

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**O FENÔMENO EL NIÑO OSCILAÇÃO SUL
E A EROSIVIDADE DAS CHUVAS EM
SANTA MARIA – RS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Gizelli Moiano de Paula

Santa Maria, RS, Brasil

2009

**O FENÔMENO EL NIÑO OSCILAÇÃO SUL E A
EROSIVIDADE DAS CHUVAS EM SANTA MARIA – RS**

por

Gizelli Moiano de Paula

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de concentração Engenharia de Água e Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS),
como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Agrícola

Orientador: Prof. Nereu Augusto Streck

Santa Maria, RS, Brasil

2009

P324f Paula, Gizelli Moiano de, 1980-
O fenômeno El Nino oscilação sul e a erosividade das chuvas em Santa maria, RS. / por Gizelli Moiano de Paula ; orientador Nereu Augusto Streck. - Santa Maria, 2009. 51 f. ; il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2009.

1. Engenharia agrícola 2. Índice de erosividade 3. ENOS 4. Potencial erosivo 5. Padrões de chuva I. Streck, Nereu Augusto, orient. II. Título

CDU: 631.459

Ficha catalográfica elaborada por
Luiz Marchiotti Fernandes – CRB 10/1160
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais/UFSM

© 2009

Todos os direitos autorais reservados a Gizelli Moiano de Paula. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita com autorização por escrito do autor.

Endereço: Cel. Niederauer, 747, apt 206, Santa Maria, RS, CEP: 97105-121

Fone; (55) 91012353. E – mail: gizellidepaula@gmail.com

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**O FENÔMENO EL NIÑO OSCILAÇÃO SUL E A EROSIVIDADE
DAS CHUVAS EM SANTA MARIA – RS**

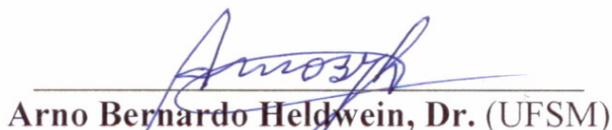
elaborada por
Gizelli Moiano de Paula

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Agrícola

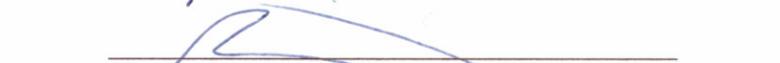
COMISSÃO EXAMINADORA:



Nereu Augusto Streck, PhD.
(Presidente/Orientador)



Arno Bernardo Heldwein, Dr. (UFSM)


Simone Erotildes Teleginski Ferraz, Dr^a. (UFSM)

Santa Maria, 19 de fevereiro de 2009.

**Dedico com muito amor às pessoas mais importante da
minha vida, Thiago meu esposo e Conrado meu filho,
por esses dois anos de compreensão.**

AGRADECIMENTOS

A Deus por me dar força e luz pra chegar onde tanto almejo com dignidade e humildade.

Ao Thiago por ser esse companheiro de todas as horas, compreensivo e meu grande incentivador, obrigada pelo seu amor.

Ao Conrado, minha razão de viver, obrigada meu filho, você tão pequeno soube compreender muitas vezes minha ausência.

A minha mãe Ana por me ensinar que sempre há um amanhã.

Aos meus pais de coração Décio e Maira por acreditarem mais em mim do que eu mesma e pela força e amor dedicados a mim por todos esses anos.

Ao amor incondicional de meus irmãos Diego e Daiara oferecido a mim.

Aos meus sogros Claudete e Ernani Araujo e a minha cunhada Luciana, por terem me acolhido como uma filha.

Ao meu orientador, professor Nereu Augusto Streck, pois além de ser um excelente orientador, transmitindo seus conhecimentos, é um grande amigo.

Ao professor Arno Heldwein por ser um grande mestre e amigo.

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade da realização do mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de mestrado.

Aos amigos Leosane e Edénir pela amizade, atenção e a partilha comigo de seus conhecimentos.

À Isabel, Hamilton, Lidiane e Cleber por todas as vezes que pedi ajuda e fui atendida.

Ao amigo Alencar Zanon pelo grande auxílio na coletas de dados de precipitação dos pluviogramas de 24 anos, trabalho nada trivial e sua ajuda foi crucial para finalização desse projeto, obrigada.

A todos os amigos do Departamento de Fitotecnia pela amizade em especial ao meu amigo Ivan Maldaner pelo coleguismo e caminhada desde a graduação em Agronomia.

A todos meus amigos que torceram por mim durante esses dois anos, em especial, minhas amigas de coração Gislene Nicolodi e Bibiana Moraes, ficam aqui a todos meus sinceros agradecimentos.

**Existem pessoas que lutam um dia
e são boas,
Existem outras que lutam muitos anos
e são melhores,
Porém, existem aquelas que lutam por toda a vida...
Ah, estas sim são as imprescindíveis.**

(autor desconhecido)

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

O FENÔMENO EL NIÑO OSCILAÇÃO SUL E A EROSIVIDADE DAS CHUVAS EM SANTA MARIA, RS

AUTORA: Gizelli Moiano de Paula

ORIENTADOR: Nereu Augusto Streck

Local e data da defesa: Santa Maria, 19 de fevereiro de 2009.

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 fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS). O ENOS provoca alterações na circulação atmosférica que afetam os elementos meteorológicos, principalmente a precipitação pluviométrica, em todas as regiões do Brasil. Em anos de El Niño, fase positiva do fenômeno, a precipitação pluviométrica é frequentemente acima da normal na Região Sul do Brasil e em anos de La Niña, fase negativa do fenômeno, a precipitação pluviométrica é frequentemente abaixo da normal. Algumas características das precipitações pluviométricas são afetadas pelo ENOS como a frequência, a intensidade e a quantidade. Essas características são importantes para se definir se as chuvas são erosivas. Existem alguns métodos de determinação da erosividade das chuvas, através de índices de erosividade, entre os quais, o melhor e mais usado no Rio Grande do Sul (RS) é o Índice de Erosividade EI_{30} . O objetivo desta dissertação foi determinar e associar o Índice de Erosividade EI_{30} das chuvas com o fenômeno ENOS para Santa Maria, RS. Usaram-se os dados de precipitação diária retirados de pluviogramas a partir de 01 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 calculado o seu índice EI_{30} . Também foram classificadas as chuvas em padrões de chuvas Avançado, Intermediário e Atrasado. Foi realizada a análise de correlação de Pearson e análise de regressão entre o Índice de Erosividade EI_{30} e o Índice Oceânico do Niño (ION) e a significância da regressão foi testada com o teste t com o objetivo 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. O potencial erosivo das chuvas em Santa Maria é afetado pelo fenômeno ENOS, de modo que um 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. A distribuição de frequência do índice de erosividade EI_{30} de chuvas individuais é assimétrica positiva em anos de El Niño, La Niña e Neutros. O padrão das chuvas é alterado em anos de anomalia da TSM no sentido de que nos anos El Niño há um leve acréscimo nas chuvas de padrão avançado e em anos de La Niña há um leve acréscimo nas chuvas de padrão atrasado, e no padrão intermediário, decrescem o número de chuvas em anos de El Niño e La Niña comparado com anos Neutros. A capacidade preditiva do potencial erosivo das chuvas em Santa Maria pelo Índice ION é fraca ou inexistente.

Palavras-chaves: índice de erosividade; ENOS; potencial erosivo; padrões de chuva.

ABSTRACT

Master of Science Dissertation
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

THE EL NIÑO SOUTHERN OSCILATION AND THE RAINFALL EROSIIVITY IN SANTA MARIA, RS

AUTHOR: Gizelli Moiano de Paula

ADVISOR: Nereu Augusto Streck

Location and date of presentation: Santa Maria, Frebruary 19th, 2009

A large-scale phenomenon that greatly affects the weather and the climate of different locations of the Globe and that has been widely studied during the last three decades is the El Niño Southern Oscilation (ENSO). ENSO leads to changes in the atmospheric circulation and affects climate variables, mainly rainfall, in all regions of Brazil. During El Niño years (the positive phase of ENSO), rainfall is often above normal in Southern Brazil whereas during La Niña years (the negative phase of ENSO), rainfall is often below normal. Some of the rainfall properties are affected by ENSO like frequency, intensity and amount. These properties are important to define if rainfall events are erosive. There are some methods of determining rainfall erosivity, among them the best and most used in Rio Grande do Sul State is the EI₃₀ erosivity index. The objective of this dissertation was to determine and associate the EI₃₀ erosivity index of rainfalls with the ENSO phenomenon in Santa Maria, RS, Brazil. Daily precipitation data recorded from 01 July 1978 to 30 July 2008 collected in a standard Climatological 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 had their EI₃₀ calculated. Rainfalls were also grouped into three patterns: Advanced, Intermediate and Delayed. Pearson correlation and regression analyses between the EI₃₀ erosivity index and the Niño Oceanic Index (NOI) were performed and the regression was tested with the t test in order to quantify the relationship between the two variables, aiming a possible predictability of the erosion potential of rainfall events from 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 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 frequency distribution of the EI₃₀ erosivity index is skewed to the right in El Niño, La Niña and Neutral years. Rainfalls pattern is changed in years with SST anomalies, so that there is a slight increase in Advanced rainfalls during El Niño years and a slight decrease in Delayed rainfalls 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 from NOI index is weak or not possible.

Key words: erosivity index; ENSO; erosion potential; rainfall pattern.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Fases do fenômeno ENOS, El Niño (fase quente) e La Nina (fase fria), as setas indicam a direção dos ventos. Fonte: Joint Institute for the Study of the Atmosphere and Ocean (2008).....	16
FIGURA 2 – Regiões do Oceano Pacífico onde é feito o monitoramento da Temperatura da Superfície do Mar (TSM). Fonte: Golden Gate Weather Services (20.....	17
FIGURA 3 – Fases da Oscilação Decadal do Pacífico, as setas indicam a direção dos ventos. Fonte: Joint Institute for the Study of the Atmosphere and Ocean (2008).....	19
FIGURA 4 – Fases da ODP no período de 1900 a 2000. Fonte: MOLION (2005).....	20
FIGURA 5 – Distribuição do Índice de Erosividade EI_{30} das chuvas individuais no período de 1979 a 2008 associados aos eventos El Niño e La Niña, e anos Neutros, para Santa Maria, RS. A linha cheia horizontal, no interior das caixas, representa o percentil de 50 (mediana); o final das caixas representa os percentis de 25 e 75; as barras representam os percentis 10 e 90 e os pontos representam os valores extremos.....	35

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Critérios para classificar a intensidade do fenômeno ENOS usados no estudo.....	28
TABELA 2 – Classificação, intensidade e duração (meses) do fenômeno ENOS nos diferentes anos usados no estudo.....	31
TABELA 3 – Estatísticas do Índice de Erosividade EI_{30} das chuvas erosivas nos anos de ocorrência do fenômeno ENOS, em Santa Maria, RS, período 1979 – 2008.....	33
TABELA 4 – Tabela de contingência do Índice de Erosividade EI_{30} das chuvas individuais em Santa Maria, RS, período 1979 – 2008, em tercís para as fases do fenômeno ENOS. Número entre parêntese corresponde à porcentagem do número de casos ocorridos.....	34
TABELA 5 – Padrão de chuvas erosivas avançado, intermediário e atrasado em anos de El Niño, La Niña e Neutros, em Santa Maria, RS, período 1979 – 2008.....	38
TABELA 6 – Índice de Erosividade (EI_{30}) médio anual nos eventos El Niño, La Niña e anos Neutros durante uma fase quente e fria da Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), Santa Maria, RS, período 1979 – 2008.....	39

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A – Relação entre o Índice de Erosividade EI_{30} e a precipitação das chuvas erosivas nas datas com problemas de registro nos pluviogramas: (a) Anos de El Niño; (b) Anos de La Niña e (c) Anos Neutro.....	50
APÊNDICE B – Histogramas de distribuição da frequência das chuvas erosivas individuais nas classes do Índice de Erosividade EI_{30} em (a) anos de El Niño, (b) anos de La Niña e (c) anos Neutros, em Santa Maria, RS, período 1978 – 2008.....	51
APÊNDICE C – Relação entre o Índice de erosividade EI_{30} mensal e o Índice Oceânico do Niño (ION) mensal, em Santa Maria RS, período 1979 – 2008.....	52
APÊNDICE D – Relação entre o valor máximo absoluto do Índice de erosividade EI_{30} e o valor máximo do Índice Oceânico do Niño (ION), período 1979 – 2008, em Santa Maria, RS.....	53

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 O Fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS).....	15
2.2 Oscilação Decadal do Pacífico	18
2.3 Precipitação Pluviométrica (Chuva).....	21
2.4 Chuvas Erosivas e Índice de Erosividade.....	23
3 MATERIAL E MÉTODOS	27
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
5 CONCLUSÕES.....	40
6 RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS	41
7 BIBLIOGRAFIAS	42
8 APÊNDICES	49

1 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 fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS). O ENOS se caracteriza por alterações ou anomalias da temperatura da superfície do mar (TSM) na região do Pacífico Equatorial, próximo à Costa Oeste da América do Sul. 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, onde 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).

