

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL  
SHS-0342 - TRABALHO DE GRADUAÇÃO**

**Estudo da precipitação e índices de extremos  
climáticos na região de São Carlos - SP**

Aluno: Henrique Taveira Pio  
Orientador: Prof. Dr. Frederico Yuri Hanai

Monografia apresentada ao curso de  
graduação em Engenharia Ambiental da  
Escola de Engenharia de São Carlos da  
Universidade de São Paulo.

São Carlos, SP  
2012

Henrique Taveira Pio

Estudo da precipitação e índices de extremos climáticos  
na região de São Carlos – SP

Monografia apresentada ao curso de  
graduação em Engenharia Ambiental da  
Escola de Engenharia de São Carlos da  
Universidade de São Paulo.

Orientador: Prof. Dr. Frederico Yuri  
Hanai

São Carlos, SP  
2012

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Atendimento ao Usuário do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

P662e      Rio, Henrique Taveira  
Estudo da precipitação e índices de extremos  
climáticos na região de São Carlos - SP. / Henrique  
Taveira Rio; orientador Frederico Yuri Hanai. -- São  
Carlos, 2012.

Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) --  
Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade  
de São Paulo, 2012.

1. Precipitação. 2. Temperatura da superfície do mar  
(TSM). 3. El niño. I. Título.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Professor Doutor Frederico Yuri Hanai, que tornou possível a realização desse estudo e muito contribuiu com a minha formação pessoal e acadêmica, auxiliando a vencer as dificuldades encontradas na realização do trabalho.

Ao Mestrando Luis Eduardo Godoi, pelo auxílio na obtenção de dados e elaboração da parte computacional deste trabalho, que muito somou no conhecimento desta área.

Ao Mestre José Luciano Marques, pela ajuda na orientação para elaboração da parte escrita do presente trabalho.

Ao Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada – CRHEA, por colocar a disposição os dados de precipitação diária da região de São Carlos, sem os quais não seria possível a elaboração deste trabalho.

## RESUMO

O Município de São Carlos localiza-se no sudeste do Brasil, no interior de São Paulo (entre as longitudes 47°30' e 48°30' Oeste e latitudes 21°30' e 22°30' Sul) e inclui uma área de 1140 km<sup>2</sup>. Os objetivos desse trabalho foram a análise de dados de precipitação e determinação de índices de extremos climáticos para a região de São Carlos. O período de estudo foi de 1973 a 2010. As séries de precipitação usadas neste estudo foram obtidas da estação meteorológica do CRHEA/USP. Foram analisados dados de precipitação diária neste trabalho. Estes dados foram agrupados e trabalhados por meio de parâmetros estatísticos no software Microsoft Excel, de modo a fornecer, além de gráficos das series anuais, os índices de estudo em questão, que traduzem o comportamento das chuvas na região estudada. Tal comportamento, segundo estudos, e também comprovado pela observação e interpretação dos resultados obtidos, apresenta correlações positivas significativas com eventos de *El Niño* e correlações negativas com eventos de *La Niña*. Ou seja, em anos em que se observa a ocorrência do fenômeno *El Niño* há uma tendência de aumento nos índices pluviométricos, enquanto que em anos de *La Niña* observa-se o contrário. Estes dois fenômenos são provocados por anomalias na Temperatura da Superfície do Mar (TSM). A partir da análise dos resultados é possível determinar em quais épocas são mais frequentes as condições climáticas extremas, e algumas medidas preventivas que podem ser tomadas.

**Palavras-chave:** Precipitação, Temperatura da Superfície do Mar (TSM), *El Niño*

## **ABSTRACT**

The City of São Carlos is located in southeastern Brazil, in São Paulo (between the latitudes 21°30' and 22°30'S and longitudes 47°30' and 48°30' W) and includes an area of 1,140 km<sup>2</sup>. The objectives of this study were the analysis of rainfall data and determination of indices of climate extremes for the region of São Carlos. The study period was from 1973 to 2010. The precipitation series used in this study were obtained from the CRHEA/USP's meteorological station. It was analyzed daily rainfall data in this work. These data were grouped together and worked through statistical parameters using Microsoft Excel software, to provide graphics of annual series, as well as the indices of study in question, which reflect the behavior of rainfall in the region studied. Such behavior, according to studies and also confirmed through observation and interpretation of the results, has a significant positive correlation with El Niño events and negative correlations with La Niña. In other words, in the years observed with occurrence of El Niño, there is a trend of increase in rainfall, while in La Niña years we see the opposite. These two phenomena are caused by anomalies in sea surface temperature (SST). From the analysis of the results is possible to determine in which periods are more frequent extreme weather conditions, and some preventive measures that can be taken.

**Keywords:** rainfall, sea surface temperature (SST), El Niño

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	2
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	3
3.1 Climatologia clássica X Climatologia dinâmica .....	3
3.2 Bacia hidrográfica e balanço hídrico.....	5
3.3 Fenômeno <i>El Niño</i> .....	6
3.4 Fenômeno <i>La Niña</i> .....	12
<b>4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b> .....	13
<b>5 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	18
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	23
<b>7 CONCLUSÃO</b> .....	37
<b>8 BIBLIOGRAFIA</b> .....	39

## 1. INTRODUÇÃO

A interferência de fenômenos da natureza na vida do homem se mostra cada vez mais evidente. Ultimamente foram observadas grandes tragédias como tsunamis, terremotos, tornados, furacões, inundações provenientes de altos índices pluviométricos, secas severas e mais prolongadas, que comprometem a saúde humana e agricultura, e a geração de alimentos entre outros fatores. Os fenômenos que afetam diretamente a vida de milhares de pessoas ao longo do planeta, alguns gerando inclusive várias mortes e comprometendo seriamente a economia e desenvolvimento de determinadas regiões, trazem um novo panorama da relação entre o ser humano e o ambiente em que ele vive.

A natureza desses fenômenos está relacionada com a participação antrópica na intensificação ou mudança dos mesmos. Alguns desses fenômenos podem ser gerados por fatores de escala local, normalmente associados à ação antrópica, ou de escala global, geralmente provocados por origens naturais, como anomalias marinhas, atmosféricas e na crosta terrestre. Esses fatores têm influência direta no meio ambiente e como consequência afetam também diretamente a sociedade, gerando problemas relacionados à infra-estrutura de cidades, à saúde da população, à catástrofes e à prejuízos nas atividades econômicas.

A produção de energia hidroelétrica e também a agricultura estão diretamente relacionados com a precipitação e no Brasil, grande parte da energia provém de hidrelétricas. Grandes inundações, problemas com deslizamentos de terra e soterramento de pessoas já foram registrados no país, e esses problemas estão relacionados principalmente com a impermeabilização do solo, supressão de vegetação, falta de infra-estrutura adequada, falta de previsão de fenômenos e dificuldade de remoção de pessoas de áreas irregulares ou de risco.

Assim sendo, as variações regionais do comportamento dos elementos meteorológicos de ocorrências periódicas sujeitam as atividades humanas a altos riscos e insucessos. Essa variabilidade está relacionada com a circulação atmosférica global. Alguns fenômenos que podemos citar e que segundo estudos geram essa variabilidade são o *El Niño* – Oscilação Sul (ENOS) e o *La Niña* (SOUSA, 2006).

Estes fenômenos interferem diretamente nas condições climáticas do Brasil em várias regiões, e vários relatos estão associados aos efeitos desses fenômenos

no país, como é o caso das grandes inundações causadas pelo *El Niño* na região de Itajaí-SC nos anos de 1982/1983 que trouxeram graves problemas para a região rural e urbana do local, gerando enormes prejuízos e deixando a região em estado de emergência durante meses. Segundo o “Atlas de Desastres Naturais do Estado de Santa Catarina, publicado em 2007 pela Secretaria de Estado de Segurança Pública e Defesa do Cidadão”, a década de 80 foi marcada por inundações que deixaram marcas profundas na memória dos catarinenses. Em julho de 1983, devido a efeito intenso do fenômeno *El Niño*, as chuvas deixaram um saldo de 197.790 desabrigados e 49 mortos em 90 municípios do Estado. As inundações daquele ano vitimaram as populações de Blumenau, Itajaí e Rio do Sul. Em Itajaí, a chuva deixou 42,3% da população local desabrigada, um total de 40 mil pessoas, além de 5 mortos. No ano de 1984, novas inundações ocorridas em todo o Estado no mês de agosto resultaram em 155.200 desabrigados e 2 mortos.

Na região de São Carlos, existem também relatos sobre problemas relacionados à grande quantidade de precipitação, principalmente quando o fenômeno do *El Niño* foi registrado. O local mais crítico para a vazão de toda a água drenada localiza-se no centro da cidade, próximo ao mercado municipal, por se tratar de um ponto baixo da cidade e onde há a junção de alguns córregos. Assim, o presente trabalho pode auxiliar na minimização dos danos e prejuízos nesta e em outras regiões da cidade, nos períodos com maior chance de haver grandes precipitações, ou seja, em anos de *El Niño* e em meses chuvosos, principalmente.

Desse modo, a análise climática fornece ferramentas fundamentais para o conhecimento espacial de diferentes regiões e organização das atividades econômicas, sendo fundamental na tomada de decisões e auxiliando na melhoria de sistemas de gestão ambiental.

## **2. OBJETIVOS**

Este trabalho tem como objetivos:

- Estudar as características de precipitação da região de São Carlos por meio da determinação de índices climáticos e elaboração e interpretação de gráficos de dados de precipitação diária da estação do CRHEA/USP, além de buscar relações entre as variações de precipitação com fenômenos registrados pelo CPTCE/INPE,

como o *El niño*, causados pela influência da temperatura da superfície do mar na dinâmica da atmosfera.

- Contribuir para a sociedade e a comunidade científica com análise do comportamento do clima da região de São Carlos, observando padrões, por meio de dados estatísticos e índices climáticos obtidos a partir dos parâmetros da estação do CRHEA/USP e auxiliar na previsão de eventos e possíveis medidas a serem tomadas para a melhoria das atividades econômicas e saúde da população local.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1. Climatologia clássica X Climatologia dinâmica**

No Brasil, duas abordagens de clima são as mais adotadas: a climatologia clássica e a climatologia dinâmica. A principal diferença entre as duas é quanto à interação dos elementos do tempo (meteorológico) entre si no espaço e no tempo, sendo que a climatologia clássica não leva em consideração essa interação, enquanto que na climatologia dinâmica essa interação tem papel muito importante. A abordagem dinâmica se mostra ainda pouca utilizada, se comparada com a abordagem tradicional. Mas o que se observa, é que a abordagem dinâmica vem ganhando cada vez mais espaço no cenário de climatologia entre os pesquisadores, devido ao conhecimento dos mecanismos atmosféricos junto com a compreensão dos elementos climáticos de maneira integrada, considerando-se a interdependência entre esses elementos (CUNHA e VECCHIA, 2007).

Segundo Silva (2005 p. 1), o clima tem papel importante na organização espacial de uma determinada região, pois ele faz parte do seu sistema natural e fornece recursos a população, e também expressa a relação entre a sociedade e a organização social e econômica do espaço urbano. Eventos climáticos extremos podem afetar a qualidade de vida da população e as atividades econômicas (MENDES, 2001).

Existe uma diferença básica entre clima e tempo. Clima é o conjunto de elementos estudados através de registros meteorológicos ao longo de vários anos, enquanto que tempo expressa as condições atmosféricas observadas em um determinado instante na atmosfera. O clima é o sistema de fenômenos meteorológicos que representam o estado médio da atmosfera sobre determinada região. Essa idéia é a base da climatologia clássica, porém não traduz na íntegra a

realidade, já que não leva em consideração a interação dos elementos do tempo (meteorológico) entre si, no espaço e no tempo. Esta interação se dá principalmente porque esses elementos não são estáticos, artificiais ou subjetivos (HANN, 1882 *apud* SILVA, 2005 p. 92).

Na visão de W. Köppen (1906) *apud* Monteiro (1991), clima é o estado médio da atmosfera e o processo ordinário de tempo em dado instante em uma região, sendo que o tempo meteorológico se altera, porém, o clima se mantém constante. Nessa visão, o tempo representa o que é observado em um dado instante do tempo, como um evento pontual, enquanto que clima representa o que é esperado, baseado em registros prévios. O que é considerado nessa definição ainda são valores médios do clima.

Sorre (1957) *apud* Cunha e Vecchia (2007) define o clima como o ambiente atmosférico composto pela série de estados da atmosfera de uma região, em sua sucessão habitual. Essa visão é considerada um divisor de águas na climatologia, e Max Sorre é considerado por alguns como sendo o precursor da climatologia dinâmica. Ele assume que os estados atmosféricos variam com o tempo cronológico e também com certo ritmo. A análise rítmica estuda o clima segundo seus elementos integrados na unidade “tempo”, considerando o clima em uma sucessão diária. Esse ritmo está associado à atuação dos fluxos atmosféricos, que são determinados por centros de pressão, revelando a gênese dos fenômenos climáticos. Todos esses fenômenos estão associados à transferência meridional de energia na Terra, do Equador para os pólos (CARACRISTI, 2002 *apud* CUNHA e VECCHIA, 2007).

