anual. ⁽²⁾ Média anual das chuvas individuais. ⁽³⁾ Maior e menor valor absoluto anual das chuvas individuais erosivas e, entre parênteses, o mês em que ocorreu. ⁽⁴⁾ Desvio-padrão da média anual das chuvas individuais. ⁽⁵⁾ Coeficiente de variação da média anual das chuvas individuais.

O valor médio anual do EI_{30} é um parâmetro usado na equação universal de perdas de solo, denominado fator R (Wischmeier & Smith, 1978). Considerando a média dos anos de El Niño, La Niña e Neutros para a variável EI_{30} médio anual, os anos Neutros e de El Niño foram os que tiveram a maior média (180,8 e 180,5 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹, respectivamente) comparado a La Niña (176,8 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹). Esses resultados indicam que o potencial erosivo médio das chuvas nos anos Neutros é similar aos anos de anomalia positiva da TSM, apesar de o número e o total de chuvas serem maiores nos anos de El Niño. Como os anos Neutros e de El Niño são em maior número do que os anos de La Niña, a implicação prática desses resultados é que a preocupação com práticas conservacionistas deve ser uma prioridade constante nesse local.

Considerando a variabilidade do EI_{30} (Quadro 2), constata-se que, em média, nos anos Neutros o coeficiente de variação é maior (153,3 %) do que em anos de El Niño (134,4 %) e La Niña (130,1 %). Os anos Neutros apresentaram também o maior desvio-padrão (282,3 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹), seguido de anos de El Niño (278,1 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹) e La Niña (226,9 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹). A maior variabilidade do EI_{30} em anos Neutros pode ser explicada pela variedade de sistemas atmosféricos que causam chuva nessa região, onde ocorrem chuvas frontais e convectivas. Em anos de ENOS, o fenômeno se sobrepõe aos sistemas atmosféricos, enquanto nos anos Neutros a ação desses sistemas formadores de chuva não sofre efeito do ENOS e, assim, eles manifestam-se com mais intensidade, causando grande variabilidade na chuva. Essa maior variabilidade do potencial erosivo das chuvas na região de Santa Maria em anos Neutros tem implicações importantes para a agricultura, pois nesses anos pode haver perdas significativas de solo e água dos agroecossistemas. Por outro lado, é interessante notar que nos anos Neutros pode ocorrer redução significativa de produtividade nas culturas de verão milho e soja no Rio Grande do Sul, devido à deficiência hídrica no solo causada pela baixa e irregular precipitação, como aconteceu nos verões de 1944/1945 (sete meses consecutivos de deficiência hídrica, a partir de novembro de 1944, Buriol et al., 1977) e 2003/2004

e 2005/2006 (Alberto et al., 2006). A variação da precipitação pluvial é uma característica marcante do clima do Rio Grande do Sul (Buriol et al., 2006).

Com relação à distribuição de frequência do EI_{30} das chuvas individuais (Quadro 3), observa-se que, comparado aos anos Neutros, nos anos de El Niño 40 % das chuvas foram classificadas como de alto índice de erosividade (tercil superior) e 28 % como de baixo índice (tercil inferior). Em anos de La Niña, a distribuição de frequência é de aproximadamente um terço em cada tercil de índice de erosividade (Quadro 3), ou seja, similar à dos anos Neutros.

Nos diagramas de caixa para o índice de erosividade EI_{30} das chuvas individuais representados na figura 1, onde se tem, por exemplo, para a probabilidade de 90 %, em 90 % dos casos o EI_{30} está abaixo dos valores correspondentes aos valores indicados pela extremidade superior da barra, observa-se que as probabilidades de 50 % (mediana) e 90 % são maiores em anos de La Niña. Em anos de El Niño, as probabilidades de 75, 25 e 10 % são maiores do que em anos de La Niña e Neutros. A probabilidade de 10 % é similar para anos de La Niña e Neutros e menor que em anos de El Niño, indicando que, na maioria das vezes, há menor precipitação ou precipitações de baixa intensidade em anos de La Niña ou Neutros, a ponto das chuvas individuais não causarem erosão ou terem baixo índice erosivo quando comparado com anos de El Niño (Figura 1).