A precipitação pluviométrica é o processo pelo qual a água condensada na atmosfera atinge gravitacionalmente a superfície terrestre (TUBELIS; NASCIMENTO, 1980). O fenômeno ENOS afeta a precipitação pluviométrica, na região Sul do Brasil, alterando as suas características físicas, como a frequência, a intensidade e a quantidade (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 grau de umidade do solo se mantiver alto, a possibilidade dessas chuvas serem erosivas é eminente mesmo com baixa intensidade (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

A erosão do solo provocada por precipitação pluviométrica (chuva) é denominada de erosão hídrica sendo as chuvas que têm capacidade em provocar erosão hídrica também chamadas de chuvas erosivas. Estas chuvas são quantificadas e expressas através de um índice de erosividade das chuvas, a qual é uma medida da capacidade do seu potencial erosivo. A erosividade das chuvas depende da intensidade com que ocorrem e da energia cinética de impacto das gotas de chuva sobre a superfície do solo e da capacidade de infiltração do solo (WISCHMEIER, 1959).

Existem vários índices de determinação da erosividade das chuvas, entre os quais o índice EI₃₀. Este índice representa o produto da energia cinética total da chuva pela intensidade máxima, em mm h⁻¹, calculada com base na quantidade máxima durante 30

minutos contínuos de chuva sendo este o índice mais usado e adequado para as condições do Rio Grande do Sul, por ter uma boa correlação linear entre a energia cinética e perdas de solo (MORAIS et al., 1988).

Há duas épocas de maior influência do ENOS sobre a precipitação pluviométrica no RS: a primeira é nos meses de outubro a dezembro e a segunda, chamada de “repique”, é nos meses de abril a junho (FONTANA; BERLATO, 1997). Segundo Eltz et al. (1977) essas épocas, por coincidirem com a semeadura e com a fase inicial de desenvolvimento das culturas de verão e inverno, respectivamente, levam a uma elevada predisposição do solo à erosão hídrica, decorrente da baixa cobertura do solo proporcionada pela reduzida presença de plantas, o que pode resultar em elevadas perdas de solo e água. Concorda com a afirmativa anterior o fato de em Uruguaiana, RS no período de 1963 a 1991, os meses de outubro a abril apresentarem 67 e 77,5 % da precipitação total anual e do índice de erosividade anual, respectivamente (HICKMANN et al., 2008). Por isso, é importante programar as atividades agrícolas para que os períodos de maiores riscos de erosão em anos do fenômeno ENOS coincidam com uma maior cobertura do solo (COGO et al., 2006).

Já que o Rio Grande do Sul está numa região que sofre bastante influência do fenômeno ENOS, foi e continua sendo necessário dispor de ferramentas que possam auxiliar no planejamento da agricultura, principalmente no manejo do solo e da água. Um dos problemas principais da agricultura é a erosão, principalmente porque ocasiona redução nos rendimentos das culturas. Por isso a necessidade de mais informações a respeito da influência do fenômeno ENOS na erosividade das chuvas se faz necessário. Assim, como existem modelos de previsões e alertas da ocorrência do fenômeno ENOS, existem também modelos que podem estimar o índice de erosividade das chuvas. Por isso é importante associar índices de erosividade das chuvas com o fenômeno ENOS, na busca de se determinar as épocas para o manejo do solo e o tipo de manejo em anos que há sinal do fenômeno, visando minimizar os impactos negativos da variabilidade climática.

Na literatura não foram encontrados trabalhos em Santa Maria que associam algum índice de erosividade das chuvas com os períodos em que há o sinal do fenômeno ENOS em vários anos. No trabalho de Amado et al. (2002), onde é associado o índice de erosividade das chuvas com anos de ENOS, são poucos os anos usados no estudo e os períodos em que os eventos de El Niño e La Niña iniciaram e terminaram são diferentes da metodologia usada por Berlato; Fontana, (2003), o que foi a motivação para a realização desse trabalho. Objetivo

desta dissertação foi determinar e associar o índice de erosividade das chuvas com o fenômeno ENOS para Santa Maria, RS.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O Fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS)

O El Niño Oscilação Sul (ENOS) é um fenômeno de grande escala que acontece na região do Oceano Pacífico Equatorial e que afeta o tempo e o clima em diversos locais do Globo Terrestre (CANE, 2001).

O ENOS é constituído de dois componentes, um oceânico e outro atmosférico. O componente oceânico é caracterizado por anomalias da temperatura das águas superficiais do Oceano Pacífico Equatorial junto à costa Oeste da América do Sul e é atualmente monitorado através da Temperatura da Superfície do Mar (TSM). O componente atmosférico, também conhecido de Oscilação Sul (OS), foi registrado na década de 20, pelo matemático Sir Walker, que expressa a correlação inversa existente entre a pressão atmosférica nos extremos leste e oeste do Oceano Pacífico, quando a pressão é alta a leste usualmente é baixa a oeste e vice e versa. O Índice de Oscilação Sul (IOS) é utilizado no monitoramento do componente atmosférico e é caracterizado por anomalias de pressão atmosférica na região de Darwin, norte da Austrália (12,4°S; 130,9°E) e do Taiti, na Polinésia Francesa (17,5°S; 149,6°W) (PHILANDER, 1990; GLANTZ, 2001).

O fenômeno também apresenta duas fases, a fase quente e a fase fria (Figura 1). A fase quente ou fase positiva do ENOS é chamada de El Niño, termo alusivo ao Menino Jesus devido ao aparecimento próximo ao Natal, da corrente marítima quente para o sul no Pacífico ao longo da costa do Peru e Equador. Caracteriza-se, assim, por um aquecimento das águas simultaneamente com a diminuição da pressão atmosférica no Pacífico leste. A fase fria ou fase negativa, chamada de La Niña, é quando ocorre um resfriamento das águas e um aumento na pressão atmosférica na região leste do Pacífico (BERLATO; FONTANA, 2003; GRIMM et al., 1998).

O fenômeno inicia no começo do segundo semestre de um ano e termina no final do primeiro semestre do ano seguinte (GRIMM et al., 2000; BERLATO; FONTANA, 2003; BERLATO et al., 2005). Existem vários critérios para se definir as fases e a intensidade do fenômeno ENOS. No critério da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), um episódio de El Niño ou La Niña é definido pelo Índice do Niño Oceânico (INO) resultante

da média móvel trimestral da anomalia da temperatura da superfície do mar (TSM). A TSM é coletada em quatro regiões do Pacífico (Figura 2) e região mais usada para pesquisa e monitoramento das águas do oceano, é a região chamada de Niño 3.4, ilustrada na Figura 2. O El Niño é caracterizado quando o índice é $\geq 0,5^{\circ}\text{C}$ e a La Niña quando o índice for $\leq -0,5^{\circ}\text{C}$ por, no mínimo, cinco meses consecutivos (NOAA, 2008).

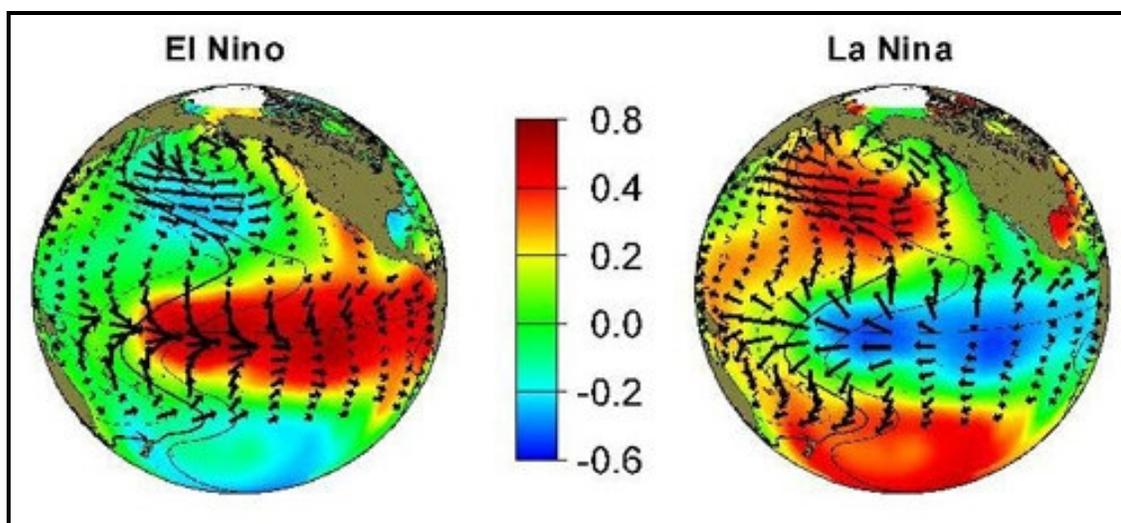


Figura 1 – Fases do fenômeno ENOS, El Niño (fase quente) e La Niña (fase fria), as setas indicam a direção dos ventos. Fonte: Joint Institute for the Study of the Atmosphere and Ocean (2008).

O fenômeno ENOS tem como região de origem o Oceano Pacífico Equatorial. Nesta região do Pacífico, em função dos ventos alísios, que sopram predominantemente de sudeste no Hemisfério Sul, há um padrão de circulação oceânica tal que, na costa da América do Sul, as águas são normalmente frias (ressurgência de águas profundas) e, no extremo oposto, região da Indonésia e costa Norte da Austrália, as águas são, em geral, quentes. Essas diferenças de temperatura das águas entre o lado leste e o oeste na bacia do Oceano Pacífico, resultam em diferenças de pressão atmosférica na superfície e em uma circulação secundária da atmosfera nesta região conhecida como célula de Walker no sentido leste-oeste, com ascensão de ar na parte oeste do Pacífico Tropical e correntes descendentes do ar. Essa circulação atmosférica faz com que a parte oeste do Oceano Pacífico seja uma região de chuvas frequentes e, de forma oposta, a parte leste, junto à costa na costa da América do Sul, seja uma região de chuvas escassas (CUNHA, 1999).

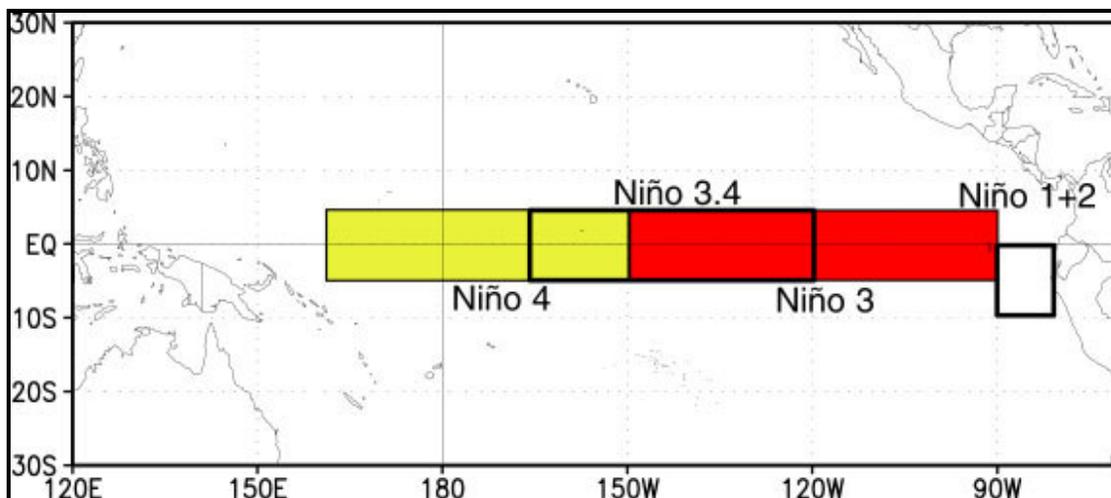


Figura 2 – Regiões do Oceano Pacífico onde é feito o monitoramento da temperatura da superfície do mar (TSM). Fonte: Golden Gate Weather Services (2008).