### **3.2. Previsão de Chuvas**

Através da observação de imagens de satélites que mostram a posição e o deslocamento das massas de ar, as estações meteorológicas conseguem prever as chuvas. Com outros dados como umidade, ventos, temperaturas, conseguem prever, com elevado índice de precisão, a quantidade de chuvas e o horário. (INPE, 2011)

### 3.3. Bacia hidrográfica e balanço hídrico

Normalmente o ciclo hidrológico é estudado com maior interesse na fase terrestre, onde o elemento de análise é a bacia hidrográfica. A bacia hidrográfica é a região de captação natural dos fluxos de água oriundos da precipitação, que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, chamado exutório. Uma bacia hidrográfica requer a definição de um corpo d'água, de um ponto ou seção de referência, ao longo deste corpo d'água, e de informações do relevo da região (Agencia Nacional de Águas – ANA, 2011).

A bacia hidrográfica pode ser considerada um sistema físico, sujeito a entradas de água (provenientes principalmente de chuvas) que gera saídas de água (escoamento e evapotranspiração). A bacia hidrográfica transforma uma entrada concentrada no tempo (precipitação) em uma saída relativamente distribuída no tempo (escoamento).

As características fundamentais de uma bacia referentes ao relevo são:

- Declividade;
- Área;
- Comprimento da drenagem principal.

A declividade média da bacia e do corpo d'água principal são características que interferem diretamente no tempo que a água leva para percorrer todo o sistema.

A área é um dado fundamental para definir a quantidade de água drenada em uma bacia, uma vez que a bacia é a região de captação da água de precipitação. Desse modo, a lâmina precipitada num intervalo de tempo multiplicada pela área da bacia fornece o volume de água recebido ao longo deste intervalo de tempo. Para se estimar a área de uma bacia hidrográfica pode se fazer a delimitação dos divisores de água da bacia em um mapa topográfico.

O comprimento da drenagem principal também é uma característica fundamental da bacia hidrográfica porque está relacionado com o tempo que a água leva para percorrer todo o sistema. O tempo entre o momento em que a gota de água da chuva atinge a região mais remota da bacia até o momento em que ela chega ao exutório é chamado de tempo de concentração da bacia.

O tempo de concentração de uma bacia diminui com o aumento da declividade. A cidade de São Carlos possui um relevo acidentado, repleto de morros e pouco plano, sendo a maioria do seu território com algum tipo de declividade.

Logo, é importante ter isso em mente quanto à dinâmica hidrológica da região, pois com altas declividades tem-se um alto nível de escoamento superficial.

- Outras características importantes da bacia:

A geologia, os tipos de solos, a vegetação e o uso e ocupação do solo são outras características importantes da bacia hidrográfica que não estão diretamente relacionadas ao relevo. Os tipos de solos e a geologia vão determinar a quantidade de água da chuva que vai infiltrar no solo e a quantidade que vai escoar superficialmente. A vegetação reduz a formação do escoamento superficial e altera a evapotranspiração. O uso do solo pode alterar as características naturais da região, alterando o comportamento hidrológico de uma bacia, modificando a quantidade de água que infiltra, que escoar e que evapora. O balanço entre entradas e saídas de água em uma bacia hidrográfica é denominado balanço hídrico, onde a entrada de água se dá pela precipitação e a saída de água ocorre pela evapotranspiração potencial e pelo escoamento (MOSTER *et al.*,2003).

A partir das características hidrológicas da bacia e das características climatológicas da região em diferentes épocas do ano é possível determinar o comportamento do escoamento d'água na bacia, e na área urbana, por exemplo. Conhecendo-se bem estes fatores, pode-se tomar medidas para evitar ou minimizar eventos indesejáveis, como chuvas intensas que geram grande quantidade de água na bacia e conseqüente escoamento excessivo, além de problemas relacionados a uso e ocupação do solo, problemas ambientais e sociais, inundações, desabamentos de habitações em áreas de risco, congestionamentos, entre outros problemas.

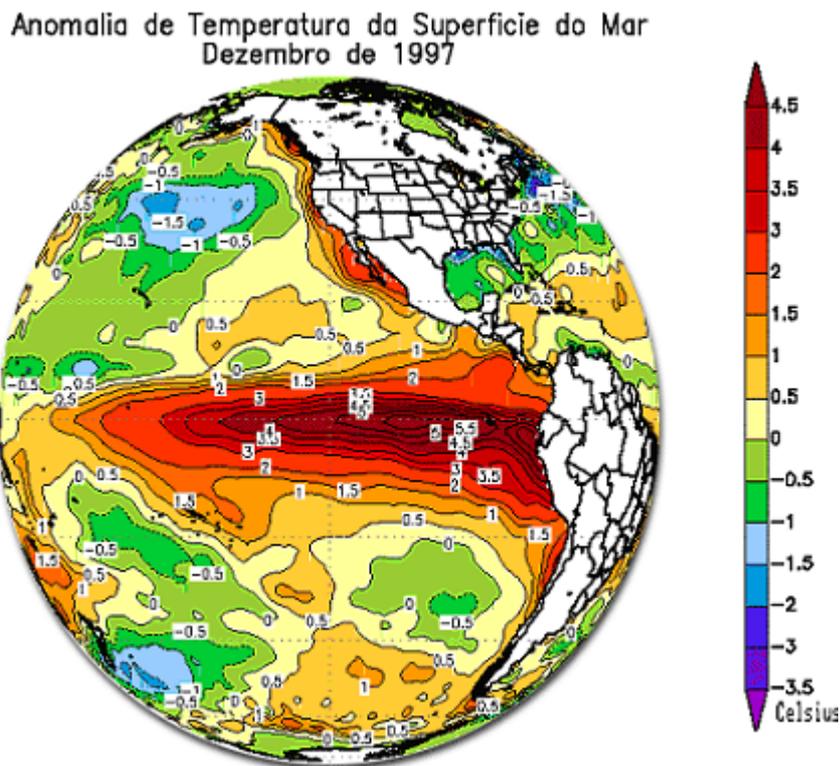
### **3.4. Fenômeno *El Niño***

Um elemento do sistema climático da Terra é representado pela interface da superfície dos oceanos e da baixa atmosfera logo acima deles. Os processos de troca de calor e de umidade entre eles determinam o comportamento do clima, e mudanças destes processos podem afetar o clima regional e global.

O *El Niño* é um fenômeno que provoca o aquecimento das águas superficiais e sub-superficiais do Oceano Pacífico Equatorial. Atualmente, as anomalias do sistema climático que são mundialmente conhecidas como *El Niño* e *La Niña* causam modificações no sistema oceano-atmosfera no Oceano Pacífico

tropical, e tem influência no tempo e no clima em todo o planeta. Neste panorama percebe-se a atenuação dos ventos alísios (que sopram de leste para oeste) na região equatorial. Com esse aquecimento das águas do oceano e com a atenuação dos ventos, observam-se alterações na circulação da atmosfera nos níveis baixos e altos, causando mudanças nos padrões de transporte de umidade, gerando também mudanças na distribuição das precipitações em regiões tropicais e de latitudes médias e altas. Em algumas regiões da Terra observa-se também aumento ou queda de temperatura (GRIMM, 2004).

A figura a seguir mostra a situação em dezembro de 1997, no pico do fenômeno *El Niño* 1997/98.



**Figura 1.** Anomalia de TSM em dezembro de 1997. Fonte: CPTEC/INPE (2011).

As graduações avermelhadas mostram regiões com valores acima da média e as graduações azuladas as regiões com valores abaixo da média climatológica. Pode-se notar a região no Pacífico Central e Oriental com valores positivos, indicando a presença do *El Niño*.

O ENOS, ou *El Niño* Oscilação Sul representa um processo de interação atmosfera-oceano, ligado a modificações dos padrões normais da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) e dos ventos alísios na região do Pacífico Equatorial, entre a Costa Peruana e o Pacífico oeste próximo à Oceania.

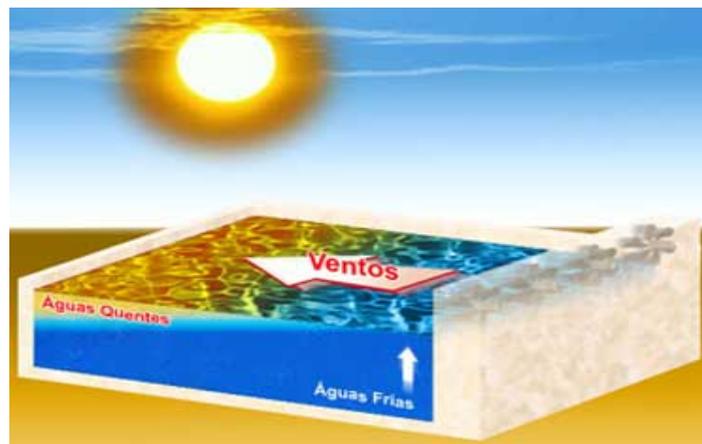
O fenômeno ENOS pode ser também mensurado pelo Índice de Oscilação Sul (IOS), que representa a diferença entre a pressão ao nível do mar entre o Pacífico Central (Taiti) e o Pacífico do Oeste (Darwin/Austrália).

O IOS está ligado a modificações na circulação atmosférica nos níveis baixos da atmosfera, consequência do aquecimento/resfriamento das águas da superfície da região. Valores negativos e positivos deste índice são indicadores da ocorrência do *El Niño* e *La Niña*, respectivamente.

Eventos de *El Niño* e *La Niña* tem uma tendência a se alternar a cada tres a quatro anos. Entretanto, de um evento para outro o intervalo pode variar de um a dez anos.

Algumas vezes, estes dois eventos tendem a ser intercalados por condições normais (GRIMM, 2004).

Modelo simplificado do fenômeno do *El Niño*:



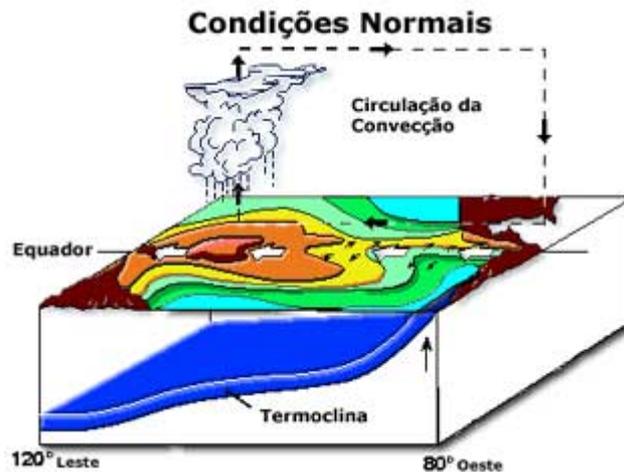
**Figura 2.** Ilustração do fenômeno do *El Niño* Fonte: CPTEC/INPE (2011).

Imagine uma piscina (obviamente com água dentro), num dia ensolarado, coloque numa das bordas da piscina um grande ventilador, de modo que este seja da largura da piscina, ligue o ventilador, o vento irá gerar turbulência na água da piscina. Com o passar do tempo, você observará um represamento da água no lado da piscina oposto ao ventilador e até um desnível, ou seja, o nível da água próximo ao ventilador será menor que do lado oposto a ele, e isto ocorre porque o vento está "empurrando" as águas quentes superficiais para o outro lado, expondo águas mais frias das partes mais profundas da piscina.

É exatamente isso que acontece no Oceano Pacífico sem a presença do *El Niño*, ou seja, é esse o padrão de circulação que é observado normalmente. O ventilador representa os ventos alísios e a piscina, é claro, o Oceano Pacífico Equatorial. Águas com temperaturas mais elevadas são observadas no Oceano Pacífico Equatorial Oeste. Próximo à costa oeste da América do Sul as águas do Pacífico são um pouco mais frias. Assim, no Pacífico Oeste, pela temperatura das águas do Oceano serem mais altas, há mais evaporação. Com a evaporação, há a formação de nuvens numa grande área. Para que haja a formação de nuvens o ar teve que subir. Por outro lado, em regiões com o ar vindo das camadas mais altas da troposfera (entre a superfície e cerca de 15 km de altura) para os níveis mais baixos raramente há a formação de nuvens de chuva. A atmosfera é compensatória, ou seja, se o ar sobe numa determinada região, deverá descer em outra. Se em níveis baixos da atmosfera (perto da superfície) os ventos são de oeste para leste, em níveis altos ocorre o oposto, ou seja, os ventos são de leste para oeste.

Deste modo, o ar que sobe no Pacífico Equatorial Central e Oeste e desce no Pacífico Leste (próximo à costa oeste da América do Sul), juntamente com os ventos alísios em níveis baixos da atmosfera (de leste para oeste) e os ventos de oeste para leste em níveis altos da atmosfera, forma o que os Meteorologistas denominam de célula de circulação de Walker.

A figura a seguir, mostra a célula de circulação de Walker, e também o padrão de circulação em todo o Pacífico Equatorial em anos normais, ou seja, quando não há o fenômeno *El Niño*.



**Figura 3.** Circulação no Oceano Pacífico Equatorial quando não há o fenômeno *El Niño* ou *La Niña*, ou seja, anos normais. Fonte: CPTEC/INPE (2011).