Observam-se ainda muitos valores extremos superiores nos anos do fenômeno ENOS e mais ainda em anos Neutros. Essa distribuição do índice erosivo pode estar associada à irregularidade na distribuição da precipitação no Rio Grande do Sul, e particularmente em Santa Maria nos meses de verão, principalmente em anos Neutros (Alberto et al., 2006). Tal irregularidade na distribuição da precipitação, já fez com que em anos Neutros a precipitação fosse menor que em anos de La Niña, como aconteceu em 2003/2004 (Streck et al., 2008). No entanto, embora em anos Neutros a precipitação pluvial seja menor, essas chuvas podem ter alto índice de erosividade, como evidenciado pelos vários extremos superiores, quando comparado com anos de El Niño (Figura 1).

Quadro 3. Tabela de contingência do índice de erosividade EI_{30} das chuvas individuais erosivas em Santa Maria, RS, período 1979–2008, em tercis para as fases do fenômeno El Niño Oscilação Sul. Números entre parênteses correspondem à percentagem do número de casos ocorridos

| Fases do ENOS | Tercis do índice de erosividade EI | | | Total | Média anual |
|---------------|------------------------------------|------------|------------|-------|-------------|
| | Inferior | Médio | Superior | | |
| El Niño | 96 (28 %) | 109 (32 %) | 133 (40 %) | 338 | 48 |
| Neutro | 154 (33 %) | 150 (33 %) | 156 (34 %) | 460 | 42 |
| La Niña | 83 (32 %) | 81 (32 %) | 93 (36 %) | 257 | 43 |
| Total | 333 | 340 | 382 | 1.055 | |

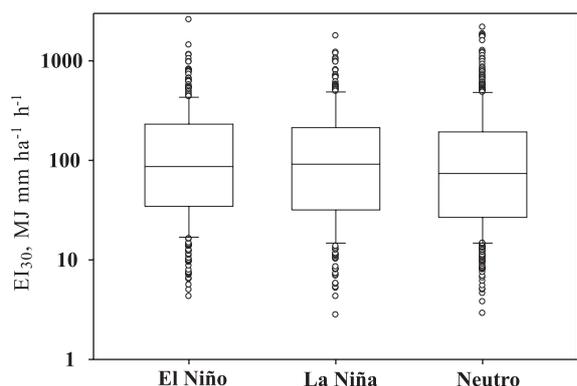


Figura 1. Distribuição do índice de erosividade EI_{30} das chuvas individuais no período de 1979 a 2008, associado aos eventos El Niño e La Niña e anos Neutros, para Santa Maria, RS. A linha cheia horizontal, no interior do quadro, representa o percentil de 50 (mediana); os extremos inferior e superior representam os percentis de 25 e 75, respectivamente; as barras representam os percentis de 10 e 90, e os pontos, os valores extremos.

Analisando o padrão de chuvas erosivas individuais como avançado, intermediário e atrasado (Quadro 4), verifica-se que em todos os anos o maior número de chuvas erosivas individuais (564 chuvas) foi classificado no padrão avançado, seguido dos padrões intermediário (264 chuvas) e atrasado (227 chuvas). Esses resultados concordam, em parte, com os obtidos por Mehl et al. (2001) para Santa Maria. Esses autores verificaram que o número de chuvas erosivas individuais foi maior no padrão avançado (551 chuvas), mas o padrão de chuva atrasado teve maior número de chuvas erosivas individuais que o padrão intermediário.

Das 338 chuvas erosivas individuais em anos de El Niño (Quadro 4), 190 (56 %) foram classificadas em padrão avançado, 76 (23 %) em padrão intermediário e 72 (21 %) em padrão atrasado, o que representa, em média, 27, 11 e 10 chuvas erosivas por ano em cada padrão, respectivamente. Para anos de La Niña, foram 257 chuvas erosivas individuais, das quais 134 (52 %) foram classificadas no padrão de chuva avançado, 65 (25 %) em padrão intermediário