Em anos de El Niño, verifica-se, um enfraquecimento dos ventos alísios na região do Pacífico Equatorial. Com isso, há o deslocamento do ramo ascendente da célula de Walker para a parte central do Oceano Pacífico e as águas anormalmente quentes do Oceano Pacífico Tropical chegam a atingir a costa da América do Sul, na altura do Peru e do Equador. Assim, passa a ocorrer ascensão de ar nessa região, fazendo com que a costa da América do Sul experimente chuvas acima da normalidade. Em condições de La Niña, há uma intensificação nas condições normais do oceano e da atmosfera na região tropical do Oceano Pacífico, a célula de Walker se intensifica, os ventos alísios sopram com mais intensidade, causando um aumento no carregamento das águas quentes para oeste, resultando em chuvas abaixo da normal na costa da América do Sul (BERLATO; FONTANA, 2003).

Vários trabalhos mostram que na Região Sudeste da América do Sul que compõem Sul do Brasil, Nordeste da Argentina, Uruguai e Sul do Paraguai o fenômeno ENOS apresenta forte sinal, especialmente em relação à precipitação pluviométrica (RAO; HADA, 1990; STUZZINSKI, 1995; DIAZ et al., 1998; GRIMM et al., 1998).

No Brasil, o impacto da fase quente e da fase fria do ENOS se dá principalmente sobre a precipitação pluviométrica das Regiões Sul e Nordeste, onde em anos de El Niño, a precipitação pluviométrica fica acima da normal climatológica na Região Sul, enquanto que na Região Nordeste é abaixo da normal, já para anos de La Niña, é o contrário (GRIMM et al., 1996; OLIVEIRA; SATYAMURTY, 1998; MARENGO; OLIVEIRA, 1998; DIAZ et al., 1998; BERLATO; FONTANA, 2003).

Os resultados de análise de impactos do ENOS para várias regiões do Globo de, embora com poucos dados observados no Sul do Brasil, sugerem que em anos de El Niño ocorre um excesso de precipitação em relação à normal climatológica a partir do mês de novembro do ano de surgimento do fenômeno e estendendo-se até o mês de fevereiro do ano seguinte ao surgimento do mesmo. Resultados mostraram que em anos de La Niña, tendem a apresentar uma queda na quantidade de precipitação, sendo esta em geral inferior à normal climatológica no período que se estende de junho a dezembro (ROPELEWSKI; HALPERT, 1989).

No trabalho de Grimm et al. (1996) os estudos são similares àqueles de Ropelewski; Halpert (1987, 1989), porém usando um conjunto de dados de precipitação bastante denso (250 estações) sobre a Região Sul do Brasil. Esse estudo reforçou a evidência da relação do excesso de precipitação nessa região com o fenômeno El Niño. Em várias localidades do Sul do Brasil os efeitos devido ao fenômeno El Niño já começam a ser notados em várias sub-regiões a partir da primavera do ano do fenômeno e que, em geral, o Sul do Brasil apresenta um forte e consistente padrão de anomalias de precipitação associados aos extremos de ENOS, mais forte que na Argentina e Uruguai.

O Rio Grande do Sul (RS) está situado no extremo meridional do Brasil, localizado na Região Sudeste da América do Sul, região na qual, na maioria dos anos de El Niño a precipitação pluvial é acima da normal climatológica, com enchentes, que por vezes podem ser grandes em todo o Estado, e em anos de La Niña a precipitação pluvial é abaixo da normal climatológica, com fortes secas (FONTANA; BERLATO, 1997). Os mesmos autores demonstraram que existem duas épocas de maior influência do ENOS sobre a precipitação pluviométrica no RS: a primeira é nos meses de outubro-dezembro e a segunda, chamada de “repique”, é nos meses de abril-junho. Existem resultados que mostram ocorrência do maior número de dias com precipitação no RS durante os eventos El Niño e do menor número de dias com precipitação durante os eventos La Niña (FONTANA; ALMEIDA, 2002).

2.2 Oscilação Decadal do Pacífico

Recentemente, uma outra perturbação na TSM em nível de bacia do Oceano Pacífico foi descrita. Esta perturbação foi denominada de Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) pelo

biólogo Steve Hare e outros pesquisadores da Universidade de Washington em 1996, que associaram o padrão decadal dessa oscilação com a variação da população dos peixes no Pacífico Norte (MANTUA et al., 1997). Na ODP, as temperaturas da superfície do Oceano Pacífico apresentam uma configuração semelhante ao fenômeno ENOS, porém com variações temporais mais longas (MANTUA et al., 1997). A duração da ODP também pode variar de 20 a 30 anos sendo chamada de Oscilação Bidecadal, ou variar de 50 a 70 anos quando é denominada de Pentadecadal (LIU et al., 2002; MINOBE, 2000).

Semelhante a Oscilação Sul, a ODP também apresenta duas fases, uma quente e outra fria. A fase quente da ODP está relacionada com um inverno mais quente e ar mais seco no noroeste do Pacífico, águas aquecidas no Pacífico Tropical Leste e na estreita faixa ao longo da costa do Alasca e do oeste dos Estados Unidos e do Canadá. Além disso, observam-se águas mais frias que o normal em uma grande área do Pacífico norte. Assim, as anomalias da TSM são positivas no Pacífico Tropical Leste e negativas no Pacífico Extratropical. A fase fria da ODP apresenta uma configuração invertida, com anomalias da TSM negativas no Pacífico Tropical Leste e positivas no Pacífico Extratropical Norte e Sul (Figura 3) (MANTUA et al., 1997).

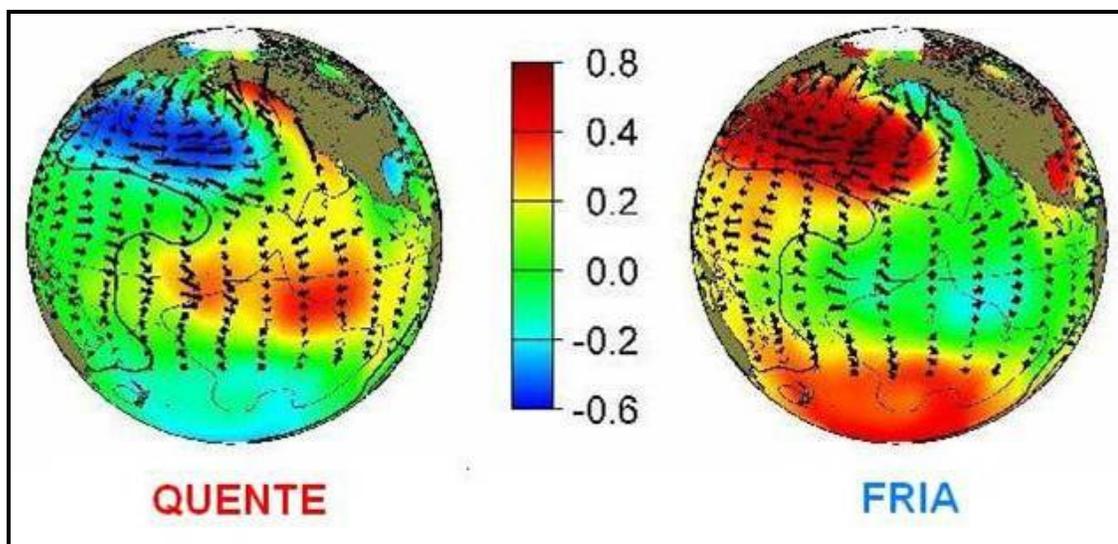


Figura 3 – Fases da Oscilação Decadal do Pacífico, as setas indicam a direção dos ventos. Fonte: Joint Institute for the Study of the Atmosphere and Ocean (2008).

Para medir a fase e a intensidade da ODP utiliza-se um índice, denominado de Índice de Oscilação Decadal do Pacífico (IODP). Quando o IODP é positivo caracteriza a fase quente da ODP com águas superficiais mais quentes que o normal no Pacífico Tropical e Leste, e

águas mais frias que o normal no Pacífico Norte, e quando o IODP é negativo caracteriza a fase fria da ODP e o padrão de TSM apresenta-se o inverso (MANTUA et al., 1997).

Durante o século 20 sugere-se que ocorreram duas fases quente (1925 – 1946 e 1977 – 1998) e duas fases fria (1910-1924 e 1947-1976), apesar de que a primeira fase fria não ser tão bem definida como a primeira (REBELLO, 2006) a ponto que alguns autores não consideram a existência da primeira fase fria no início do século 20 (MOLION, 2005) (Figura 4). Após a última fase positiva, há uma tendência entre os pesquisadores de uma nova fase negativa após o ano 2000 (Figura 4). A ODP pode ter entrado em uma nova fase fria desde 1999 e segundo previsões pode se estender a 2025 (MOLION, 2005).

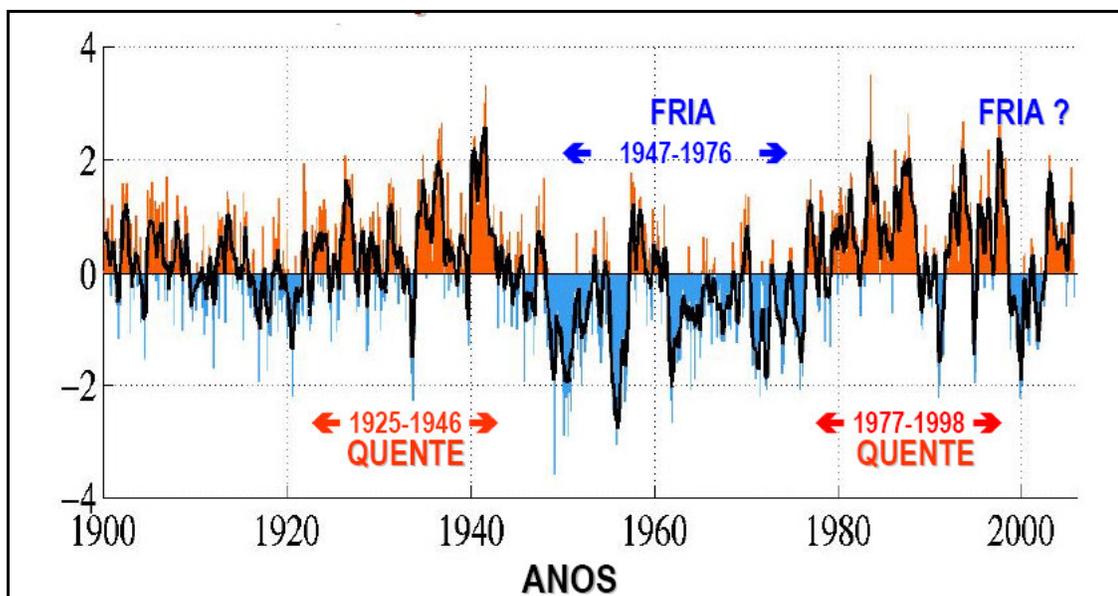


Figura 4 - Fases da ODP no período de 1900 a 2000. Fonte: MOLION (2005).

Comparando-se o IODP com o inverso do IOS, foi observado que durante a fase positiva da ODP houve uma maior ocorrência de El Niños, enquanto que na fase negativa da ODP ocorreu um maior número de La Niñas (MANTUA et al., 1997; SILVA, 2007).