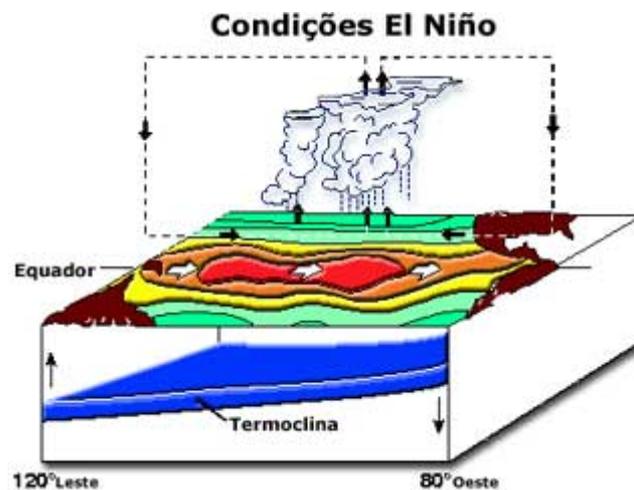
A célula de circulação com movimentos ascendentes no Pacífico Central/Ocidental e movimentos descendentes no oeste da América do Sul e com ventos de leste para oeste, próximos à superfície (ventos alísios, setas brancas) e de oeste para leste em altos níveis da troposfera é a chamada célula de Walker. No Oceano Pacífico, observa-se a região com águas mais quentes representadas pelos tons avermelhados e mais frias pelos tons azulados. Percebe-se também a inclinação da termoclina, mais rasa na costa oeste da América do Sul e mais profunda no Pacífico Ocidental.

O que se vê na figura acima é que há uma região chamada de termoclina em que ocorre uma rápida mudança na temperatura do oceano. Esta região separa as águas mais quentes (acima desta região) das águas mais frias (abaixo desta região). Os ventos alísios "empurrando" as águas mais quentes para oeste, fazem com que a termoclina fique mais rasa a leste, expondo as águas mais frias.

Voltando ao modelo simplificado proposto:

Desligue o ventilador, ou ponha-o em potência mínima. Agora, o arrasto que o vento estava causando na água da piscina irá cessar ou diminuir. As águas do lado contrário ao ventilador refluirão para que o mesmo nível seja observado em toda a piscina. O Sol continuará esquentando a piscina e as águas deverão ter a

mesma temperatura em todos os pontos da piscina. O ventilador desligado ou em potência mínima, reproduz o enfraquecimento dos ventos alísios. Repare que os ventos não param de soprar. Agora, todo o Oceano Pacífico Equatorial começa a esquentar. E o aquecimento gera evaporação com movimento ascendente que por sua vez gera a formação de nuvens. A diferença agora é que ao invés de percebermos a formação de nuvens com intensas chuvas no Pacífico Equatorial Ocidental, vamos perceber a formação de nuvens principalmente no Pacífico Equatorial Central e Oriental.



**Figura 4.** Padrão de circulação observada em anos de *El Niño* na região equatorial do Oceano Pacífico. Fonte: CPTEC/INPE (2011).

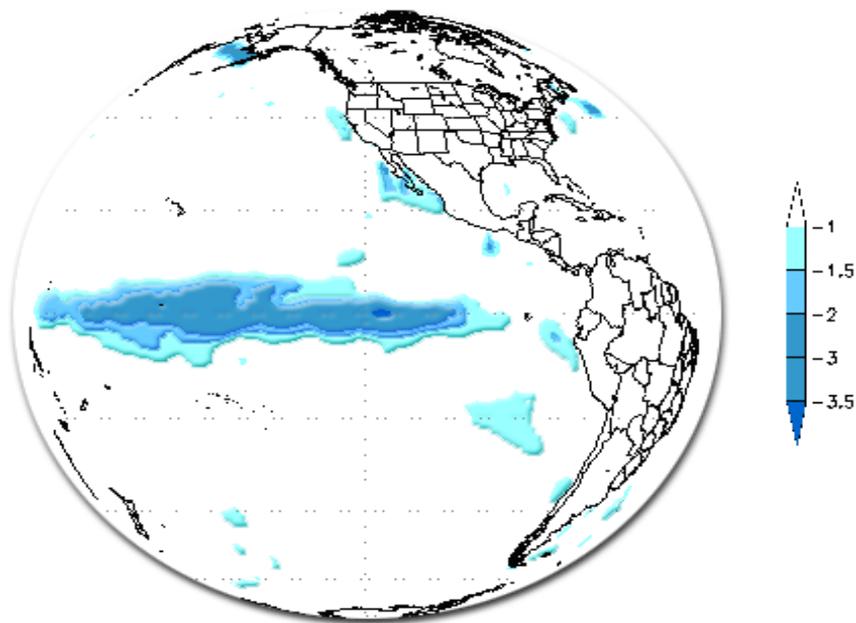
Observa-se que os ventos próximos à superfície, em alguns casos, podem até a mudar de sentido, ou seja, podem ficar de oeste para leste. Ocorre um deslocamento da região com maior formação de nuvens e a célula de Walker fica bipartida. Pode se observar águas quentes em praticamente toda extensão do Oceano Pacífico Equatorial. A termoclina fica mais aprofundada junto à costa oeste da América do Sul principalmente devido ao enfraquecimento dos ventos alísios.

### 3.5. Fenômeno *La Niña*

O fenômeno *La Niña* corresponde ao oposto do fenômeno *El Niño*, ou seja, resfriamento das águas do Oceano Pacífico Equatorial, e embora seja óbvio imaginar que suas características sejam exatamente opostas as do *El Niño*, deve-se saber que existe sim relação, porém com algumas diferenças. (COMPAGNUCCI, 2000).

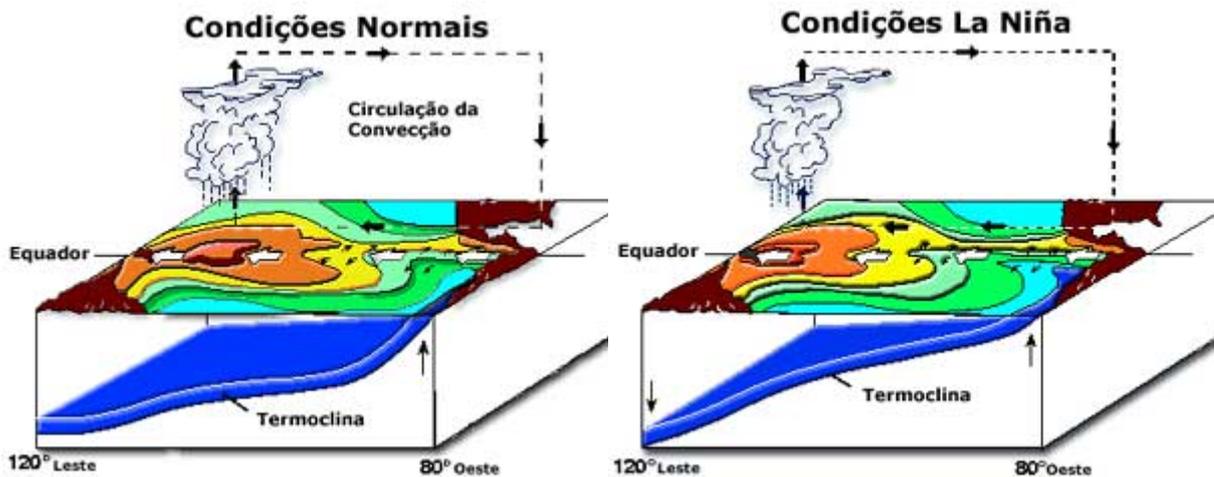
A principal diferença, além da variação da temperatura, é que no fenômeno do *El Niño* a variação média pode chegar facilmente a até 5°C e no fenômeno *La Niña* a variação de temperatura raramente atinge os 4°C. (GRIMM, A. M., 2004).

A seguir então uma ilustração do fenômeno, como foi feito no caso do *El Niño*:



**Figura 5.** Anomalia de temperatura da superfície do mar em dezembro de 1988. (Plotadas somente as anomalias negativas menores que -1°C.)

Fonte: CPTEC/INPE (2011).



**Figura 6.** Comparação entre condições normais e condições com ocorrência de *La Niña*. Fonte: CPTEC/INPE (2011).

#### 4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Em 1976 foi implantado pela USP, o Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada — CRHEA com o objetivo inicial de fomentar a pesquisa e o desenvolvimento na exploração e proteção dos recursos naturais. Desde então, o CRHEA transformou-se em um grande complexo de laboratórios e instalações de campo, em área de 84 hectares junto à Represa do Lobo, localizada entre os municípios de Itirapina e Brotas, no Estado de São Paulo.

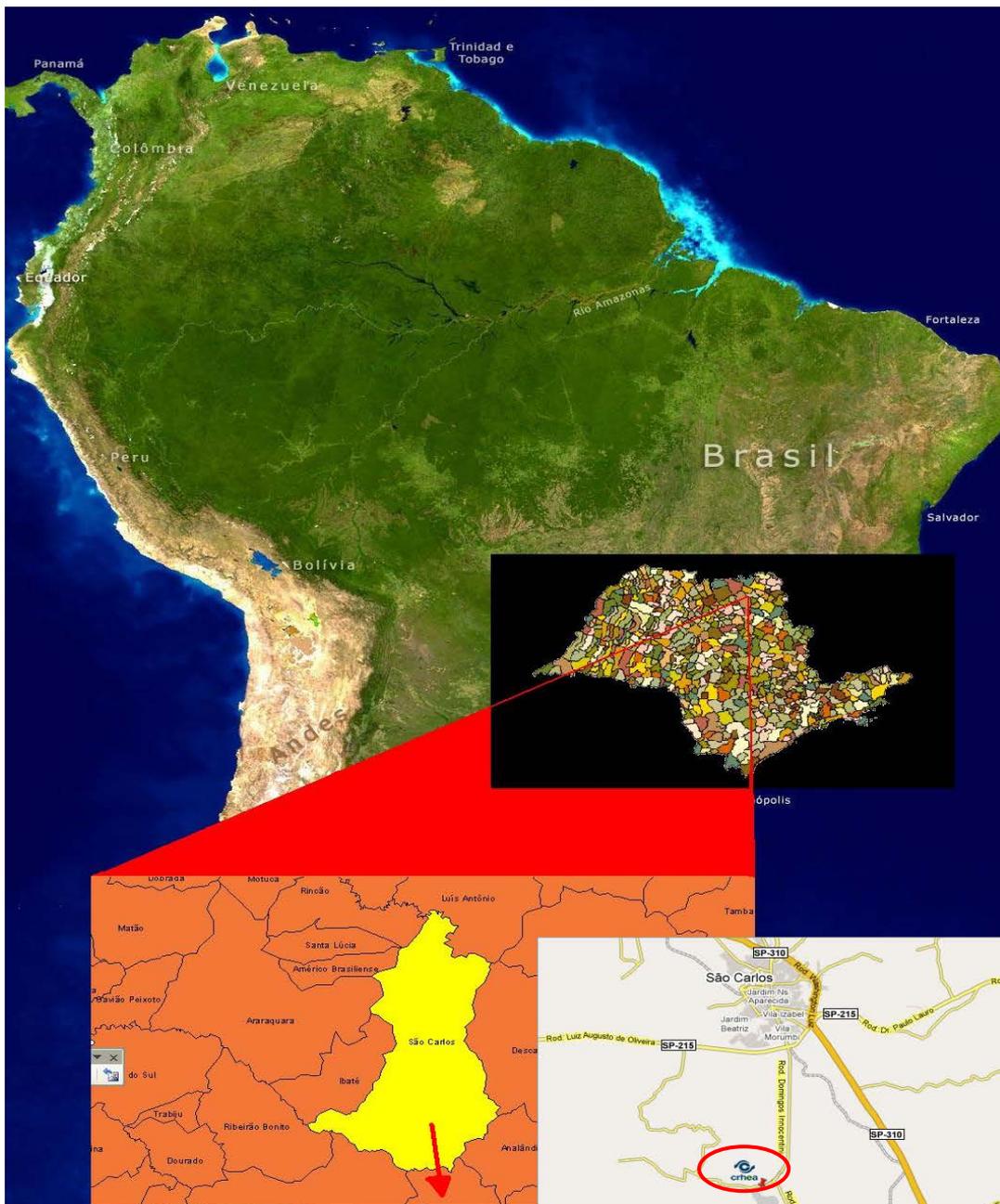
O CRHEA constitui-se em centro departamental, filiado ao SHS, distando 16 Km da cidade de São Carlos. Com o Centro, começou-se a esboçar, mais nitidamente, o perfil do programa de pós-graduação, pois os Laboratórios de Hidrobiologia, Hidráulica e Meteorologia, localizados próximos à Represa do Lobo, já indicavam a preocupação com os aspectos qualitativos e quantitativos dos recursos ambientais.

A Estação Climatológica instalada no CRHEA está capacitada a efetuar as medidas meteorológicas de interesse para o Programa e monitoramento climatológico da região. Informações sobre precipitação, vento, umidade relativa,

evaporação, radiação solar são compiladas todos os anos, e constitui um importante acervo da Estação.