Quadro 4. Padrão de chuvas erosivas avançado, intermediário e atrasado em anos de El Niño, La Niña e Neutros em Santa Maria, RS, período 1979–2008

| Evento e ano | Padrão de chuvas erosivas | | | | |
|----------------|---------------------------|---------------|----------|-------|-------|
| | Avançado | Intermediário | Atrasado | Total | Média |
| El Niño | | | | | |
| 1986 - 1987 | 39 | 8 | 10 | 57 | 19 |
| 1987 - 1988 | 23 | 5 | 8 | 36 | 12 |
| 1991 - 1992 | 21 | 12 | 7 | 40 | 13 |
| 1997 - 1998 | 34 | 17 | 11 | 62 | 21 |
| 2002 - 2003 | 37 | 18 | 18 | 73 | 24 |
| 2004 - 2005 | 20 | 7 | 5 | 32 | 11 |
| 2006 - 2007 | 16 | 9 | 13 | 38 | 13 |
| Total | 190 | 76 | 72 | 338 | |
| Média | 27 | 11 | 10 | | 16 |
| La Niña | | | | | |
| 1984 - 1985 | 24 | 16 | 9 | 49 | 16 |
| 1988 - 1989 | 22 | 7 | 2 | 31 | 10 |
| 1998 - 1999 | 18 | 9 | 13 | 40 | 13 |
| 1999 - 2000 | 22 | 12 | 16 | 50 | 17 |
| 2000 - 2001 | 33 | 10 | 10 | 53 | 18 |
| 2007 - 2008 | 15 | 11 | 8 | 34 | 11 |
| Total | 134 | 65 | 58 | 257 | |
| Média | 22 | 11 | 10 | | 14 |
| Neutro | | | | | |
| 1979 - 1980 | 17 | 12 | 10 | 39 | 13 |
| 1980 - 1981 | 23 | 4 | 11 | 38 | 13 |
| 1985 - 1986 | 24 | 16 | 8 | 48 | 16 |
| 1989 - 1990 | 29 | 12 | 10 | 51 | 17 |
| 1990 - 1991 | 23 | 16 | 6 | 45 | 15 |
| 1992 - 1993 | 23 | 13 | 9 | 45 | 15 |
| 1993 - 1994 | 15 | 11 | 8 | 34 | 11 |
| 1996 - 1997 | 22 | 12 | 8 | 42 | 14 |
| 2001 - 2002 | 22 | 13 | 11 | 46 | 15 |
| 2003 - 2004 | 20 | 9 | 3 | 32 | 11 |
| 2005 - 2006 | 22 | 5 | 13 | 40 | 13 |
| Total | 240 | 123 | 97 | 460 | |
| Média | 22 | 11 | 9 | | 14 |

e 58 (23 %) em padrão atrasado, representando, em média, 22, 11 e 10 chuvas por ano em cada padrão, respectivamente. Das 460 chuvas erosivas individuais ocorridas nos anos Neutros, 240 (52 %) foram chuvas no padrão avançado, 123 (27 %) no padrão intermediário e 97 (21 %) no padrão atrasado, correspondendo a uma média de 22, 11 e 9 chuvas por ano em cada padrão, respectivamente. Esses resultados indicam que nos anos de El Niño há aumento nas chuvas de padrão avançado. No padrão intermediário, decresce o número de chuvas em anos de El Niño e La Niña, comparado com anos Neutros. Esses resultados concordam, em parte, com os de Cogo et al. (2006) no período de 1963 a 2000, sem levar em consideração anos do fenômeno ENOS. Chama a atenção, nesses resultados, o aumento, embora pequeno, das chuvas com padrão atrasado nos anos de La Niña, pois, nesse tipo de padrão, são esperadas maiores perdas de solo, em razão de a desagregação ser favorecida e da menor capacidade de infiltração em solo úmido (Flanagan et al., 1988; Eltz et al., 2001). Em anos de El Niño, o aumento de chuvas no padrão avançado pode contrabalançar, em parte, as perdas de solo de chuvas mais erosivas (Eltz et al., 2001).

A correlação e a regressão entre o EI_{30} e o ION não foram significativas nas diferentes combinações testadas. Isso significa que uma possível previsão do EI_{30} das chuvas erosivas individuais a partir do ION, nessas condições, é difícil ou não é possível, uma vez que valores similares de EI_{30} aconteceram com diferentes valores de ION. Esses resultados indicam que o potencial erosivo das chuvas pode estar relacionado a outros padrões espaciais e temporais que afetam o tempo e o clima no Rio Grande do Sul além do ENOS, como os fenômenos de escala temporal rápida, como os sistemas frontais, e de escala intrassazonal, como o Modo Sul (Cera & Ferraz, 2008), já que foi relatado anteriormente que, para a região Nordeste do Brasil, a variação no regime de chuvas é consequência da atuação de diversos sistemas meteorológicos, a exemplo da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Perturbações Ondulatórias nos Alísios (POA) ou Linhas de Instabilidade, Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) e Frentes Frias (FF) ou Sistemas Frontais (SF) (Santos et al., 2008).