Existem resultados que indicam que a fase quente da ODP pode ser um fator para potencializar a ocorrência de El Niños. Os estudos de Wang; Picaut (2004), mostraram que durante o período de março a maio do ano de El Niño, há um comportamento distinto entre os El Niños durante a fase quente da ODP e a fase fria da ODP. El Niños que ocorrem na fase fria da ODP começam com o aquecimento próximo às costas do Peru e Equador, e a área

aquecida se expande para oeste. El Niños que ocorrem na fase quente da ODP começam com o aquecimento no lado oeste do Pacífico Tropical, e a área aquecida se expande para leste.

Analisando a influência da ODP na precipitação para algumas localidades do Rio Grande do Sul, Rebello (2006) relata anomalias negativas de precipitação durante a fase fria (1947-1976) e anomalias positivas durante a fase quente da ODP (1977-1998). A avaliação dos desvios anuais de precipitação de Porto Alegre, RS, mostrou que, nas fases quentes da ODP, a maior parte da precipitação observada esteve em torno e acima da média, enquanto a fase fria apresentou comportamento oposto. As estações outono (Março, Abril, Maio), inverno (Junho, Julho, Agosto) e primavera (Setembro, Outubro e Novembro) também mostraram o mesmo padrão, com predomínio de desvios positivos nas fases quentes e negativos na fase fria (VIANA et al., 2008).

Em outro trabalho utilizando quatro locais do Rio Grande do Sul (Caxias do Sul, Pelotas, Santo Ângelo e Uruguaiana), foram analisados os dados totais de precipitação anual e séries temporais do índice de ODP. Obteve-se uma boa correlação da ODP e o Índice padronizado de precipitação (desvios de precipitação anual) para todos os locais. Porém Caxias do Sul teve a maior correlação, sendo diferente para as cidades de Pelotas e Santo Ângelo onde ocorreu uma correlação positiva, porém com valores menores mostrando que não tem influência da ODP nesses municípios e para Uruguaiana não houve correlação significativa (OLIVEIRA; SOUZA, 2008).

2.3 Precipitação Pluviométrica (Chuva)

A água é o componente principal na constituição dos organismos vivos. Por isso é importante conhecer e estudar a sua formação, características e efeito de fenômenos cíclicos na distribuição espacial e temporal das precipitações pluviométricas ou chuvas. Precipitação é o processo pelo qual a água condensada na atmosfera atinge gravitacionalmente a superfície terrestre e ocorre sob a forma líquida ou pluvial (chuva) e sob a forma sólida (granizo e neve). As precipitações se originam de nuvens formadas a partir do esfriamento do ar por expansões adiabáticas nas correntes ascendentes da atmosfera (VIANELLO; ALVES, 2002). A precipitação é um elemento principal que determina o clima de uma região (TUBELIS; NASCIMENTO, 1980) e o principal meio de reposição das perdas por evapotranspiração em cultivos agrícolas.

A quantidade de precipitação é normalmente expressa por uma espessura da camada ou lâmina de água líquida que se deposita sobre uma superfície horizontal, plana e impermeável. Essa espessura da lâmina é denominada altura de precipitação, sendo determinada pela medida do volume de água captado por uma superfície horizontal de área conhecida e a unidade usada no sistema internacional de unidades é o milímetro (mm) (TUBELIS; NASCIMENTO, 1980).

A medida da precipitação é feita com instrumento de leitura direta, chamados de pluviômetros ou por registradores denominados de pluviógrafos. Os pluviógrafos têm uma vantagem sobre os pluviômetros que é a possibilidade de se determinar duas características importantes das chuvas: a intensidade, definida como a quantidade de água precipitada por unidade de tempo, expressa em milímetros por hora (mm h^{-1}) e a duração das chuvas definida como a diferença de tempo entre o instante de início e término do evento (VAREJÃO – SILVA, 2006).

A precipitação é um dos elementos meteorológicos de maior variabilidade temporal e espacial tanto no período de ocorrência quanto na intensidade. Muitas vezes podem acarretar conseqüências negativas em diversos setores da sociedade como acontece durante períodos longos sem chuvas (deficiência hídrica no solo, redução da vazão nos sistemas de drenagem e abaixamento do nível de água das barragens) e ou em períodos com chuvas intensas e ou vários dias de chuvas consecutivos, que podem levar às inundações e erosões no solo (BURIOL et al., 2006).

Para a agricultura, uma característica importante das chuvas no planejamento das atividades é a distribuição anual da chuva, conhecida como Regime Pluviométrico. Os Regimes Pluviométricos podem ser de quatro tipos: Monçônico (quando as chuvas se concentram no verão e o inverno é seco), Mediterrâneo (quando as chuvas se concentram no inverno e o verão é seco), Isoigro é quando não há estação seca definida e a precipitação anual é razoavelmente bem distribuída ao longo do ano e Equatorial é quando a precipitação anual é alta e superior a 2000 mm ano^{-1} e os meses de menor precipitação não se caracterizam por elevada deficiência hídrica (TUBELIS; NASCIMENTO, 1980).

Quanto à origem das chuvas, estas podem ser convectivas, frontais ou ciclônicas e orográficas ou de relevo. As chuvas convectivas se originam devido ao intenso aquecimento da superfície do solo que resulta em forte ascensão de ar por convecção térmica tendo como característica alta intensidade, curta duração (minutos ou poucas horas) e área de abrangência pequena (localizada) e acontecem com maior frequência no período da tarde e início da noite. As chuvas frontais ou ciclônicas se originam na ascensão de ar devido a descontinuidades

frontais (frentes quentes, frentes frias, frentes estacionárias e frentes oclusas) e se caracterizam por intensidade moderada a baixa, longa duração (podem durar vários dias) e tem uma área de abrangência grande (um ou mais Estados). As chuvas orográficas ou de relevo se formam na região de barlavento dos ventos úmidos e tem como características, baixa intensidade, duração variável (enquanto os ventos úmidos sopram na direção da elevação do relevo) e área de abrangência dependente do relevo. No Rio Grande do Sul predominam as chuvas frontais, mas no verão as chuvas convectivas são freqüentes e contribuem sobremaneira na água precipitada. O relevo do Rio Grande do Sul também contribui para a distribuição espacial das chuvas anuais no Estado, de modo que as isoietas (linha de mesma precipitação) anuais climatológicas do Rio Grande Sul são maiores a região Nordeste (Serra Gaúcha e Campos de Cima da Serra) e na encosta leste do Escudo Sul Rio Grandense, em função da orografia que aumenta a ascensão de ar úmido tornando-se as precipitações mais freqüentes e intensas (MORENO, 1961).

2.4 Chuvas Erosivas e Índice de Erosividade

O manejo inadequado do solo para o uso agrícola muitas vezes leva a degradação do solo conseqüentemente, reduz sua capacidade produtiva, tornando-o suscetível à erosão hídrica (MIELNICZUK; SCHNEIDER, 1984). A erosão hídrica é o processo de desagregação e transporte de partículas do solo causado pela água e é resultante da interação de forças ativas como: as características da chuva, a declividade do terreno e a capacidade do solo em absorver água e de forças passivas como: a resistência que o solo exerce a ação erosiva da água, os métodos de cultivo e a densidade da cobertura vegetal (UFSM, 2004). A erosão hídrica é uma das principais causas de erosão do solo e um dos problemas da agricultura no Brasil e no Rio Grande do Sul, ocasionando redução nos rendimentos das culturas (COGO et al., 2006).

O fator meteorológico que mais afeta a erosão hídrica é a precipitação levando-se em conta sua quantidade, intensidade e duração. No entanto existem outros fatores que devem ser levados em consideração, tais como: classe e características do solo (físicas, químicas e mineralógicas), relevo (declividade, comprimento de rampa e forma do terreno), umidade, interceptação pela cobertura vegetal, tipo de cultivo (sistema de preparo) e uso de práticas conservacionistas (SILVA et al., 1999). Esses fatores são considerados em modelos empíricos

de simulação da erosão, como é o caso da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), em que se conhecendo os parâmetros do modelo no local de estudo, é possível prever as perdas anuais de terra, em razão do sistema de cultivo e práticas de manejo adotadas, e assim, orientar o planejamento (COGO et al., 2003; ALBURQUERQUE et al., 2005). A EUPS descrita por Wischmeier; Smith, (1958) segue abaixo:

$$A = R.K.LS.C.P \quad (1)$$

em que A é a Perda de solo média ou erosão específica ($t \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), R é o fator de erosividade da precipitação ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ou $t \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), K é o fator de erodibilidade do solo ($t \text{ h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$), LS é o fator fisiográfico, que resulta da combinação dos fatores de comprimento de encosta (L) e declive (S) (adimensional), C é o fator relativo ao coberto vegetal (adimensional) e P é o fator de prática agrícola ou de medidas de controle de erosão (adimensional).

A EUPS é um modelo que possibilita avaliar os fatores que causam a erosão hídrica e de estimar as perdas de solo. Entre os componentes da EUPS, o fator “R” é conhecido como erosividade das chuvas, é o componente que expressa a capacidade erosiva das chuvas (WISCHMEIER; SMITH, 1958; GONÇALVES et al., 2006). Por causa da grande variação na intensidade das chuvas a cada ano, o valor médio da erosividade das chuvas (fator R) deve ser calculado com base na erosividade anual de um período longo, pelo menos com base em 20 anos de dados (COGO et al., 2003).

Existem vários índices e métodos de determinação da erosividade das chuvas, devido cada região ter suas particularidades no tipo e características das chuvas. Nas regiões de clima temperado, para se avaliar a erosividade das chuvas usa-se o índice EI_{30} . Este índice representa o produto da energia cinética total da chuva pela intensidade máxima, em mm h^{-1} , calculada com base na quantidade máxima durante 30 minutos contínuos de chuva (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

O modelo de Wischmeier; Smith (1978) subestima a energia cinética das chuvas nas regiões tropicais, pois existem outros fatores relacionados com a energia cinética das chuvas como à velocidade dos ventos, à distribuição de gotas de diferentes tamanhos, e à alta precipitação (Lal, 1976).

Nas condições tropicais da África a melhor correlação das perdas de solo foi encontrada com o índice $KE > 25$, um índice onde a chuva individual erosiva tem pelo menos, um segmento de intensidade maior ou igual a 25,0mm/h. (HUDSON, 1981; MORGAN, 1986).

Num estudo da relação entre a energia cinética e a taxa de precipitação, obtida a partir de 533 amostras da distribuição de gotas de chuva oriundas de precipitações predominantemente convectivas observadas na região de São Paulo, concluiu-se que a equação para o cálculo de energia cinética não difere significativamente da equação de Wischmeier; Smith (1978) (WAGNER; MASSAMBANI, 1988).

O índice EI_{30} é considerado o mais adequado para estimar o potencial erosivo das chuvas para as condições do Rio Grande do Sul, principalmente para o município de Santa Maria – RS, onde em um estudo com 102 chuvas erosivas, o EI_{30} foi o que teve melhor coeficiente de correlação linear entre energia cinética das chuvas e perda de solo quando comparado com outros índices (MORAIS et al., 1988). Para as condições do Cerrado Brasileiro, o EI_{30} também foi o melhor índice de erosividade para estimativa das perdas de solo e água (DEDECEK, 1988). Neste local as chuvas convectivas foram as que apresentaram maiores índices erosivos e as chuvas frontais foram as com menores índices erosivos (DEDECEK, 1988).

No cálculo da erosividade das chuvas deve-se definir uma chuva individual erosiva e existem vários critérios como consta em Wischmeier (1959), onde as melhores correlações do EI_{30} com a perda de solo foram obtidas quando as chuvas separadas por um tempo menor do que 6 horas foram tomadas como únicas. Por outro lado, Wischmeier; Smith (1978) omitiram do cálculo do fator R as chuvas menores do que 0,5 polegada (12,7mm) e separadas de outra por mais do que 6 horas, a menos que ocorresse o caso de 0,25 polegada (6,4mm) em 15 minutos ou mais. Outro critério para ser chuva individual erosiva é quando a chuva for igual ou maior que 10,0mm ou menores do que 10 mm, mas que possam causar significativas enxurradas (LOMBARDI NETO, 1977). Foster et al. (1981), conceituando as chuvas não erosivas, afirmaram que as menores do que 13,0mm (0,5 polegada) e separadas de outra por um tempo superior a 6 horas não deveriam ser incluídas no cálculo do fator R, a menos que a quantidade de 6,0mm (0,25 polegada) fosse precipitada em até 15 minutos.