Devido ao fato da área da obtenção de dados (CRHEA) estar próxima a área estudada (São Carlos), os resultados obtidos são confiáveis, já que não existem grandes variações entre as regiões..

A seguir, um mapa com a localização da estação meteorológica do CRHEA/USP (Itirapina – SP):



**Figura 7.** Estação do CRHEA. Fonte: Google Maps (2011)



**Figura 8.** Foto aérea da estação meteorológica do CRHEA/USP

Fonte: Google Earth (2011)

Localizada no centro geográfico do Estado de São Paulo, a cidade de São Carlos possui clima ameno, com temperatura média anual de 19,6 °C, e altitudes médias entre 800 e 1.000 metros. Está a uma distância de aproximadamente 233 km da capital paulista, 140 km de Campinas, 100 km de Ribeirão Preto e também é vizinha da cidade de Araraquara.

O cerrado foi a vegetação original predominante, ocorrendo nos terrenos arenosos do planalto. Sobre as manchas de solos férteis existia vegetação de Mata Atlântica. Hoje, ainda há áreas de cerrado e fragmentos de mata preservada, incluindo vários exemplares de araucária de grande porte, árvore-símbolo da cidade.

Dados do município de São Carlos: (Prefeitura Municipal de São Carlos, 2011)

» **Limites de coordenadas**

47°30´ e 48°30´ Longitude Oeste

21°30´ e 22°30´ Latitude Sul

**» Municípios vizinhos**

Ibaté, Itirapina, Rincão, Santa Lúcia, Analândia, Luís Antônio, Araraquara, Descalvado, Brotas, Américo Brasiliense e Ribeirão Bonito

**» Áreas**

Total: 1.132 km<sup>2</sup> (IGC) / 1.141 Km<sup>2</sup> (IBGE 2009)

Urbana: 67,25km<sup>2</sup> - 6% da área total

Urbana ocupada: 33km<sup>2</sup>

**» Altitude**

Média: 856 metros

Mínima: 520 metros

Máxima: 1000 metros

**» Clima**

Temperado de altitude, apresenta verão chuvoso e inverno seco.

Precipitação de 1512mm.

Classificação Climática de Koeppen: Cwa

Características (segundo Koeppen – Cwa):

- Climas mesotérmicos
- Temperatura média do ar dos 3 meses mais frios compreendidas entre -3 °C e 18 °C
- Temperatura média do mês mais quente > 10 °C
- Estações de Verão e Inverno bem definidas
- Chuvas de Verão
- Temperatura média do ar no mês mais quente  $\geq 22$  °C

Cwa\* : clima temperado de altitude úmido com Inverno seco e Verão quente

\*Este é um sistema de classificação global dos tipos climáticos mais usados em geografia, que classifica diferentes regiões do planeta de acordo com semelhanças nas características do clima.

**» Umidade Relativa do Ar média**

Verão: 76%

Inverno: 54%

**» População**

221.936 habitantes (CENSO IBGE/2010)

## MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir estão alguns instrumentos utilizados na estação do CRHEA para obtenção de dados de precipitação:

- Pluviômetro – mede a quantidade de precipitação pluvial (chuva), em milímetros (mm)



**Figura 9.** Pluviômetro. Fonte: CRHEA – EESC/USP (2011)

- Pluviógrafo – Registra temporalmente a quantidade de precipitação pluvial em milímetros (mm)



**Figura 10.** Pluviógrafo. Fonte: CRHEA – EESC/USP (2011)

Para obtenção dos dados da pesquisa foram utilizados estes dois equipamentos, sendo que o pluviômetro realizou a medição da quantidade precipitada de chuva em mm e o pluviografo realizou o registro, em papel, desta medição.

O foco deste estudo foi avaliar o comportamento das chuvas quando fenômenos meteorológicos foram observados. Para tal, foi utilizada uma tabela de registros de ocorrência dos fenômenos de *El Niño* e *La Niña*, divulgada pelo INPE/CPTEC. A análise dos dados e gráficos comprovou que estes fenômenos estão diretamente relacionados com a dinâmica de precipitação.

Também foi feito um estudo para verificar registros da influência desses fenômenos na região. Para tal, foi realizada uma pesquisa em registros históricos sobre ocorrências de enchentes e inundações na região de São Carlos.

Também foi realizada uma pesquisa sobre produção anual de cana-de-açúcar (em toneladas) na região de Itirapina na tentativa de identificar uma relação entre a produção agrícola da região com os fenômenos *El Niño* e *La Niña*. Por insuficiência de dados representativos (somente dados de 2004 a 2010), a influência desses fenômenos na produção de cana-de-açúcar, não é conclusiva e será somente citada.

A partir de dados de precipitação diária da estação meteorológica do CRHEA, de 1973 a 2010, foram gerados gráficos de séries anuais de precipitação além de onze índices de eventos climáticos extremos definidos conforme o "Expert Team on Climate Change Detection Monitoring and Indices (ETCCDMI)". (ZHANG, 2005)

Estes índices são muito úteis para a determinação das características climatológicas de uma determinada região, pois eles levam em conta diversos parâmetros, como intensidade e duração de eventos de chuva, dias consecutivos sem chuva, dias consecutivos com chuva, média de precipitação dos dias em que houve chuva, entre outros.

Os índices estão mostrados e explicitados na Tabela 1. A avaliação e homogeneização dos dados, assim como os cálculos dos índices, foram feitos utilizando-se o *software Microsoft Excel*.

Através da utilização do *software* com ferramentas estatísticas e gráficas, e dos dados pluviométricos da estação do CRHEA, foi possível a determinação dos índices climáticos e dos referidos gráficos. Por meio das planilhas, as equações foram definidas de acordo com o que representa cada índice e foram estabelecidos, para cada ano, índices como máxima precipitação em 1 dia, em 5 dias, precipitação total anual, entre outros. E com esses resultados foram plotados os gráficos de series anuais do período de estudo, para comparação com eventos de *El Niño* e *La Niña*.

Através da análise e interpretação dos dados e gráficos é possível determinar quais períodos, no tempo estudado (1973 a 2010) tiveram condições mais extremas, e ter uma noção das tendências climáticas para eventos futuros.

**Tabela 1.** Legenda dos Índices Climáticos.

Índices	Definição	Unidades
Rx1day	Máxima precipitação em 1 dia	mm
Rx5day	Máxima precipitação em 5 dias consecutivos	mm
SDII	Media anual da precipitação quando PRCP $\geq$ 1 mm	mm
R10mm	Número de dias em um ano quando PRCP $\geq$ 10 mm	dias
R20mm	Número de dias em um ano quando PRCP $\geq$ 20 mm	dias
R50mm	Número de dias em um ano quando PRCP $\geq$ 50 mm	dias
DCS	Máximo número de dias consecutivos secos com PRCP $\leq$ 1 mm	dias
DCU	Máximo número de dias consecutivos úmidos com PRCP $\geq$ 1 mm	dias
R95p	Dias úmidos quando PRCP > 95p	mm
R99p	Dias extremamente úmidos quando PRCP > 99p	mm
PRCPTOT	Precipitação Total Anual quando PRCP $\geq$ 1 mm	mm

\*PRCP = Dados diários de precipitação

\*p = parcela de % dos dias mais úmidos

ex: Dias úmidos quando PRCP > 95p significa a quantidade de chuva precipitada nos 5% de dias mais úmidos.

Para a realização do presente estudo, os resultados obtidos foram comparados com eventos históricos registrados de *El Niño* e *La Niña*, para verificar se existe alguma relação entre a quantidade, duração e intensidade da precipitação na região com estes fenômenos.

A seguir, uma tabela com os registros de ocorrência de *El Niño* e *La Niña*.

### Ocorrência de El Niño

1877 - 1878	1888 - 1889
1896 - 1897	1899
1902 - 1903	1905 - 1906
1911 - 1912	1913 - 1914
1918 - 1919	1923
1925 - 1926	1932
1939 - 1941	1946 - 1947
1951	1953
1957 - 1959	1963
1965 - 1966	1968 - 1970
1972 - 1973	1976 - 1977
1977 - 1978	1979 - 1980
1982 - 1983	1986 - 1988
1990 - 1993	1994 - 1995
1997 - 1998	2002 - 2003
2004 - 2005	2006 - 2007
2009 - 2010	-

Legenda: Forte Moderada Fraco

#### Fontes de Informações

Rasmusson e Carpenter 1983, Monthly Weather Review, Ropelewski e Halpert 1987, Monthly Weather Review. Cold episode sources Ropelewski e Halpert 1989, Journal of Climate. Climate Diagnostics Bulletin. A intensidade dos ventos é baseada no padrão e magnitude das anomalias da TSM do Pacífico Tropical.

### Ocorrência do La Niña

1886	1903 - 1904
1906 - 1908	1909 - 1910
1916 - 1918	1924 - 1925
1928 - 1929	1938 - 1939
1949 - 1951	1954 - 1956
1964 - 1965	1970 - 1971
1973 - 1976	1983 - 1984
1984 - 1985	1988 - 1989
1995 - 1996	1998 - 2001
2007 - 2008	-

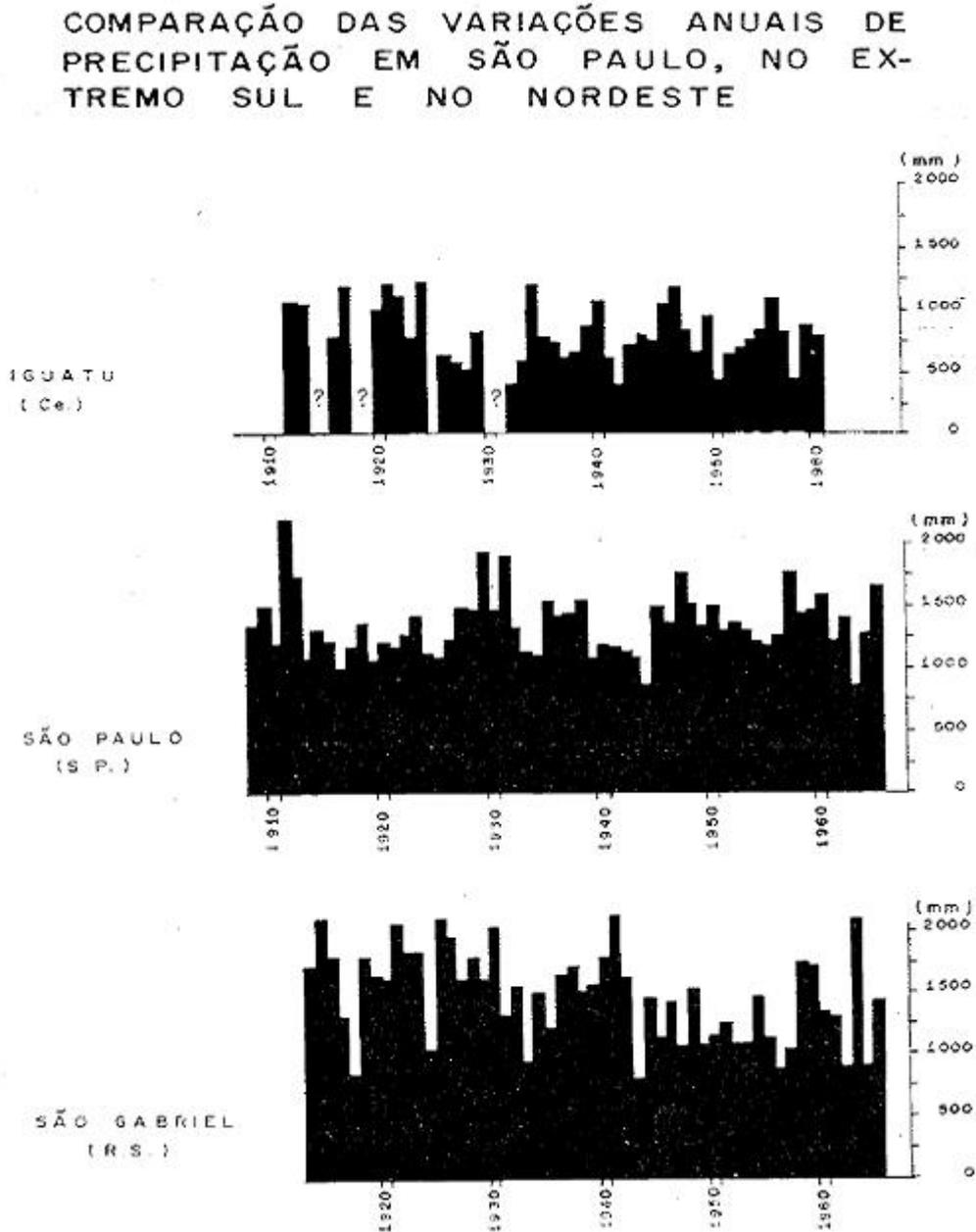
Legenda: Forte Moderada Fraco

#### Fontes de Informações

Rasmusson e Carpenter 1983, Monthly Weather Review, Ropelewski e Halpert 1987, Monthly Weather Review. Cold episode sources Ropelewski e Halpert 1989, Journal of Climate. Climate Diagnostics Bulletin. A intensidade dos ventos é baseada no padrão e magnitude das anomalias da TSM do Pacífico Tropical.