Os resultados deste trabalho complementam o trabalho anteriormente realizado por Amado et al. (2002), os quais usaram uma série pequena de precipitação (1993-2000). Como a variabilidade e os ciclos de maior e menor precipitação em escala mensal, sazonal, interanual e até “decadal” são uma característica marcante do regime pluviométrico de chuvas no RS (Buriol et al., 2006), quanto mais longa for a série de dados usados, melhor caracterizada será a variabilidade, o que é importante no planejamento das atividades agrícolas, especialmente ligadas ao manejo do solo.

CONCLUSÕES

1. O potencial erosivo das chuvas em Santa Maria é alterado pelo fenômeno ENOS. Um maior número de chuvas tem maior potencial erosivo em anos Neutros e de El Niño, com 156 e 133 chuvas erosivas, respectivamente, comparado com 93 chuvas erosivas em anos de La Niña.
2. A variabilidade do potencial erosivo das chuvas na região de Santa Maria é maior (coeficiente de variação de 153,3 %) nos anos Neutros do que nos anos de anomalia da TSM.
3. O padrão das chuvas é alterado em anos de anomalia da TSM. Nos anos de El Niño há aumento nas chuvas de padrão avançado (190 chuvas) e em anos de La Niña há aumento nas chuvas de padrão atrasado (58 chuvas), ao passo que no padrão intermediário o número de chuvas é menor em anos de El Niño e La Niña (76 e 65 chuvas, respectivamente), comparado com os anos Neutros, que apresentaram 123 chuvas.
4. A capacidade preditiva do potencial erosivo das chuvas em Santa Maria pelo índice ION é fraca.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao 8º Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia, por fornecer os pluviogramas.

LITERATURA CITADA

- ALBERTO, C.M.; STRECK, N.A.; HELDWEIN, A.B.; BURIOL, G.A. & MEDEIROS, S.L.P. Água no solo e rendimento do trigo, soja e milho associados ao El Niño Oscilação Sul. *Pesq. Agropec. Bras.*, 41:1067-1075, 2006.
- AMADO, T.J.C.; PROCHNOW, D. & ELTZ, F.L.F. Perdas de solo e água em períodos de anomalias climáticas: El Niño e La Niña no sul do Brasil. *R. Bras. Ci. Solo*, 26:819-827, 2002.
- BERLATO, M.A. & FONTANA, D.C. El Niño e La Niña: Impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul; Aplicações de previsões climáticas na agricultura. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003. 110p.
- BERLATO, M.A.; FARENZENA, H. & FONTANA, D.C. Associação entre El Niño Oscilação Sul e a produtividade do milho no Estado do Rio Grande do Sul. *Pesq. Agropec. Bras.*, 40:423-432, 2005.
- BURIOL, G.A.; ESTEFANEL, V.; SWAROWSKY, A.; D'AVILA, R.F. & HELDWEIN, A.B. Homogeneidade e estatísticas descritivas dos totais mensais e anuais de chuva de Santa Maria, Estado do Rio Grande do Sul. *R. Bras. Recur. Hidr.*, 11:89-97, 2006.