Para o Rio Grande do Sul foram criados critérios levando em consideração o conceito norte-americano de chuva individual erosiva, mas adaptando-se às condições brasileiras, como: i) computar o valor do EI_{30} para chuvas com 10,0mm ou mais; ii) computar o valor do EI_{30} para as chuvas com menos do que 10,0mm, se a quantidade de chuva em 15 minutos for de 6,0mm ou mais; iii) chuvas separadas por menos do que 6 horas, com qualquer quantidade nesse período, ou chuvas separadas por 6 horas consecutivas ou mais, com 1,0mm ou mais de chuva nesse período, devem ser tratadas como única chuva individual e iv) chuvas separadas

por 6 horas consecutivas ou mais, com menos do que 1,0mm nesse período, devem ser tratadas como chuvas distintas (CABEDA, 1976).

Definir os padrões de chuva através das características físicas das chuvas pode ser uma ferramenta para se avaliar parte dos efeitos erosivos das mesmas. Para padronizar as chuvas leva-se em consideração o tempo de ocorrência do pico de intensidade em relação ao tempo total da chuva (HORNER; JENS, 1941). Os padrões de chuva são classificados como: Padrão de Chuva Avançado é considerado quando a maior intensidade da chuva ocorre nos primeiros 33% do tempo de duração total da chuva, Padrão de Chuva Intermediário é considerado quando a maior intensidade da chuva ocorre em um período de tempo entre 33% a 66% do tempo de duração total da chuva e Padrão de Chuva Atrasado é considerado quando a maior intensidade da chuva ocorre depois de passado 66% do tempo de duração total da chuva (HORNER; JENS, 1941).

Conforme Flanagan et al. (1988), nos padrões Intermediário e Atrasado são esperadas as maiores perdas de solo tendo em vista maior umidade antecedente, pois em solo úmido a capacidade de infiltração é menor e a desagregação é favorecida pelo impacto das gotas de chuvas. O padrão de chuva de maior ocorrência na região de Santa Maria foi o padrão avançado, seguido do padrão atrasado e intermediário, sendo que o padrão avançado teve a maior intensidade média dos picos (MEHL et al., 2001).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O local do estudo foi Santa Maria, localizada na região fisiográfica da Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul. 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 precipitação registrada em pluviogramas por um pluviógrafo, instalado na Estação Climatológica Principal do Instituto Nacional de Meteorologia - 8º Distrito de Meteorologia, localizada no Campo Experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (latitude: 29°43'S, longitude: 53°43'W e altitude: 95m).

Usaram-se os dados de precipitação retirados de forma seqüencial de cada pluviograma diário no período de 01 de julho de 1979 a 30 de junho de 2008. As chuvas individuais e erosivas foram identificadas nos pluviogramas e de cada segmento de intensidade uniforme de chuva (mesma declividade do registro da chuva no pluviograma) foi retirado o tempo em horas e minutos (00h: 00') e a altura da chuva em milímetros (mm). As chuvas individuais foram consideradas aquelas separadas da anterior e da posterior por um período mínimo de 6 horas sem chuva ou com menos de 1,0 mm de chuva, e as chuvas erosivas foram consideradas as que tinham a precipitação total superior a 10 mm ou precipitação igual ou superior a 6 mm em até 15 minutos 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):

$$EC = 0,119 + 0,0873 \log_{10} I \quad (2)$$

em que: EC é a energia cinética unitária ($\text{MJ ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$) 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 minutos contínuos de chuva (WISCHMEIER, 1959; MORAIS et al., 1988) pela equação:

$$EI_{30} = EC_T I_{30} \quad (3)$$

em que: EI_{30} é o índice de erosividade das chuvas ($MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$), EC_T é a energia cinética total ($MJ\ ha^{-1}$) (somatório da EC) e I_{30} ($mm\ h^{-1}$) é a intensidade máxima em trinta minutos.

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 01 de julho do ano até 30 de junho do ano seguinte, já que o fenômeno ENOS geralmente inicia no segundo semestre de um ano e acaba 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 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 através de uma média móvel de três meses. Quando o índice for maior que $+0,5\ ^\circ C$ por no mínimo cinco meses consecutivos é caracterizado como um El Niño e quando o índice for menor que $-0,5\ ^\circ C$ por no mínimo cinco meses consecutivos é caracterizado como um 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 apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Critérios para classificar a intensidade do fenômeno ENOS usados no estudo.

Evento	Valor do ION ¹	Intensidade
El Niño	0,5 a 0,9	Fraca
	1,0 a 1,4	Moderada
	$\geq 1,5$	Forte
La Niña	-0,5 a -0,9	Fraca
	-1,0 a -1,4	Moderada
	$\leq -1,5$	Forte

¹ ION é a média dos Índices Oceânico do Niño. Fonte: Golden Gate Weather Services (2008).

Dos 30 anos analisados (1978 a 2008), seis anos (78/79, 81/82, 82/83, 83/84, 94/95 e 95/96) não foram usados no trabalho, pois em 1978 os pluviogramas eram semanais (inadequados para o estudo) e para os demais anos os pluviogramas não foram encontrados. 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 que foram excluídas do estudo, pois os pluviogramas apresentavam sinais ou anotações dos observadores meteorológicos que sugeriam possível registro inadequado (a descarga pelo sifão não ocorreu ou ocorreu parcialmente). Para identificar essas chuvas como sendo chuvas erosivas, comparou-se o total de chuvas medido no pluviômetro com o registro nos pluviogramas e criaram-se critérios para identificá-las, como: (i) ter chovido pelo pluviômetro e não ter havido registro no pluviograma ou (ii) o total de chuva no pluviômetro foi 5 mm maior ou menor do que total de chuvas registrado no pluviograma. Tentou-se estimar o índice da erosividade das chuvas através de uma regressão linear entre Precipitação total diária e Índice de erosividade das chuvas para anos de El Niño, La Niña e Neutros. Por haver um baixo coeficiente de determinação (Apêndice A), optou-se em não usar no trabalho essas chuvas erosivas com problemas. Assim dos 24 anos usados sete anos foram de El Niño, seis anos de La Niña e 11 anos Neutros. O total de chuvas erosivas foram 338 chuvas nos anos de El Niño, 257 chuvas nos anos de La Niña e 460 chuvas nos anos Neutros.

Os padrões de chuvas foram calculados também com o algoritmo do programa CHUVEROS 2 e classificados em Avançado, Intermediário e Atrasado (HORNER; JENS, 1941).

Calcularam-se as estatísticas descritivas total, média, maior valor absoluto, desvio padrão e coeficiente de variação dos índices de erosividade para anos de El Niño, La Niña e Neutros. Foram feitos os diagramas de caixa com a mediana (percentil 50) e percentis de 10, 25, 75 e 90 do Índice de Erosividade, conforme metodologia usada anteriormente 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 entre o Índice de Erosividade e o Índice Oceânico do Niño e a significância da regressão foi testada com o teste t de Student, com o objetivo de quantificar a associação entre as duas variáveis, com vistas a uma possível previsibilidade do potencial erosivo das chuvas a partir de anomalias de TSM no Oceano Pacífico. Nesta análise de correlação e de regressão foram testadas várias combinações entre o EI₃₀ e ION, como, por exemplo, máximo valor absoluto mensal do EI₃₀ das chuvas individuais com o máximo do índice ION, a média mensal do EI₃₀ no mês em que apresentou maior valor absoluto anual do EI₃₀ das chuvas individuais com a média do índice ION, o máximo valor absoluto anual do EI₃₀ das chuvas individuais com o máximo do índice ION e o valor do EI₃₀ mensal com o valor mensal do ION. Considerou – se como correlação fraca quando foi obtido $r \leq 0,5$, média quando $0,5 < r < 0,75$ e forte quando $r \geq 0,75$.

Buscou-se também associar o Índice de erosividade (EI_{30}) com a ODP. Em função da ODP ser uma oscilação em escala temporal grande (décadas) e o índice de erosividade disponível é de um período curto, dividiu-se os dados em dois grupos: 1979 até 1998 (fase quente) e após 1998 (fase fria). Calculou-se a média do Índice de Erosividade (EI_{30}) dos anos El Niño, La Niña e Neutros classificados nestas duas fases da ODP.

4 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) (Tabela 2).

Os sete eventos de El Niño tiveram duração de 6 meses (2006/2007, intensidade fraca a 15 meses (1991/1992, intensidade moderada e os seis eventos de La Niña tiveram duração variável de 5 meses (1999/2000, intensidade fraca a 13 meses (1988/1989, intensidade forte) (Tabela 2). O El Niño de maior intensidade (1997/1998) teve duração de anomalia de TSM de 12 meses.

Tabela 2 – Classificação, intensidade e duração (meses) do fenômeno ENOS nos diferentes anos usados no estudo.

Ano ¹	Classificação ²	Intensidade ³	Duração ⁴
1979- 1980	N	-	-
1980- 1981	N	-	-
1984- 1985	LN	Fraca	12
1985- 1986	N	-	-
1986- 1987	EN	Moderada	10
1987- 1988	EN	Moderada	8
1988- 1989	LN	Forte	13
1989- 1990	N	-	-
1990- 1991	N	-	-
1991- 1992	EN	Moderada	15
1992- 1993	N	-	-
1993- 1994	N	-	-
1996- 1997	N	-	-
1997- 1998	EN	Forte	12
1998- 1999	LN	Moderada	12
1999- 2000	LN	Moderada	12
2000- 2001	LN	Fraca	5
2001- 2002	N	-	-
2002- 2003	EN	Moderada	11
2003- 2004	N	-	-
2004- 2005	EN	Fraca	8
2005- 2006	N	-	-
2006- 2007	EN	Fraca	6
2007- 2008	LN	Moderada	10

¹de julho de um ano até junho do ano seguinte; ²La Niña (LN), El Niño (EN) e Neutro (N); ³conforme tabela 1; ⁴duração, em meses, do mês do início ao mês do fim da anomalia do Índice Oceânico do Niño (ION).

Dos sete eventos de El Niño, o de 2002/2003, classificado como intensidade moderada, foi o que teve o maior EI_{30} acumulado anual (16115,15 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹), o maior EI_{30} médio anual de chuvas individuais (219,9 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹) (Tabela 3). O El Niño de intensidade forte (1997/1998) teve o segundo maior EI_{30} acumulado anual (12425 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹). Esperava-se que o El Niño de intensidade forte tivesse o maior EI_{30} anual e o motivo de não se confirmar essa expectativa pode ser o fato de não serem sido contabilizadas cinco chuvas devido a problemas nos pluviogramas no ano de 1997/1998. Em contra partida, o ano 1997/1998 foi o que apresentou o maior valor absoluto de EI_{30} anual das chuvas individuais (2586 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹), tendo ocorrido no mês de abril, época em que acontece o repique do fenômeno de acordo com Fontana; Berlato (1997). O ano de menor EI_{30} acumulado anual (5559,5 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹) foi o de 2004/2005, evento El Niño de intensidade fraca (Tabela 3). 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 com 11054,4 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹. Esse mesmo ano foi o que apresentou maior valor absoluto do Índice de Erosividade EI_{30} anual das chuvas individuais em anos d La Niña (1780,1 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹), ocorrido no mês de dezembro. Isso poderia ser explicado por ser um evento La Niña de intensidade fraca (Tabela 3), indicando que a intensidade forte da La Niña não é sinônimo de chuvas menos erosivas do que em La Niña moderada.

O valor médio anual do EI_{30} é um parâmetro usado na equação universal de perdas de solo, chamado de fator R (WISCHMEIER; SMITH, 1978). Considerando a média dos anos de El Niño, La Niña e Neutro para a variável EI_{30} média anual das chuvas individuais, os anos Neutros e de El Niño são os que tiveram a maior média (180,8 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ e 180,5 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹) 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 do número de chuvas e do total de precipitação ser maior nos anos de El Niño. Como anos Neutros são geralmente em maior número, a implicação prática destes resultados é que a preocupação com práticas conservacionista deve ser sempre uma prioridade mesmo em anos Neutros.

Considerando-se a variabilidade do EI_{30} das chuvas individuais (Tabela 3), 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%).