**Figura 11.** Anos de ocorrência de *El Niño* e *La Niña*. Fonte: CPTEC/INPE (2011)

Monteiro (1971) já realizava estudos utilizando análise rítmica do clima ao longo do tempo em uma determinada região, no caso São Paulo, semelhantes aos realizados no presente estudo. Como mostrado na figura a seguir:



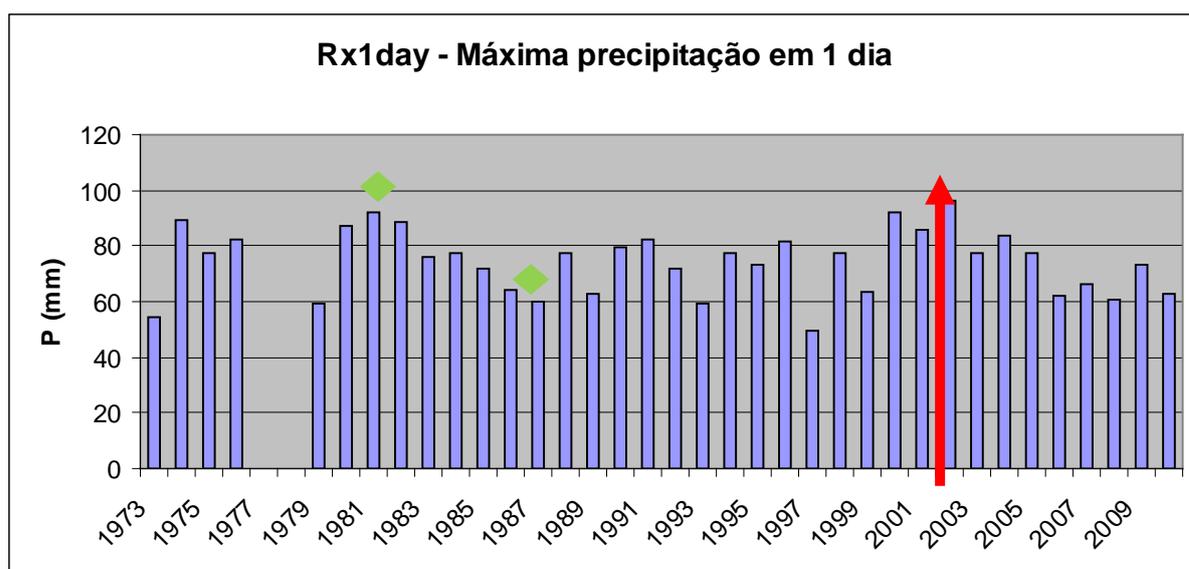
**Figura 12.** Comparação das variações anuais de precipitação em São Paulo, no extremo sul e no nordeste Fonte: MONTEIRO (1971)

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir estão apresentados os gráficos de séries anuais dos onze índices obtidos da região São Carlos no período de 1973 a 2010.

Foi observado que os dados dos anos de 1977 e 1978 estavam indisponíveis, e por isso, para estes anos não foi possível estabelecer nenhum tipo de análise.

O índice “Máxima precipitação em 1 dia” possibilita analisar eventos isolados, em que há grande quantidade de água na bacia devido à precipitação, o que contribui para problemas de inundação e alto escoamento superficial. Fazendo uma análise rítmica do gráfico, percebe-se uma alternância nos valores desse índice, num intervalo próximo ao citado anteriormente em relação aos fenômenos de *El Niño* e *La Niña* de aproximadamente entre três e sete anos. Por exemplo, nos anos de 1980, 1981 e 1982 observa-se valores elevados no gráfico (P em torno de 90 mm), depois estes valores são menores até atingir um valor mínimo local em 1987 (P = 60 mm), depois o comportamento do gráfico apresenta de novo um acréscimo e posteriormente, de novo, valores menores e assim sucessivamente. O menor valor apresentado foi no ano de 1997 (P = 50 mm) e o maior em 2002 (P = 98 mm).

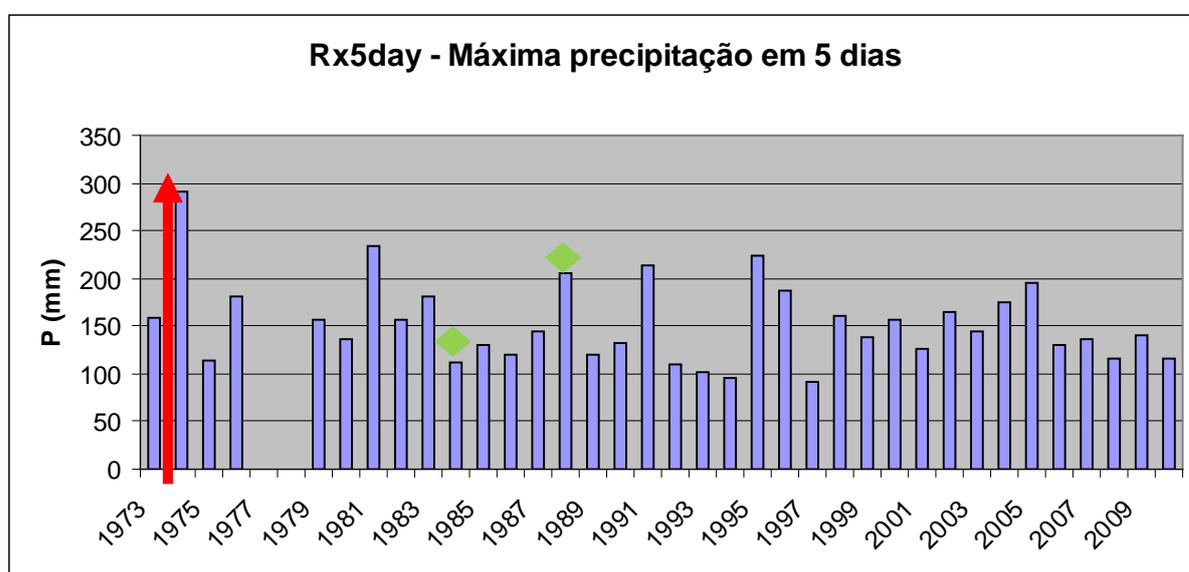


→ *El Niño moderado*

◆ Anos comentados no texto

**Figura 13.** Mostra para cada ano do período analisado, a máxima precipitação em 1 dia, ou seja, a quantidade de chuva precipitada no dia em que mais choveu.

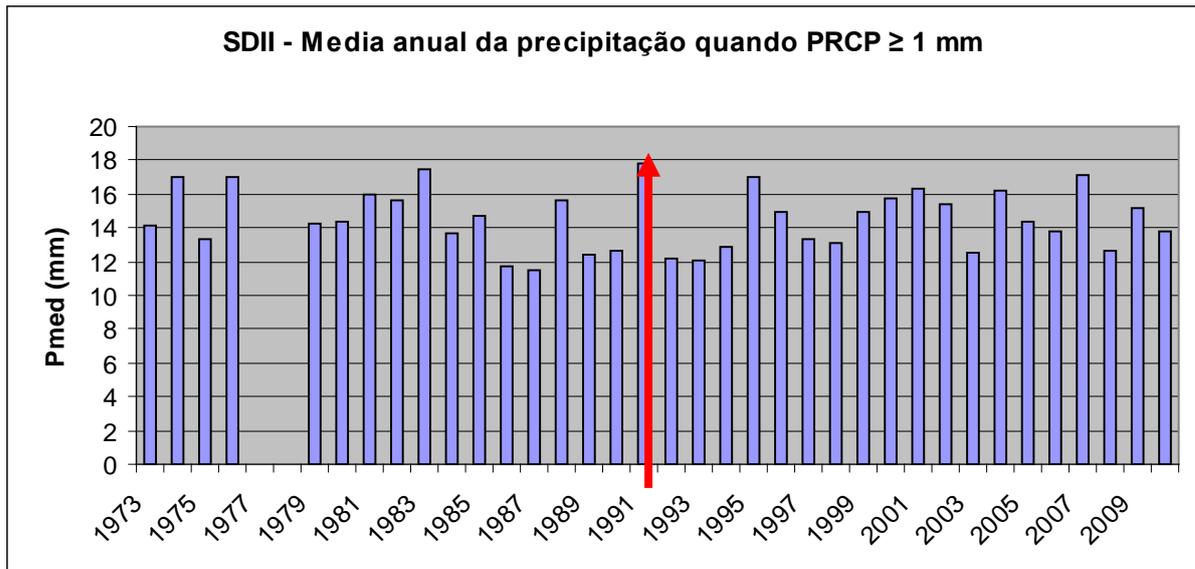
O índice de máxima precipitação em 5 dias também apresenta um padrão semelhante ao da Figura 13. No ano de 1974, houve um pico ( $P = 290\text{mm}$ ), porém, segundo o CPTEC/INPE (2011), não houve registro de *El Niño* neste ano, mas antes, em 1972 e 1973, o evento foi registrado como forte. Depois esse valor decresce, voltando em 1988 a atingir um valor mais elevado que os anos adjacentes ( $P = 210\text{ mm}$ ), passando por valores baixos entre cada período de alta pluviosidade como no ano de 1984 em que se observou fenômeno de *La Niña* Moderado ( $P = 110\text{ mm}$ ).



→ Não houve registro de *El Niño*      ◆ Anos comentados no texto

**Figura 14.** Representa, para cada ano, a máxima precipitação em cinco dias, ou seja, a quantidade precipitada nos cinco dias em que mais choveu.

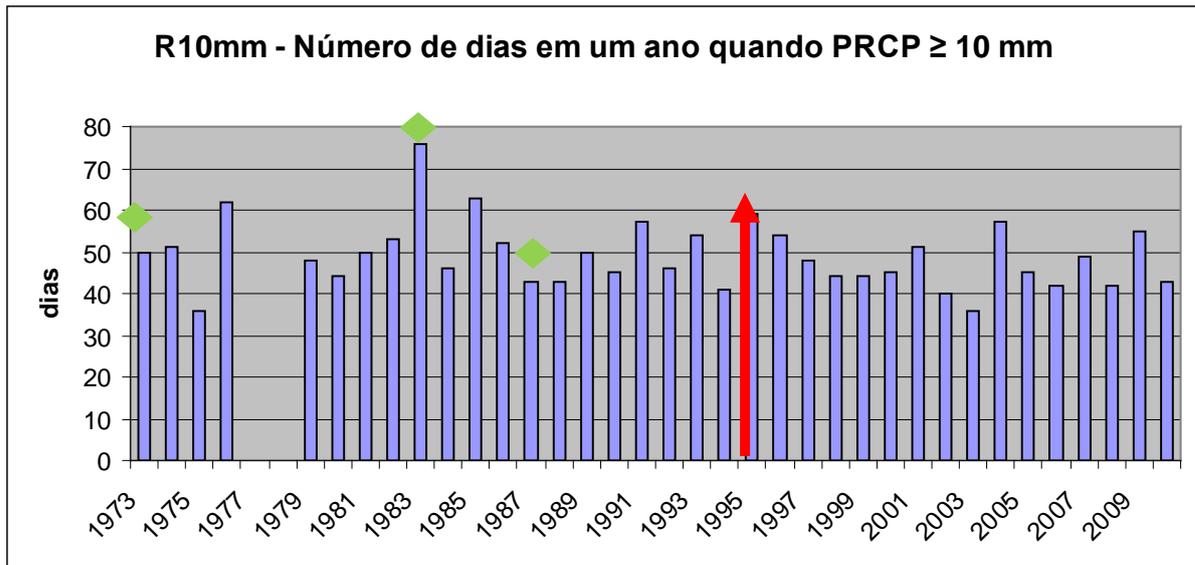
O índice SDII leva em consideração somente os dias em que houve precipitação. É feita a soma das quantidades precipitadas (em mm) em todos os dias chuvosos, então se divide esse valor pelo número de dias em que houve precipitação, descartando os dias sem chuva, obtendo-se assim a média anual da precipitação dos dias chuvosos. O ano de 1991 teve a maior média registrada (17,78 mm).



→ **El Niño Forte**

**Figura 15.** Mostra a média anual da precipitação dos dias em que houve precipitação (PRCP  $\geq$  1 mm)

Apesar do próximo índice não ser de precipitação (mm), mas sim de número de dias em um ano, onde houve precipitação superior a 10 mm, ele também apresenta a mesma variação dos gráficos anteriores. Então nos anos com chuvas mais intensas (por exemplo em 1983), além da ocorrência de maior intensidade de chuva, ocorreu também maior frequência de chuvas, ou seja, choveu muito e também houve muitos dias com chuva. E nos anos com chuvas menos intensas (por exemplo em 1973 e 1987), também se observou menor número de dias com chuva.