- CABEDA, M.S.V. Computation of storm EI values. West Lafayette, Purdue University, 1976. 6p.
- CARMONA, L.C. & BERLATO, M.A. El Niño e La Niña e o rendimento do arroz irrigado no Estado do Rio Grande do Sul. R. Bras. Agrometeorol., 10:147-152, 2002.
- CERA, J.C. & FERRAZ, S.E.T. Variabilidade interdecadal dos eventos chuvosos do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA. 15., São Paulo, 2008. Anais. São Paulo, Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2008. CD-ROM.
- COGO, C.M.; ELTZ, F.L.F. & CASSOL, E.A. Erosividade das chuvas em Santa Maria, RS, determinada pelo índice EI₃₀. R. Bras. Agrometeorol., 14:309-317, 2006.
- ELTZ, F.L.F.; COGO, N.P. & MIELNICZUK, J. Perdas por erosão em diferentes manejos de solos e coberturas vegetais em solo Laterítico Bruno Avermelhado distrófico (São Jerônimo). I. Resultados do primeiro ano. R. Bras. Ci. Solo, 1:123-127, 1977.
- ELTZ, F.L.F.; MEHL, H.U. & REICHERT, J.M. Perdas de solo e água em entressulcos em um Argissolo Vermelho-Amarelo submetido a quatro padrões de chuva. R. Bras. Ci. Solo, 25:485-493, 2001.
- FLANAGAN, D.C.; FOSTER, G.R. & MOLDENHAUER, W.C. Storm pattern effect on infiltration, runoff and erosion. Trans. Am. Soc. Agric. Eng., 31:414-420, 1988.
- FONTANA, D.C. & BERLATO, M.A. Influência do El Niño Oscilação Sul sobre a precipitação pluvial no Estado do Rio Grande do Sul. R. Bras. Agrometeorol., 5:127-132, 1997.
- FOSTER, G.R.; McCOOL, D.K.; RENARD, G. & MOLDENHAUER, W.C. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. J. Soil Water Conserv., 36:355-359, 1981.
- GRIMM, A.; FERRAZ, S.E.T. & GOMES, J. Precipitation anomalies in Southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. J. Climate, 11:2863-2880, 1998.
- GOLDEN GATE WEATHER SERVICES. ENSO Years based on Oceanic Niño Index (ONI). Disponível em: <<http://ggweather.com/enso/oni.htm>> Acesso em: 15 de nov. de 2008.
- HICKMANN, C.; ELTZ, F.L.F.; CASSOL, E.A. & COGO, C.M. Erosividade das chuvas em Uruguaiana, RS, determinada pelo índice EI₃₀, com base no período de 1963 a 2001. R. Bras. Ci. Solo, 32:825-831, 2008.
- HORNER, W.W. & JENS, S.W. Surface runoff determination from rainfall without using coefficients. Trans. Am. Soc. Civil Eng., 107:1039-1117, 1941.
- MEHL, H.U.; ELTZ, F.L.F.; REICHERT, J.M. & DIDONÉ, I.A. Caracterização de padrões de chuvas ocorrentes em Santa Maria (RS). R. Bras. Ci. Solo, 25:475-483, 2001.
- MORAIS, L.F.B.; MUTTI, L.S.M. & ELTZ, F.L.F. Relações entre características físicas da chuva e perdas de solo no Rio Grande do Sul. R. Bras. Ci. Solo, 15:285-288, 1988.
- MORENO, J.A. Clima do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Secretaria da Agricultura, 1961. 46p.
- NOAA. ENSO: Cold and warm episodes by season. Disponível em: <http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis_monitoring/insostuff/ensoyears.shtml> Acesso em: 20 de set. de 2008.
- SANTOS, C.N.; LAGO, J.C. & MOREIRA, A.C. El Niño, La Niña e a erosividade das chuvas do município de Jaguarão-RS. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS, 15., Pelotas, 2006. Resumos. Disponível em: <http://www.ufpel.edu.br/cic/2006/arquivos/conteudo_CA.html>
- SANTOS, E.B.; MOLION, L.C.B.; BARRETO, N.J.C. & SIQUEIRA, A.H.B. Variações interdecadais da temperatura da superfície do oceano Pacífico e sua relação com o total mensal de chuva do Ceará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 15., São Paulo, 2008. Anais. São Paulo, Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2008. CD-ROM.
- STRECK, N.A.; ROSA, H.T.; WALTER, L.C.; BOSCO, L.C.; LAGO, I. & HELDWEIN, A.B. O fenômeno El Niño oscilação sul e a variabilidade interanual da evaporação do tanque classe A e da umidade relativa do ar em Santa Maria, RS. Ci. Rural, 38:1452-1455, 2008.
- TUBELIS, A. & NASCIMENTO, F.J.L. Meteorologia descritiva: Fundamentos e aplicações brasileiras. São Paulo, Nobel, 1980. 374p.
- WISCHMEIER, W.H. A rainfall erosion index for a universal soil-loss equation. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 23:246-249, 1959.
- WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. Washington, United States Department of Agriculture, 1978. 58p. (Agriculture Handbook, 537).