Tabela 3 – Estatísticas do Índice de Erosividade EI_{30} das chuvas erosivas nos anos de ocorrência do fenômeno ENOS, em Santa Maria, RS, período 1979 - 2008.

Evento e Ano	EI_{30} (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹)				CV ⁵ (%)
	Total ¹	Média ²	Maior valor ³	DP ⁴	
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

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

Os anos Neutros apresentaram a maior variabilidade, porque em média são os anos que apresentam 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 desta característica da chuva em anos Neutros pode ser explicada pela pequena amostra usada no estudo e, sob o ponto de vista Meteorológico, pela variedade de sistemas atmosférico que causam precipitação nesta região, onde ocorrem chuvas frontais e convectivas. Em anos de ENOS, o sinal de sobrepõe aos sistemas atmosféricos, enquanto nos anos Neutros a ação destes sistemas formadores de chuva não sofre efeito e assim manifestam - se com mais

intensidade, causando grande variabilidade na precipitação. Esta maior variabilidade do potencial erosivo das chuvas em Santa Maria em anos Neutros tem implicações importantes para a agricultura, pois nestes anos podem ocorrer perdas importantes de solo e água dos agroecossistemas. Por outro lado, é interessante que nos anos Neutros em relação ao fenômeno ENOS é que podem ocorrer perdas significativas 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 consecutivo de deficiência hídrica, a partir de novembro de 1944, BURIOL et al., 1977), 2003/2004 e 2005/2006 (ALBERTO et al., 2006). Esta alta variabilidade na quantidade e no potencial erosivo das chuvas é, portanto, uma característica marcante do clima do Rio Grande do Sul.

Com relação à distribuição de frequência do EI_{30} das chuvas individuais (Tabela 4), observou-se que, comparado aos anos Neutros, nos anos de El Niño 40% das chuvas foram classificadas como tendo alto índice de erosividade (tercil superior) e 28% como de baixo índice de erosividade (tercil inferior). Em anos de La Niña a distribuição de frequência é de aproximadamente um terço em cada tercil de índice de erosividade (Tabela 4), ou seja, similar aos anos Neutros.

Tabela 4 – Tabela de contingência do Índice de Erosividade EI_{30} das chuvas individuais em Santa Maria, RS, período 1979 – 2008, em tercis para as fases do fenômeno ENOS. Número entre parêntese correspondem à porcentagem do número de casos ocorridos.

Fases do ENOS	Tercis do Índice de Erosividade EI_{30}			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	1055	

Nos diagramas de caixa da variável Índice de Erosividade EI_{30} anual das chuvas individuais plotou-se o eixo y na escala logarítmica (Figura 5), devido ao grande número de valores extremos superiores, o que levou ao achatamento das caixas e sua localização na parte inferior do gráfico quando o eixo y foi plotado em escala normal. Essa distribuição dos diagramas de caixa na Figura 5 é explicada pela assimetria positiva (a direita) da “cauda” no histograma de distribuição de frequência do EI_{30} (Apêndice B), em que a maioria das chuvas se concentram na classe de EI_{30} até $500 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ em todos anos. Do total das chuvas erosivas, 92%, 91% e 91% das chuvas se concentram nessa classe de erosividade ($0 - 500 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$) em eventos de El Niño, La Niña e Neutros, respectivamente, enquanto o restante

das chuvas (8%, 9% e 9%) estão distribuídas nas classes acima de $500 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ até $2500 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (Apêndice B).

Nos diagramas de caixa para o Índice de Erosividade EI_{30} das chuvas individuais representados na Figura 5, onde lê-se, por exemplo, para a probabilidade de 90%, em 90% dos casos o Índice de Erosividade 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 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 menos precipitação ou precipitações de baixa intensidade em anos de La Niña ou Neutros, a ponto das chuvas individuais não causarem erosão ou terem um baixo índice erosivo quando comparado com anos de El Niño (Figura 5).

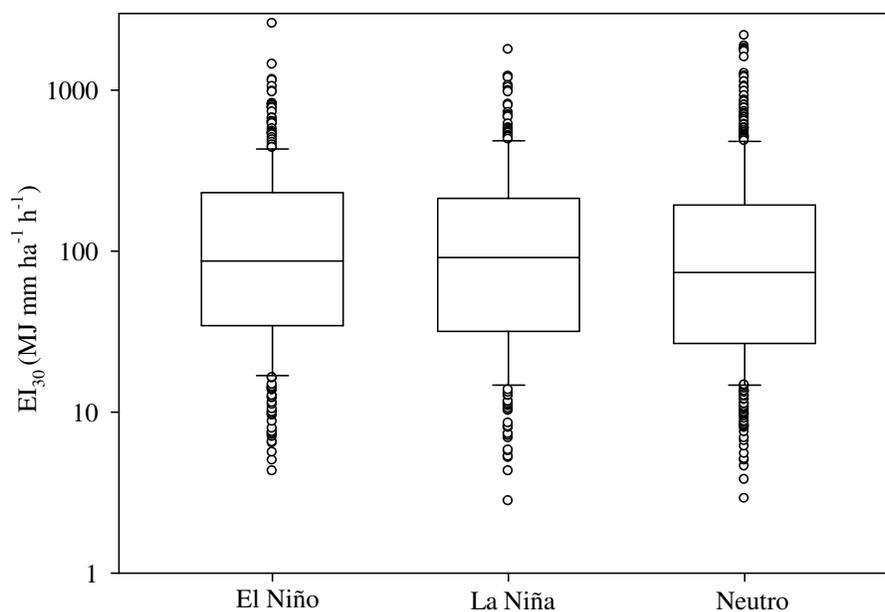


Figura 5 – Distribuição do Índice de Erosividade EI_{30} das chuvas individuais no período de 1979 a 2008 associados aos eventos El Niño e La Niña, e anos Neutros, para Santa Maria, RS. A linha cheia horizontal, no interior das caixas, representa o percentil de 50 (mediana); o final das caixas representa os percentis de 25 e 75; as barras representam os percentis 10 e 90 e os pontos representam os valores extremos.

Na Figura 5 ainda, observam-se 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 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 no ano 2003/2004 (STRECK et al., 2008). No entanto, embora em anos Neutros a precipitação seja menor, essas chuvas podem ter alto índice de erosividade e vários extremos superiores altos quando comparado com anos de El Niño (Figura 5).

Analisando-se o padrão de chuvas erosivas individuais como avançado, intermediário e atrasado (Tabela 5), observou-se que em todos os anos o maior número de chuvas erosivas individuais (564 chuvas) foram classificados no padrão avançado, seguido dos padrões intermediário (264 chuvas) e atrasado (227 chuvas). Estes resultados concordam em parte com os relatados obtidos por Mehl et al. (2001) para Santa Maria, que usaram dados de precipitação da Estação Central Experimental de Silvicultura e Conservação do Solo, pertencente à Fundação de Pesquisa do Rio Grande do Sul (FEPAGRO), localizada a aproximadamente 30 km da Estação Climatológica Principal da UFSM. Mehl et al. (2001) verificaram que o número de chuvas erosivas individuais foi maior no padrão avançado (551 chuvas erosivas individuais), mas o padrão de chuva atrasado teve maior número de chuvas erosivas individuais que o padrão intermediário.

No trabalho de Mehl et al. (2001) não foi feita a associação do padrão de chuvas com o fenômeno ENOS. No presente estudo (Tabela 5), das 338 chuvas erosivas individuais em anos de El Niño, 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 de cada evento, respectivamente. Para anos de La Niña foram 257 chuvas erosivas individuais, das quais 134 (52%) foram classificadas no padrão de chuva avançado, 65 (25%) chuvas em padrão intermediário e 58 (23%) chuvas em padrão atrasado, representando em média, 22, 11 e 10 chuvas por ano do evento, respectivamente. Das 460 chuvas erosivas individuais ocorridas nos anos Neutros, 240 (52%) foram chuvas no padrão avançado, 123 (27%) foram chuvas em padrão intermediário e 97 (21%) chuvas foram classificadas em padrão atrasado, correspondendo a, em média 22, 11 e 9 chuvas por ano, respectivamente. Esses resultados indicam que nos anos El Niño há um acréscimo nas chuvas de padrão avançado. No padrão intermediário, decrescem o número de chuvas em anos de El Niño e La Niña comparado com anos Neutros. Esses resultados concordam em partes com outro trabalho realizado em Santa Maria por Cogo et al. (2006) no período de 1963 a 2000 e sem levar em considerações anos do fenômeno ENOS, onde 47% do total das chuvas erosivas foram classificadas no padrão Avançado, 26% no padrão Intermediário e 27% no padrão Atrasado. Chama atenção nestes resultados o aumento, embora pequeno, das chuvas com

padrão atrasado nos anos de La Niña, pois neste tipo de padrão são esperados maiores perdas de solo devido a desagregação ser favorecida e 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 as perdas de solo de chuvas mais erosivas (ELTZ et al., 2001), desde que o período de retorno das chuvas não seja pequeno a ponto de manter elevada a umidade do solo até o início da próxima chuva.

A correlação e a regressão entre o Índice de Erosividade EI_{30} e o ION não foram significativas nas diferentes combinações testadas entre os dois índices. Isso significa que uma possível previsão do EI_{30} das chuvas erosivas individuais a partir do ION é difícil ou não é possível, já que valores similares de EI_{30} aconteceram com diferentes valores de ION (Apêndices C e D). 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, por exemplo, fenômenos de escala temporal rápida como os sistemas frontais e de escala intrasazonal 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, tais como 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, 2008).

Analisando-se os valores de Índices de Erosividade (EI_{30}) nas fases da ODP (Tabela 6), o El Niño de intensidade forte (97/98) teve o maior EI_{30} médio anual ($188,8 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$) durante a fase quente da ODP. Durante a fase fria da ODP, o El Niño de 02/03, de intensidade moderada, teve um EI_{30} médio anual maior ($219,9 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$) que o de 97/98. A La Niña de intensidade forte de 88/89 teve o maior EI_{30} médio anual ($197,6 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$), durante a fase quente da ODP, enquanto a La Niña de intensidade fraca de 00/01 teve o maior EI_{30} médio anual ($220,1 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$) na fase fria. O ano Neutro de 93/94 teve o maior EI_{30} médio anual ($327,7 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$) na fase quente da ODP e o ano Neutro de 03/04 teve o maior EI_{30} médio anual ($236,5 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$) da fase fria da ODP (Tabela 6). Considerando as médias de erosividade dos anos de El Niño, La Niña e Neutros nas duas fases da ODP, a erosividade foi em média maior na fase fria da ODP para anos EL Niño e Neutros e maior na fase quente da ODP para anos de La Niña. Esses resultados indicam que na fase fria da ODP, as chuvas têm elevada erosividade nos anos de El Niño e Neutros. No entanto, devido ao reduzido número de anos na fase fria da ODP, conclusões definitivas ainda são prematuras, devendo-se aguardar mais anos para serem incluídos na análise.

Tabela 5 – 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

Tabela 6 – Índice de Erosividade (EI_{30}) médio anual nos eventos El Niño, La Niña e anos Neutros durante uma fase quente e fria da Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), Santa Maria, RS, período 1979 – 2008.

EI_{30} (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹)			
Ano	Fase Quente da ODP	Ano	Fase Fria da ODP
El Niño			
1986- 1987	147,4	2002- 2003	219,9
1987- 1988	188,0	2004- 2005	173,7
1991- 1992	144,1	2006- 2007	177,7
1997- 1998	188,8	-	-
La Niña			
1984- 1985	179,3	1999- 2000	176,8
1988- 1989	197,6	2000- 2001	220,1
1998- 1999	165,8	2007- 2008	99,9
Neutros			
1979- 1980	153,1	2001- 2002	224,7
1980- 1981	172,5	2003- 2004	236,5
1985- 1986	157,6	2005- 2006	150,8
1989- 1990	131,1	-	-
1990- 1991	193,9	-	-
1992- 1993	134,4	-	-
1993- 1994	327,7	-	-
1996- 1997	153,1	-	-

Os resultados deste estudo ampliam as informações sobre o impacto de alterações na TSM sobre o regime pluviométrico de um local localizado no Sudeste da América do Sul que recebe o sinal do fenômeno ENOS. O detalhamento sobre as características das chuvas de um local que podem ser influenciadas por fenômenos atmosféricos de grande escala é importante para auxiliar os tomadores de decisões no planejamento das atividades agrícolas, na busca contínua de redução dos riscos das cadeias produtivas que envolvem agroecossistemas, que pela natureza de suas atividades são altamente dependentes das condições meteorológicas durante o ciclo de desenvolvimento das culturas agrícolas.