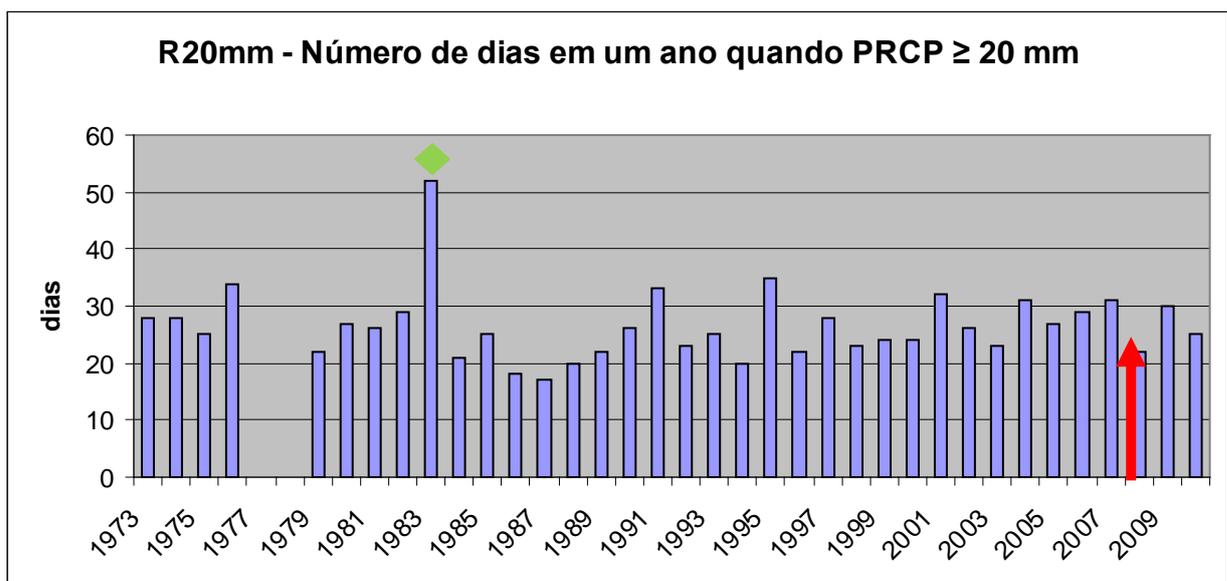


➔ **El Niño moderado**

◆ **Anos comentados no texto**

**Figura 16.** Apresenta o numero de dias em que houve precipitação igual ou superior a 10 mm.

Também se observa comportamento semelhante no índice R20mm. No ano de 1983 temos o maior valor (52 dias), justamente no ano dos fenômenos ocorridos em Itajaí, já citados anteriormente. E em 2008 temos um valor baixo neste índice quando foi de efeito intenso do *La Niña*.

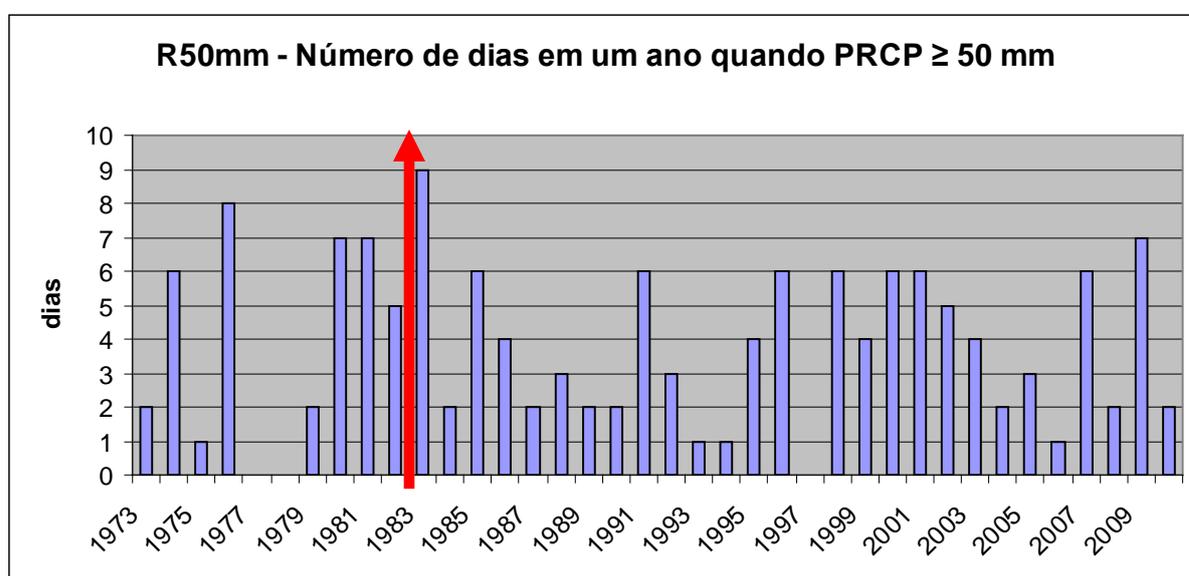


➔ **La Niña forte**

◆ **Ano comentado no texto**

**Figura 17.** Representa o numero de dias em um ano em que houve precipitação maior ou igual a 20 mm.

O índice R50mm é muito representativo numa determinada região, como numa grande cidade, já que estes dias com alto índice pluviométrico são os que apresentam maiores chances de haver inundações, alagamentos, deslizamentos, entre outros. A representação deste índice tem uma variação no gráfico maior, já que uma precipitação destas acontece poucas vezes por ano. O maior valor observado foi de 9 dias em 1983. Mas também se observa uma periodicidade entre os valores, semelhantes aos outros gráficos.



→ **El Niño forte**

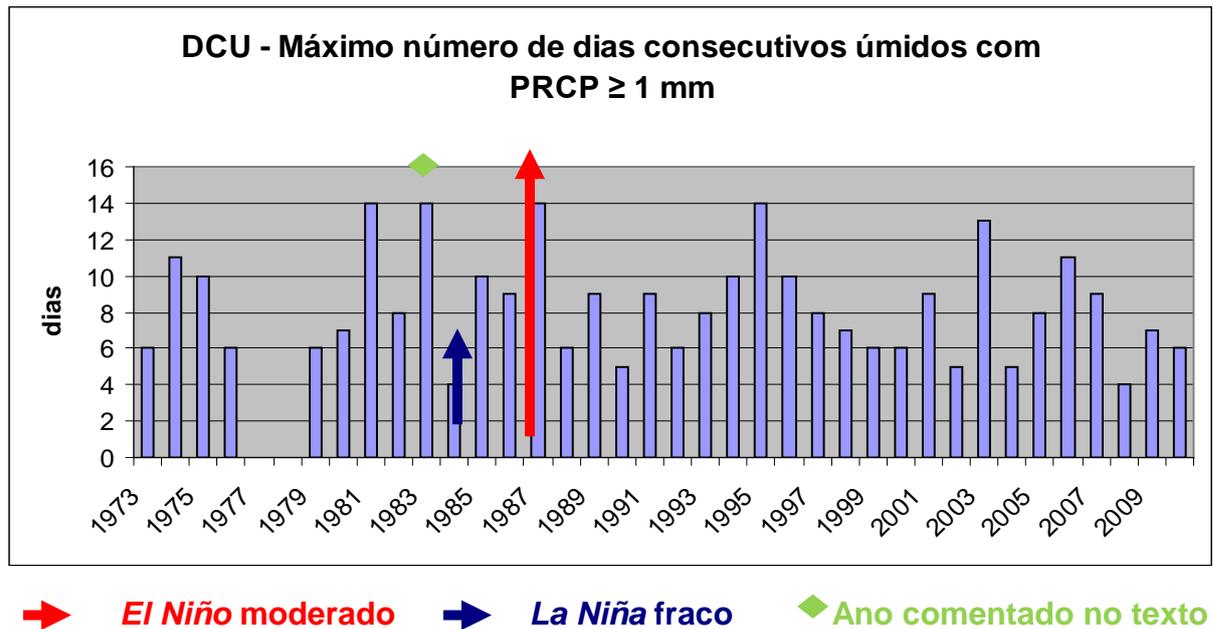
**Figura 18.** Representa o número de dias em um ano que tiveram precipitação maior ou igual a 50mm.

O que se nota no índice DCS é que, em anos já analisados antes apresentando índices baixos de precipitação como nos anos de 1984 e 1988, também se observa um grande número de dias consecutivos sem chover. Ou seja, além de haver pouca quantidade de água precipitada, há também um grande número de dias consecutivos sem precipitação. Enquanto que nos anos com altos índices pluviométricos, o número de dias consecutivos sem chuva é menor.



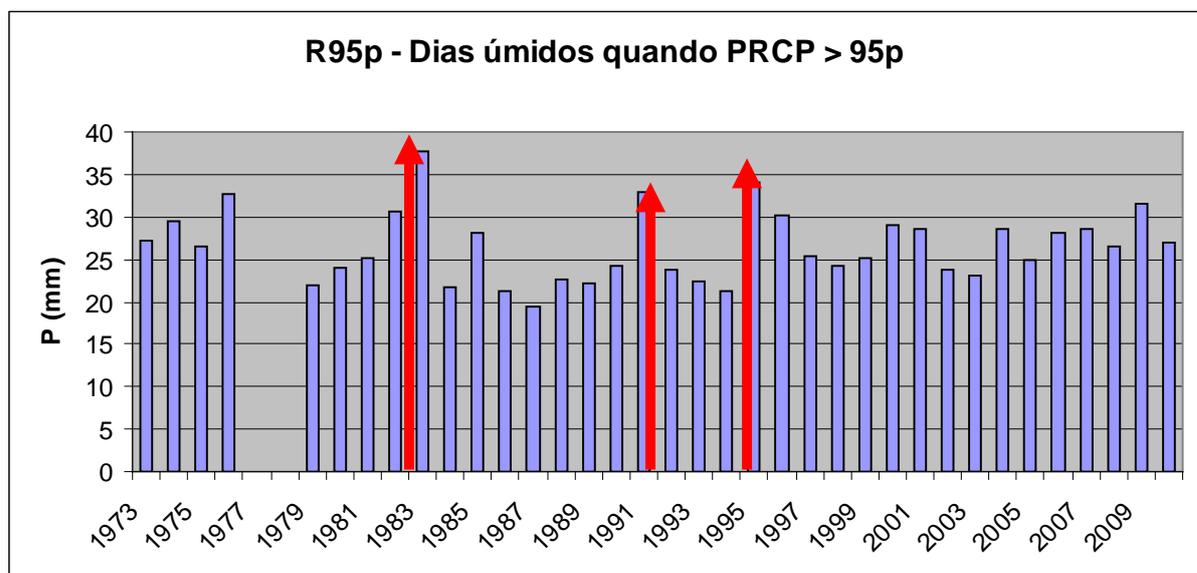
**Figura 19.** Mostra o maior número de dias consecutivos secos em um ano, ou seja, o máximo número de dias onde não houve precipitação.

Em anos já analisados antes, apresentando índices altos de precipitação como nos anos de 1983 e 1987, também se observa um grande número de dias consecutivos com ocorrência de chuva (DCU). Ou seja, além de haver grande quantidade de água precipitada, há também um grande número de dias consecutivos em que houve precipitação. Enquanto que nos anos com baixos índices pluviométricos, o número de dias consecutivos em que houve precipitação é menor, como mostrado no gráfico no ano de 1984 (DCS = 4 dias).



**Figura 20.** O gráfico mostra o maior número de dias consecutivos úmidos em um ano, ou seja, o máximo número de dias onde houve precipitação.

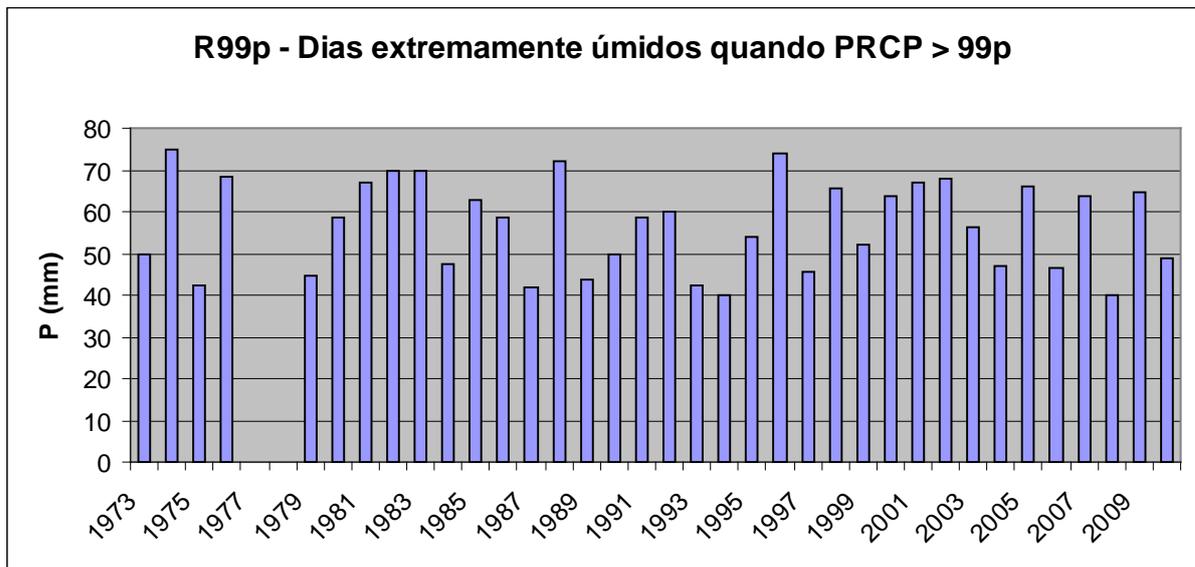
Novamente, o próximo índice (R95p, quantidade de chuva precipitada nos 5% de dias mais úmidos.) se mostra alto em anos com fenômeno de *El Niño* atuando, como nos anos de 1983 (P = 38 mm), 1991 (P = 33mm) e 1995 (P = 34mm).