5 CONCLUSÕES

O potencial erosivo das chuvas em Santa Maria é afetado pelo fenômeno ENOS, de modo que um 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.

A distribuição de frequência do índice de erosividade EI_{30} de chuvas individuais é assimétrica positiva em anos de El Niño, La Niña e Neutros.

O padrão das chuvas é alterado em anos de anomalia da TSM no sentido de que nos anos El Niño, há acréscimo nas chuvas de padrão avançado e em anos La Niña há um decréscimo nas chuvas de padrão atrasado, enquanto que no padrão intermediário, decrescem o número de chuvas em anos de El Niño e La Niña comparado com anos Neutros.

A capacidade preditiva do potencial erosivo das chuvas em Santa Maria pelo Índice ION é muito fraca ou inexistente.

6 RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

Sugere-se que estudos sejam feitos relacionando o potencial erosivo das chuvas com outros padrões espaciais e temporais que afetam o tempo e o clima no Rio Grande do Sul e principalmente em Santa Maria, já que há indícios de existir outros padrões influenciando no índice de erosividade das chuvas além do fenômeno El Niño Oscilação Sul para esse local.

7 BIBLIOGRAFIAS

ALBERTO, C. M. et al. Água no solo e rendimento do trigo, soja e milho associados ao El Niño Oscilação Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, n 7. p. 1067-1075, jul. 2006.

ALBUQUERQUE, A.W. et al. Determinação de fatores da equação universal de perda de solo nas condições de Sumé, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 2, p. 180-188, abr - jun, 2005.

AMADO, T. J. C.; PROCHNOW, D.; ELTZ, F. L. F. Perdas de solo e água em períodos de anomalias climáticas: El Nino e La Nina no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 819-827, Jul – Set, 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: Ed. da UFRGS, 2003. 110 p.

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. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 5, p. 423-432, maio, 2005.

BURIOL, G. A. et al. Homogeneidade e estatísticas descritivas dos totais mensais e anuais de chuva de Santa Maria, Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, n. 4, v. 11, p. 89- 97, out – dez, 2006.

CABEDA, M. S. V. **Computation of storm EI values**. West Lafayette: Purdue University, USA, 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. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 10, n. 1, p. 147-152, Jan – Jun, 2002.

CANE, M. A. **Understanding and predicting the world's climate system**. In: Impacts of El Nino and climate variability on Agriculture. ASA Special Publication, Madison, 2001, p. 1-20.

CERA, J. C.; FERRAZ, S. E. T. Variabilidade interdecadal dos eventos chuvosos do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 15., 2008, São Paulo. **Anais...** São Paulo, Sociedade Brasileira Meteorologia, 2008. 1 CDROM.

COGO, C. M. et al. Erosividade das chuvas de Uruguaiana-RS, determinada pelo índice EI₃₀, no período de 1963-1990. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. 1 CDROM.

COGO, C. M.; ELTZ, F. L. F.; CASSOL, E. A. Erosividade das chuvas em Santa Maria, RS, determinada pelo índice EI₃₀. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Piracicaba, v. 14, n. 3, p. 309-317, Set – Dez, 2006.

CUNHA, G. R. El Niño Oscilação Sul e perspectivas climáticas aplicadas no manejo de culturas no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n.2, p. 277-284, Jul – Dez, 1999.

DEDECEK, R. A. Fatores de erosividade da chuva, enxurrada e perdas de solo sob condições de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.23, n.12, p.1431-1438, dez, 1988.

DIAZ, A. F.; STUDZINSKI, C. D.; MECHOSO, R. C. Relationship between precipitation anomalies in Uruguay and southern Brazil and sea surface temperature in the Pacific and Atlantic Oceans. **Journal of Climate**, Boston, v.11, p.251-271, FEV, 1998.

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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 1, n. 1, p. 123-127, Jan – Abr, 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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 485-493, Abr – Jun, 2001.

FLANAGAN, D. C.; FOSTER, G. R.; MOLDENHAUER, W. C. Storm pattern effect on infiltration, runoff and erosion. **Transaction of the American Society of Agricultural Engineering**, St. Joseph, n. 31, p. 414-420, MAR – ABR, 1988.

FONTANA, D. C.; BERLATO, M. A. Influência do El Niño Oscilação Sul sobre a precipitação pluvial no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n.1, p.127-132, Jan – Jun, 1997.

FONTANA, D. C.; ALMEIDA, T. S. Climatologia do número de dias com precipitação pluvial no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.10, n.1, p.135-145, Jan – Jun, 2002.

FOSTER, G. R. et al. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. **Journal Soil and Water Conservation**, Ankeny, n. 36, p. 355-359, 1981.

GLANTZ, M. H. Introduction. IN: GLANTZ, M. H; RICHARD, W. K.; NICHOLLS, N. **Teleconnection linking worldwide climate anomalies**. New York: Cambridge University, 2001, p. 43-72.

GOLDEN GATE WEATHER SERVICES. ENSO Years based on Oceanic Niño Index (ONI). On line. Disponível na Internet: <http://ggweather.com/enso/oni.htm>. Capturado em 15 de novembro de 2008.

GONÇALVES, F. A. et al. Índices e espacialização da erosividade das chuvas para o Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, n. 10, p. 269-276, abr – jun, 2006.

GRIMM, A. M. et al. Anomalias de precipitação no sul do Brasil em eventos El Niño. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 9., 1996. Campos do Jordão, SP. **Anais...** Campos do Jordão: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1996. v. 2, p.1098-1102.

GRIMM, A.; FERRAZ, S. E. T.; GOMES, J. Precipitation anomalies in southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. **Journal of Climate**, Boston, v.11, p.2863-2880, NOV., 1998.

GRIMM, A. M.; BARROS, V. R.; DOYLE, M. E. Climate variability in Southern South America associated with El Niño and La Niña events. **Journal of Climate**, Boston, v. 13, n. 01, p. 35-58, JAN., 2000.

HICKMANN, C. et al . Erosividade das chuvas em Uruguaiana, RS, determinada pelo índice EI₃₀, com base no período de 1963 a 2001. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 825-831, Abr, 2008.

HORNER, W.W.; JENS, S.W. Surface runoff determination from rainfall without using coefficients. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineering**, St. Joseph, n. 107, p.1039-1117, 1941.

HUDSON, N. **Soil conservation**. Ithaca, New York: Cornell University Press, 1977. 320 p.

_____. **Soil conservation**. Iowa: Iowa State University Press.1981.

JISAO.The Pacific Decadal Oscillation (PDO). On line. Disponível na Internet: <http://jisao.washington.edu/>. Capturado em 15 de novembro de 2008.

LAL, R. Soil erosion on Alfisols in Western Nigeria. Effects of rainfall characteristics. **Geoderma**, AJ Wageningen, v.16, n.15, p.389 – 401, 1976.

LIU, Z.; WU, L.; GALLIMORE, R.; Jacobs, R. Search for the origins of Pacific decadal climate variability, **Geophysical Research Letters** , West Lafayette, v. 29, n. 10, p. 1404, MAIO, 2002.

LOMBARDI NETO, F. **Rainfall erosivity – Its distribution and relationship with soil loss at Campinas, Brazil**. 53f. M.Sc. Dissertation. West Lafayette: Purdue University, 1977.

MANTUA, N. J. et al. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. **Bulletin of the American Meteorological Society**, Boston, n.78, p. 1069-1079, AGO, 1997.

MARENGO, J. A; OLIVEIRA, G. S. Impactos do fenômeno La Niña no tempo e clima do Brasil: desenvolvimento e intensificação do La Niña 1998/1999. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10, 1998. Brasília, DF. **Anais...** Brasília: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1998. 1 CDROM.

MEHL, H. U.et al. Caracterização de padrões de chuvas ocorrentes em Santa Maria (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 475-483, Abr – Jun, 2001.

MIELNICZUK, J.; SCHNEIDER, P. Aspectos sócios econômicos do manejo de solos no sul do Brasil. In: SIMPÓSIO DE MANEJO DO SOLO E PLANTIO DIRETO NO SUL DO BRASIL, 1, Passo Fundo. **Anais...** Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, p. 3 – 19, 1984.

MINOBE, S. Spatio-temporal structure of the pentadecadal variability over the North Pacific. **Progress in Oceanography**, Amsterdam ,v. 47, n. 2-4, p. 381-408, OUT, 2000.

MOLION, L. C. B. Aquecimento Global, El Niños, Manchas Solares, Vulcões e Oscilação Decadal do Pacífico, *Revista Climanalise*, ano 3, nº 1, 2005, <http://www6.cptec.inpe.br/revclima/revista>.

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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.12, n. 3, p. 285- 288, Set – Dez, 1988.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 46p.

MORGAN, R. P. C. **Soil erosion and conservation**. New York: Longman Scientific & Technical, 1986. 298p.

NOAA. **ENSO: Cold and warm episodes by season**. On line. Disponível na Internet: http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis_monitoring/insostuff/ensoyears.shtml. Capturado em 20 de setembro de 2008.

OLIVEIRA, G. S.; SATYAMURTY, P. O El Nino de 1997/98: Evolução e impactos no Brasil. In: X CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10, 1998, Brasília, DF. **Anais...** Brasília: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1998. 1 CDROM.

OLIVEIRA, V.; SOUSA A. J. S. Influencia da Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) na Precipitação no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 15, 2008, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2008. 1 CDROM.

PHILANDER, S. G. **El Niño, La Niña, and the Southern Oscillation**. Academic Press, New York, 1990. 293p.

RAO, V. B., HADA, K. Characteristics of rainfall over Brazil, annual variations and connections with the southern oscillation. **Theoretical and Applied Climatology**, Wien, v. 2, p. 81-91. JUN, 1990.

REBELLO, E. R. G. A Oscilação Decadal do Pacífico e sua possível influência no regime de precipitação do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14, 2006, Florianópolis, SC. **Anais...** Florianópolis, SC: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2006. 1 CDROM.

ROPELEWISKY, C. F.; HALPERT, M. S. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/ Southern Oscillation. **Monthly Weather Reviews**, Washington DC, v. 115, p. 1606-1626. AGO, 1987.

ROPELEWISKY, C. F.; HALPERT, M. S. Precipitation patterns associated with the high index phase of the southern oscillation. **Journal of Climate**, Boston, v. 2, p. 268-284. 1989.

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, Ciências Agrárias - **Resumos**, 2006, http://www.ufpel.edu.br/cic/2006/arquivos/conteudo_CA.html.

SANTOS, E. B. et al. 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, 2008, São Paulo. **Anais...** São Paulo, Sociedade Brasileira de Meteorologia 2008. 1 CDROM.

SILVA, A. B. et al. Mobilização do solo, erosão e produtividade de milho e feijão em um Regossolo no Agreste de Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, n. 34, p. 299-307, fev, 1999.

SILVA, L. F. **Precipitação do Norte do Nordeste Brasileiro E padrões de temperatura da superfície e pressão ao nível do mar: Relações com as fases do El Niño/Oscilação Sul e Oscilação Decadal do Pacífico**. 2007. 95 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

STRECK, N. A. et al. 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. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, p. 1452-1455, Ago, 2008.

STUDZINSKI, C. D. **Um estudo da precipitação na região sul do Brasil e sua relação com os oceanos Pacífico e Atlântico tropical e sul**. 1995. 79 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F. J. L. **Meteorologia Descritiva: Fundamentos e Aplicações Brasileiras**. São Paulo: Nobel, 1980, p. 374.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. Centro de Ciências Rurais. **Uso Manejo e Conservação do solo**. Santa Maria, [2004]. p. 99, impresso.

VAREJÃO – SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Recife, 2006. Versão digital 2. http://www.agritempo.gov.br/tmp/Meteorologia_Climatologia.pdf.