➔ **Ocorrências de El Niño**

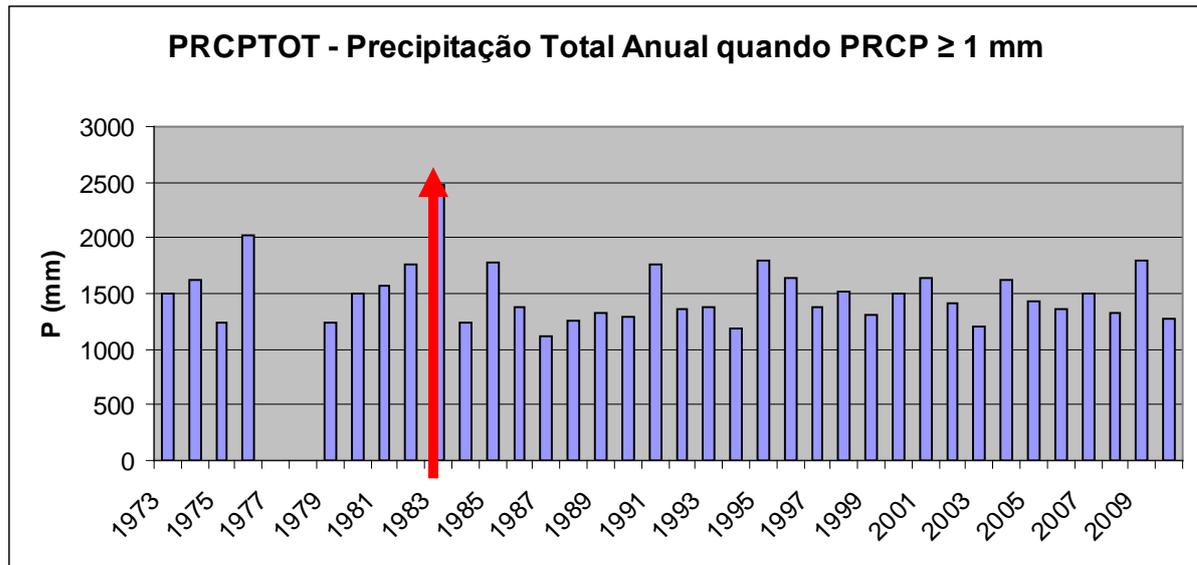
**Figura 21.** Dias úmidos quando PRCP > 95p

O índice a seguir ( R99p, quantidade de chuva precipitada na parcela de 1% de dias mais úmidos do ano), também apresenta comportamento semelhante aos índices anteriores, tendo valores altos em anos de El Niño e valores menores em anos de La Niña.



**Figura 22.** Dias extremamente úmidos quando PRCP > 99p mostra a chuva precipitada na parcela de 1% de dias mais úmidos do ano.

O índice PRCP TOT a seguir, é o mais geral e mostra a quantidade total precipitada em mm ao longo do ano. Nota-se que no ano de 1983, a região apresentou uma precipitação total anual muito acima da média, com registro de quase 2500 mm.



→ **El Niño forte**

**Figura 23.** Gráfico da Precipitação Total Anual quando  $PRCP \geq 1$  mm. Ou seja, o total (em mm) precipitado em todos os dias que choveram no ano.

Os maiores valores encontrados no estudo estão apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2.** Valores máximos de precipitação.

Índices	Valores máximos:	Data:
Rx1day	96,60 mm	9/1/2002
Rx5day	291,80 mm	16/03/1974 - 20/03/1974
SDII	17,78 mm	1991
R10mm	76 dias	1983
R20mm	52 dias	1983
R50mm	9 dias	1983
DCS	91 dias	16/06/1988 - 14/09/1988
DCU	14 dias	18/12/1983 - 31/12/1983
R95p	37,80 mm	1983
R99p	75,00 mm	1974
PRCPTOT	2479,90 mm	1983

Os índices Rx5day, DCS e DCU são índices que representam valores que correspondem a um período de dias consecutivos num determinado ano, e na tabela acima estão as datas de início e fim deste período. O índice Rx1day representa o valor que corresponde a um único dia do ano. Todos os outros índices representam valores que podem ser indicados somente pelo ano.

Percebe-se que o ano de 1983 foi o que obteve maior número de índices com valores máximos.

A partir da análise dos índices e gráficos obtidos podemos confirmar a premissa da influência dos fenômenos de *El Niño* e *La Niña* no comportamento da precipitação e do clima da região de São Carlos, e também a sazonalidade destes eventos, pois se percebe um tipo de padrão no comportamento dos índices, detalhado nos gráficos.

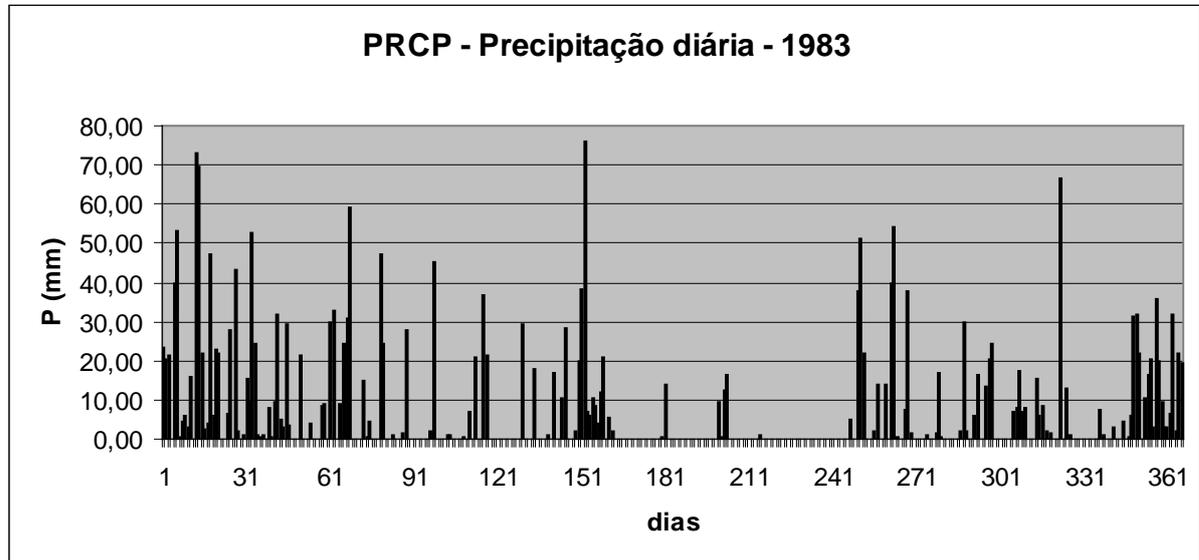
Se pegarmos como o exemplo o ano de 1983, que já foi citado várias vezes, e analisarmos os índices de chuva, veremos que este foi um ano que foge ao padrão normal de precipitação, devido a efeito intenso do *El Niño*, e observam-se picos em praticamente todos os índices. A maioria dos gráficos está coerente com eventos de *El Niño* e *La Niña*.

Nota-se nos gráficos um padrão de ocorrência destes fenômenos, apresentando a ocorrência de valores extremos nos índices num intervalo entre três e sete anos, e em alguns casos intercalados por condições normais, como dito anteriormente também.

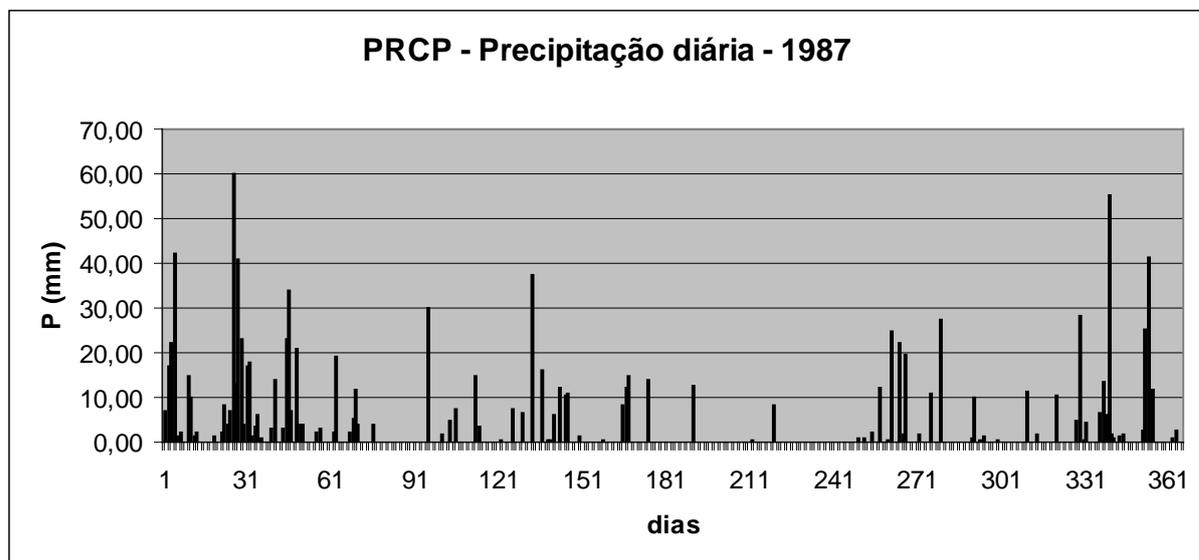
Logo, a partir dos resultados obtidos nota-se que fenômenos de *El Niño* têm correlação direta e positiva com a quantidade e intensidade das chuvas, ou seja, quando ocorre o fenômeno do *El Niño*, há uma forte tendência de haver um aumento na precipitação. Já os fenômenos de *La Niña* têm correlação direta e negativa com a quantidade e intensidade das chuvas, ou seja, quando ocorre o fenômeno de *La Niña* há uma forte tendência de haver uma diminuição na precipitação.

Os três gráficos a seguir ilustram a precipitação diária em três diferentes anos, porque primeiramente foram estudadas somente séries anuais, então para analisar o comportamento mensal, ou mesmo diário das precipitações foram elaborados também estes gráficos. Foram escolhidos dados de anos que apresentaram respectivamente, a maior precipitação total anual (1983), a menor precipitação total anual (1987, ocorrência de *La Niña*) e um ano com precipitação

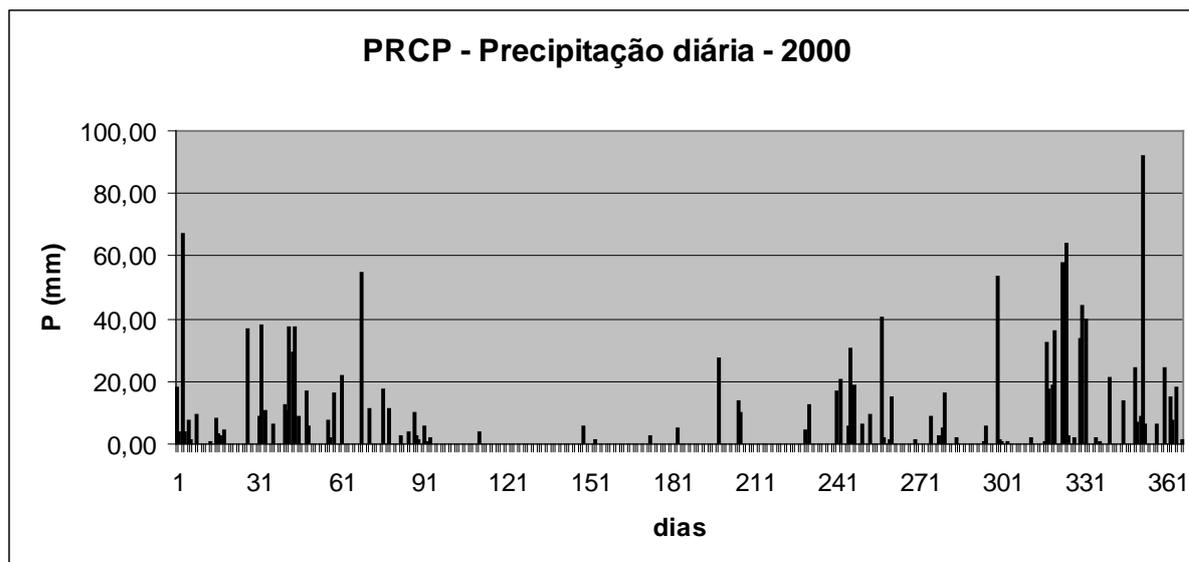
total anual média aproximadamente igual a da correspondente ao município de São Carlos, de 1512 mm (2000, PRCPTOT = 1503,6 mm).



**Figura 24.** Dados diários de precipitação do ano de 1983, ou seja, quanto choveu em cada dia do ano de 1983.



**Figura 25.** Dados diários de precipitação do ano de 1987.



**Figura 26.** Dados diários de precipitação do ano de 2000.

Nas figuras 24, 25 e 26 observa-se a predominância de chuvas nos meses do fim do ano e começo do ano, e dados com menos chuvas no período do meio do ano. Isto é mesmo o que se esperava nestes períodos, devido às estações do ano e suas características. O verão, por exemplo, que está neste período, é sabido que é quente e chuvoso na região de São Carlos, e no meio do ano, no inverno, tem-se um período mais frio e seco, em que tende a haver um aumento dos problemas de saúde da população devido ao tempo seco.

Para checar se os fenômenos de *El Niño* causaram danos e prejuízos na região de São Carlos, foi feita uma pesquisa em uma série de registros históricos de moradores da cidade, sobre ocorrências de enchentes e inundações. A seguir estão quatro desses relatos:

“Isso, já mais recente, isso já em 80 e pouco, há uns 20 e tantos anos atrás, o comércio fechou aqui no sábado, foi numa véspera de Natal, caiu uma chuva, acho que foi em uma sexta-feira. Fechou acho que umas dez horas da noite. Daí eu fui para casa, tomei um banho, estava me preparando. Minhas filhas já tinham nascido, elas eram pequenininhas ainda... E começou a chover, começou a chover, e eu estava com toda a minha família em casa, eu até pedi para os irmãos meus que moravam fora e que vieram passar o natal comigo, eu falei: ‘Vocês vão me desculpar, mas vamos ter que interromper a ceia porque eu preciso descer na loja que isso vai dar enchente, eu acho’. Foi o tempo de eu chegar na loja, abrir a porta da loja e começar a empurrar as coisas para trás, né?” SIC

(Stevan Luiz Muzkat, 54 anos *apud* ZAGO, 2006)

“E eu tinha um carro, eu tinha um TL. O TL é um carro, tipo uma Brasília. Tipo uma Brasília. Isso em 72,73. Não tem muito tempo, mas uns 30 anos e um pouco. Eu num dia tava chovendo e eu estava na porta olhando assim e eu vi o meu TL passar. De tanta água! E eu saí, arrumei uma corda dentro da loja, né? E eu saí correndo atrás... No meio da enchente. Eu consegui laçar o carro... Joguei a corda, a corda laçou o carro e consegui segurar o carro junto com mais dois amigos, e amarrei a corda no poste e fiquei segurando lá até passar... Pro carro não ir embora, né?” SIC

(Stevan Luiz Muzkat, 54 anos *apud* ZAGO, 2006)

“(...) Falavam que numa ocasião uma senhora morreu, mas isso já faz muitos e muitos anos. Morreu adiante, La perto onde atualmente é o Fórum, ela caiu ali na água e morreu. Mas isso faz mais de 30 anos, né? Depois disso eu não sou mais de ninguém que tinha morrido. Tinha, o que tinha muito era animais que morriam afogados e inclusive ajudavam a impedir a escoação de água, né? Os animais acabavam morrendo afogados e depois que morriam paravam numa curva de um escoamento de água e impediam mais a saída de água, onde provocava mais enchente, né?” SIC

(Horácio Duarte de Souza, 73 anos *apud* ZAGO, 2006)

Ah, eu me lembro de um caso, que eu fiquei muito chateado, muito chato. Uma moça, até é uma conhecida, ela, aí na Avenida São Carlos, a água enchia muito e tinha uma boca-de-lobo. E a boca-de-lobo, a tampa, levantou a tampa e ela afundou. A rua estava inundada e ela resolveu, mais já não corria mais água e ela resolveu atravessar e não viu que saiu e ela foi engolida. E saiu e passou tudo por dentro e saiu o corpo dela depois de dois quilômetros.” SIC

(Mário Maffei, 79 anos *apud* ZAGO, 2006)

Todos os relatos acima são de épocas em que se observou a ocorrência do fenômeno *El Niño*, nos anos de 1982, 1973 e 1986, respectivamente. Isso comprova que os efeitos do *El Niño* causaram mudanças na organização social, danos materiais e perdas humanas na cidade de São Carlos nessas épocas.

Portanto em anos em que se espera efeito do *El Niño* e quando a previsão do tempo for de chuva, as prefeituras das cidades da região deveriam realizar alertas para a população, para que se tenha atenção redobrada com eventos de muita chuva e também, após os eventos, realizar imediatamente a limpeza das zonas afetadas, retirada de animais mortos e entulho das ruas, e verificar com o Corpo de Bombeiros e Defesa Civil, os prédios e construções que possam correr riscos de desabamento. Estas ações ajudariam muito a evitar perdas humanas e riscos a saúde da população, e contribuiriam para a organização das cidades para enfrentar estes eventos.

Outra medida interessante seria um melhor planejamento urbano das cidades, já que a ocupação feita até hoje se mostrou ineficiente nesses casos de eventos climáticos extremos. As matas ciliares devem ser preservadas e a ocupação dos fundos de vale deve ser evitada. Como a cidade continua crescendo, as novas áreas a serem expandidas deveriam levar em conta estas questões, para que o problema não aumente ainda mais.

Para verificar a influência de eventos climáticos na agricultura da região, foi feita uma pesquisa no site do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), onde foram encontrados dados de produção anual (toneladas) de cana-de-açúcar na cidade de Itirapina. Entretanto, por indisponibilidade de dados e um curto período acessível para análise, os resultados não podem ser considerados conclusivos, porém, serão citados para comparação com eventos de *El Niño* e *La Niña*

A seguir uma tabela com a produção anual:

**Tabela 3.** Produção anual de cana-de-açúcar em toneladas.

<b>Ano</b>	<b>Produção de cana-de-açúcar (ton)</b>
<b>2004</b>	<b>225012</b>
<b>2005</b>	<b>201294</b>
<b>2006</b>	<b>201588</b>
<b>2007</b>	<b>150000</b>
<b>2008</b>	<b>392000</b>
<b>2009</b>	<b>383400</b>
<b>2010</b>	<b>383400</b>

Como já foi visto os anos de 2004 a 2006 foram anos com eventos de *El Niño* fraco registrados. Já os anos de 2007 e 2008 foram anos com registros de *La Niña* forte. E novamente os anos, de 2009 e 2010 foram anos de *El Niño* fraco. O resultado se mostra condizente com o que se esperava no estudo, já que nos anos de *El Niño* houve grande produção de cana-de-açúcar. E justamente no ano em que se teve o menor registro dessa produção (2007), foi registrado evento de *La Niña* Forte. Nos anos de 2008 em diante a produção deu um salto, provavelmente por melhorias no processo de produção da cana-de-açúcar, juntamente com regime abundante de chuvas, devido ao efeito do *El Niño*.

Isto já é um sinal para os produtores da região. Em anos em que se espera o efeito do fenômeno *La Niña*, algumas medidas devem ser tomadas para se evitar a perda da produção de cana-de-açúcar.

## **8. CONCLUSÃO**

A partir dos resultados obtidos nota-se que em anos que se observa a ocorrência do fenômeno do *El Niño* tem-se uma forte tendência de ocorrerem mais dias chuvosos e também chuvas com maior intensidade (na faixa de 30 mm para máxima precipitação diária) e duração (na faixa de até seis dias para DCU). Se,

além disso, o período for ao começo ou final do ano, essa tendência aumenta ainda mais, conforme discutido nos resultados da pesquisa. Tais condições são muito favoráveis a condições climáticas extremas, e as conseqüências na bacia hidrográfica podem requerer algum tipo de atenção especial, pelos motivos que já foram citados, como aumento do escoamento superficial, gerando inundações, deslizamentos, congestionamentos e vários outros problemas.

O mesmo raciocínio se aplica em anos que se observa a ocorrência do fenômeno de *La Niña*, ou seja, tem-se uma forte tendência de ocorrerem períodos de seca, ainda mais se for em períodos no meio do ano. E estas condições são ruins para a agricultura e saúde pública, pela baixa quantidade de umidade no ar, por exemplo, e medidas também devem ser pensadas nesse caso, para evitar a perda de produtividade de lavouras e proteger a saúde da população.

Fenômenos como o *El Niño* e *La Niña* têm influência direta na organização das cidades, não só de São Carlos, mas no país inteiro, na saúde e segurança da população e na produção agropecuária. Portanto, deve-se ter uma atenção especial por parte das autoridades, para que os efeitos destes eventos climáticos extremos sejam minimizados. Por exemplo, em anos de *El Niño* sabe-se que é esperado um volume maior de chuvas e também com maior duração, portanto espera-se mais atenção nas medidas preventivas de inundações, enchentes, deslizamentos de terra e também medidas para atender a população em relação a problemas provocados por esse problema.

E em anos de *La Niña*, o que se espera é um volume menor de chuvas, portanto problemas podem aparecer na produção agrícola, por exemplo, e medidas preventivas para evitar a perda de produtividade devem ser tomadas, como melhoria nas técnicas de irrigação e preparo da terra e do cultivo, além de destinar mais água para as lavouras, respeitando a legislação, quando esse evento é esperado.

Espera-se que este trabalho contribua para a sociedade no que diz respeito a dinâmica climatológica da região de São Carlos, observando padrões, através de dados estatísticos e índices climáticos obtidos a partir dos parâmetros da estação do CRHEA/USP, podendo auxiliar na previsão de eventos e possíveis medidas a serem tomadas para a melhoria das atividades econômicas e saúde da população local.

## 9. BIBLIOGRAFIA

COMPAGNUCCI, R. H. **Variability in subtropical Andean Argentinean Atuel river; a wavelet approach.** Environmetrics. 2000.

CUNHA, D. G. F. & VECCHIA, F. **As abordagens clássica e dinâmica de clima: uma revisão bibliográfica aplicada ao tema da compreensão da realidade climática.** Ciência e Natura, UFSM, 29 (1): 137 – 149p. 2007.

GRIMM, A. M. **Temperaturas extremas na América do Sul e os episódios *El Niño* e *La Niña*.** Universidade Federal do Paraná - PR, 2004.

MENDES, P. C. **A gênese espacial das chuvas na cidade de Uberlândia – MG.** Universidade Federal de Uberlândia – UFU. 2001.

MONTEIRO, C. A. F. **Análise rítmica em climatologia. Problemas da atualidade climática em São Paulo e achegas para um programa de trabalho.** Instituto de Geografia - USP, São Paulo. 1971.

MONTEIRO, C. A. F. **Clima e Excepcionalismo: Conjecturas sobre o desempenhada atmosfera como fenômeno geográfico – Florianópolis – SC,** UFSC. 1991.

MOSTER, C. **Determinação do ano hidrológico visando a quantificação do balanço hídrico em microbacias experimentais.** Institutos de pesquisas e estudos florestais – IPEF. 2003.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil,** BRASIL. IBGE, 422 p, Rio de Janeiro, RJ. 1979.

NIMER, E. & BRANDÃO, A. M. P. M. **Balanço hídrico e clima da região dos cerrados.** BRASIL. IBGE, 166 p, Rio de Janeiro, RJ. 1989.

SANT'ANNA NETO, J. L. **As chuvas no Estado de São Paulo: A variabilidade pluvial nos últimos 100 anos.** In: Variabilidade e mudanças climáticas, implicações ambientais e socioeconômicas. SANT'ANNA NETO, J. L. & ZAVATINI, J. A., (Orgs.) Maringá, PR: Eduem, p. 95 – 112. 2000.

SETTI, Arnaldo Augusto et al. **Introdução ao Gerenciamento de Recursos Hídricos.** Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica; Agência Nacional de Águas, 326p. 2001.

SILVA, E. M. **Análise climática do município de Patrocínio (MG).** Caminhos da Geografia. Instituto de Geografia/UFU. 2005.

SOUSA, Patrícia. **Estudo da variabilidade da precipitação no estado do Paraná associado a anomalia da TSM no oceano Pacífico.** Maringá, PR. 2006.

WINKLER, A. S. **Estimativa do tempo de concentração de uma bacia hidrográfica: comparação entre metodologias.** XI ENPOS 1ª mostra científica. UFPel. RS. 2009.

ZAGO, J. R. **A Memória das Chuvas.** Coleção Monografias São Carlos. UFSCar, SP, 2006.

ZHANG, X.; HEGERL, G.; ZWIERS, F.; KENYON, J. **Avoiding inhomogeneity in percentile-based indices of temperature extremes.** 2005.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS - ANA. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/>>. Acesso em 20/09/2011.

ATLAS DE DESASTRES NATURAIS DO ESTADO DE SANTA CATARINA, publicado pela Secretaria de Estado de Segurança Pública e Defesa do Cidadão. Florianópolis. 2007.

CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS – CPTEC/INPE. Disponível em <<http://www.cptec.inpe.br/>>. Acesso em 20/09/2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE  
Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em 15/10/2011.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS.  
Disponível em <[www.saocarlos.sp.gov.br/](http://www.saocarlos.sp.gov.br/)>. Acesso em 24/09/2011.