VIANA, D. R.; DEWES, C. F.; FERREIRA, N. J. Variabilidade da precipitação na cidade de Porto Alegre-RS associada às fases da Oscilação Decadal do Pacífico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 15, 2008, São Paulo. **Anais...** São Paulo, Sociedade Brasileira de Meteorologia 2008. 1 CDROM.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia Básica e Aplicações**. Viçosa: Ed. UFV, 2002, p. 449.

WAGNER, C. S.; MASSAMBINI, O. Análise da relação intensidade de chuva: energia de Wischmeier & Smith e sua aplicabilidade à região de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.12, n.3, p.197-203, Set – Dez, 1988.

WANG, C.; PICAUT, J. Understanding ENSO physics — A review. In: WANG, C.; XIE, S. P.; CARTON, J. A. **Earth Climate: The Ocean-Atmosphere Interaction**. Washington: American Geophysical Union, 2004. p. 21-69.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Rainfall energy and its relationships to soil loss. **Transactions of the American Geophysical Union**, Washington, DC, v. 39, p.285-291, 1958.

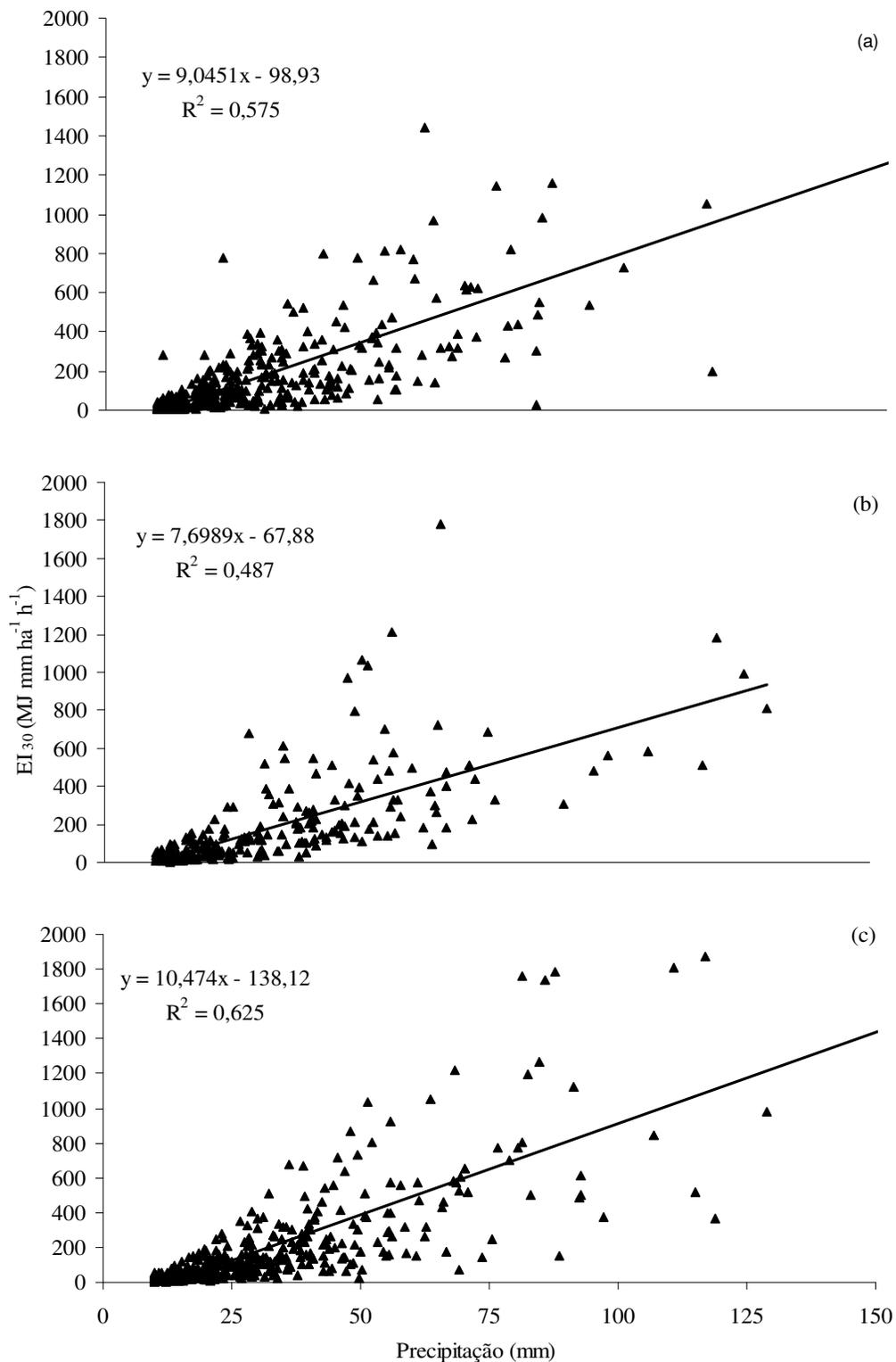
WISCHMEIER, W. H. A rainfall erosion index for a universal soil-loss equation. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 23, p. 246-249, 1959.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning**. Maryland: USDA. Agriculture Handbook, 1978, 58 p.

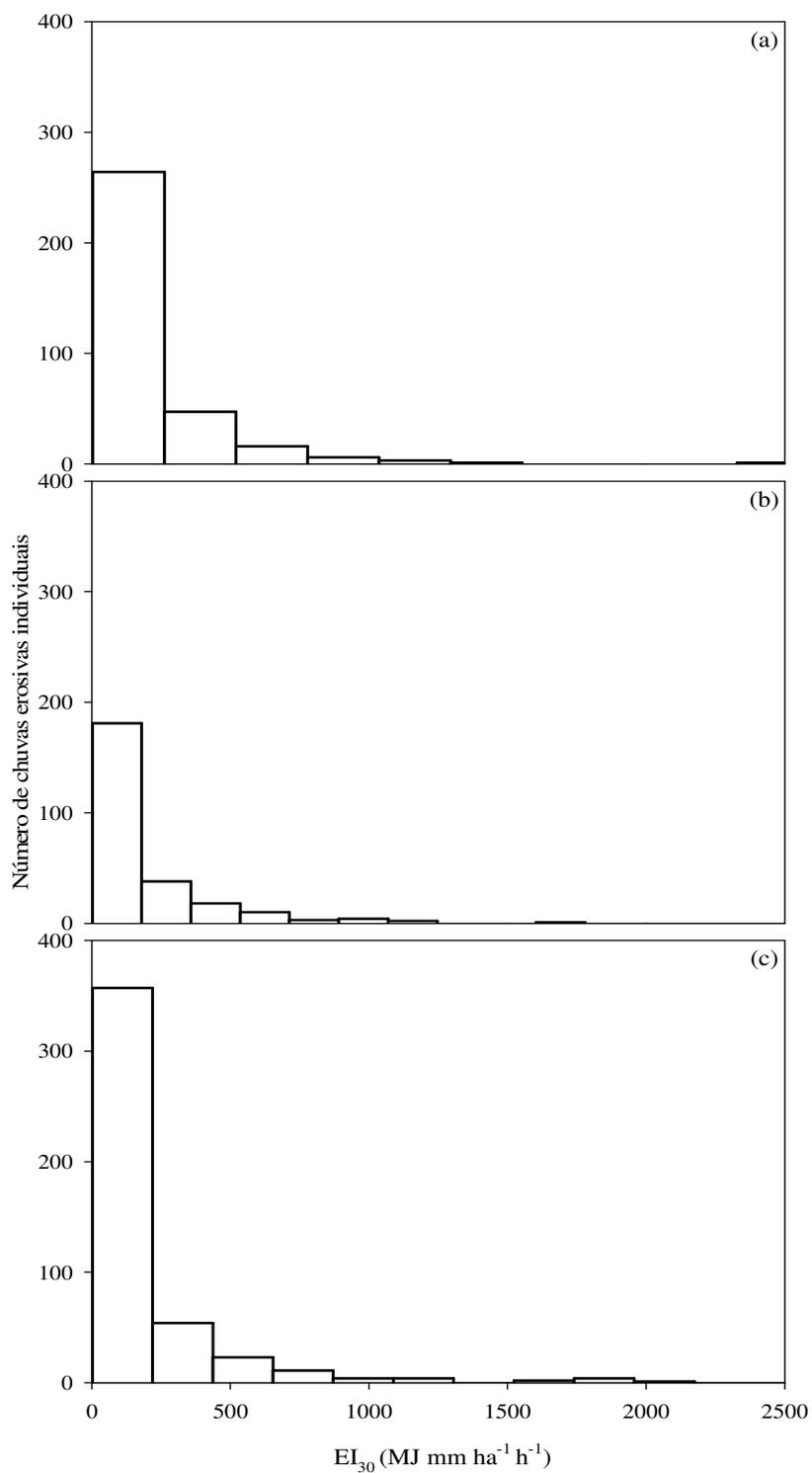
8 APÊNDICES



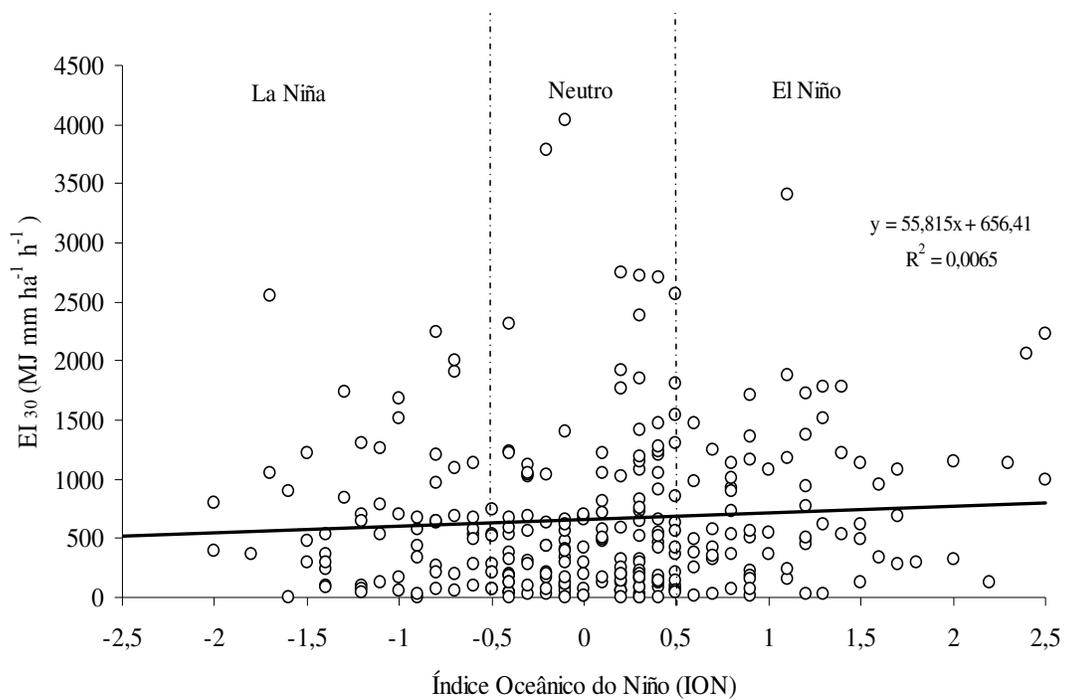
APÊNDICE A – Relação entre o Índice de Erosividade EI_{30} e a precipitação das chuvas erosivas nas datas com problemas de registro nos pluviogramas: (a) Anos de El Niño; (b) Anos de La Niña e (c) Anos Neutros.



APÊNDICE B – Histogramas de distribuição da frequência das chuvas erosivas individuais nas classes do Índice de Erosividade EI_{30} em (a) anos de El Niño, (b) anos de La Niña e (c) anos Neutros, em Santa Maria, RS, período 1978 – 2008.



APÊNDICE C – Relação entre o Índice de erosividade EI₃₀ mensal e o Índice Oceânico do Niño (ION) mensal, em Santa Maria, RS, período 1979 – 2008.



APÊNDICE D – Relação entre o valor máximo absoluto do Índice de erosividade EI_{30} e o valor máximo do Índice Oceânico do Niño (ION), em Santa Maria, RS, período 1979 – 2008.

