**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Impactos do fenômeno El Niño Oscilação Sul na variabilidade
climática e seus efeitos na produtividade da cultura da cana-de-
açúcar em diferentes regiões brasileiras**

Alessandro Toyama Almeida

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração:
Engenharia de Sistemas Agrícolas

**Piracicaba
2014**

Alessandro Toyama Almeida
Engenheiro Ambiental

Impactos do fenômeno El Niño Oscilação Sul na variabilidade climática e seus efeitos na produtividade da cultura da cana-de-açúcar em diferentes regiões brasileiras

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **PAULO CESAR SENTELHAS**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas

**Piracicaba
2014**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP

Almeida, Alessandro Toyama

Impactos do fenômeno El Niño Oscilação Sul na variabilidade climática e seus efeitos na produtividade da cultura da cana-de-açúcar em diferentes regiões Brasileiras / Alessandro Toyama Almeida. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2014.
101 p: il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2014.

1. ENOS 2. Temperatura do ar 3. Radiação solar 4. Chuva 5. DSSAT, CSM CANEGRO 6. *Saccharum sp* I. Título

CDD 633.61
A447i

AGRADECIMENTOS

À minha querida mãe, pelo apoio, companheirismo, compreensão, carinho e amor, fundamentais para o incentivo e o estímulo em alcançar meus objetivos.

Ao Prof. Dr. Paulo Cesar Sentelhas, pela grande atenção, paciência e excelente orientação, essenciais para o desenvolvimento deste trabalho, assim como pelos ensinamentos, amizade e palavras de força que contribuíram para o meu crescimento pessoal e acadêmico.

Ao Murilo dos Santos Vianna, pelo apoio para a realização deste estudo, auxiliando-me na manipulação dos dados e na utilização do software DSSAT.

À todos os colegas da “Cúpula”, que além da grande ajuda nos meios acadêmicos, também foram de grande importância nos momentos de descontração e bate papo.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, pela oportunidade de realização deste mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos concedida.

Ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e a Agência Nacional de Águas (ANA) por cederem os dados meteorológicos para a realização deste trabalho.

E à Deus, por me encorajar a enfrentar todos os desafios que me foram colocados.

SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT	9
1 INTRODUÇÃO	11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 ENOS – El Niño Oscilação Sul.....	15
2.1.1 Formação do ENOS	16
2.1.1.1 Condição Normal ou Neutra.....	16
2.1.1.2 Condição de El Niño.....	18
2.1.1.3 Condição de La Niña.....	19
2.2 Impactos do fenômeno ENOS no clima do Brasil.....	20
2.3 Impactos do Fenômeno ENOS na Produção Agrícola	24
2.3.1 Impactos do Fenômeno ENOS na produção de cana-de-açúcar	26
2.4 Modelos de simulação de culturas	27
2.4.1 Sistema de Suporte à Decisão e Transferência de Agrotecnologia (DSSAT)	28
2.4.1.1 CANEGRO.....	29
3 MATERIAL E MÉTODOS	31
3.1 Dados de entrada.....	31
3.1.1 Seleção dos locais e dados de clima	31
3.1.2 Dados dos solos.....	34
3.1.3 Cultivar	40
3.1.4 Classificação dos anos com eventos de ENOS	40
3.2 Simulações.....	44
3.3 Análise dos dados	45
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
4.1 Efeitos do ENOS no clima.....	47
4.1.1 Temperatura do ar.....	47
4.1.1.1 Temperatura máxima média.....	47
4.1.1.2 Temperatura mínima média.....	50
4.1.1.3 Temperatura média.....	53
4.1.1.4 Temperatura máxima extrema.....	56

4.1.1.5 Temperatura mínima extrema.....	59
4.1.1.6 Análise geral dos efeitos do ENOS na temperatura do ar.....	62
4.1.2 Radiação solar	63
4.1.2.1 Radiação solar média.....	63
4.1.2.2 Radiação solar máxima extrema.....	66
4.1.2.3 Radiação solar mínima extrema.....	68
4.1.2.4 Análise geral dos efeitos do ENOS na radiação solar.....	71
4.1.3 Precipitação pluvial	72
4.1.3.1 Precipitação total mensal.....	72
4.2 Efeitos do ENOS na produtividade da cultura da cana-de-açúcar.....	76
5 CONCLUSÕES.....	89
REFERÊNCIAS	91

RESUMO

Impactos do fenômeno El Niño Oscilação Sul na variabilidade climática e seus efeitos na produtividade da cultura da cana-de-açúcar em diferentes regiões brasileiras

O evento climático conhecido como El Niño Oscilação Sul (ENOS) é formado pelos episódios de El Niño e La Niña e é classificado como um fenômeno de grande escala que ocorre no Oceano Pacífico Equatorial. Em razão do grande efeito do fenômeno ENOS na variabilidade climática e, conseqüentemente, na produção agrícola, se faz necessário o conhecimento adequado das conseqüências dos eventos de El Niño e La Niña nos regimes térmicos e hídricos de diferentes regiões brasileiras e de seus impactos na produção de alimentos, sobretudo na cultura da cana-de-açúcar. Para tanto, dados meteorológicos foram analisados a fim de se verificar algum efeito causado pelos eventos do ENOS na temperatura do ar, na radiação solar e precipitação pluvial. Em seguida, utilizou-se o modelo DSSAT CSM-CANEGRO parametrizado para as condições brasileiras para simular a produtividade da cana-planta de 12 meses em quatro localidades de diferentes regiões do Brasil (Jataí, GO; João Pessoa, PB; Londrina, PR; e Piracicaba, SP), empregando-se séries históricas de dados meteorológicos, de 1979 a 2010, para três tipos de solos com diferentes características físico-hídricas (capacidade de água disponível), e para dois tipos de simulação da produtividade da cana pelo modelo DSSAT CSM-CANEGRO, o tipo *Seasonal* e o tipo *Sequence*. Foi possível notar nos resultados que para a temperatura do ar houve uma maior frequência de anos com essa variável acima da mediana nas localidades situadas na região central e nordeste no país durante os eventos de El Niño, ao passo que na região sul, representada por Londrina, tal frequência foi indefinida. Para os anos de La Niña, não houve, em geral, tendência clara de variação em nenhuma das localidades. Já nos anos neutros as maiores frequências foram de temperaturas abaixo da mediana nas localidades das regiões central e sul, enquanto em João Pessoa, PB, não houve tendência bem definida. Para a radiação solar, em geral, não se detectaram tendências expressivas, apesar de valores levemente acima da mediana em anos de La Niña, em todas as regiões. Finalmente, para as chuvas houve tendências um pouco mais expressivas, sendo que nas localidades da região central do país (Jataí e Piracicaba) as precipitações acima da mediana foram mais frequentes nos anos de El Niño e La Niña, ficando abaixo da mediana nos anos neutros. Nas demais localidades analisadas, as chuvas tenderam a ficar abaixo ou igual à mediana durante todas as fases do ENOS. Quanto à produtividade, algumas tendências também puderam ser observadas. Em Jataí, GO, não houve alterações da produtividade média maiores do que $\pm 1 \text{ t ha}^{-1}$. Em João Pessoa, PB, a tendência de menores produtividades durante os anos de El Niño e de La Niña e de maiores produtividades em anos neutros. Situação oposta foi observada em Piracicaba, SP, e Londrina, PR, onde as produtividades tenderam a serem maiores do que a média histórica nos eventos tanto de El Niño como de La Niña, ao passo que nos anos de neutralidade do ENOS as produtividades tenderam a ser menores do que a média.

Palavras-chave: ENOS; Temperatura do ar; Radiação solar; Chuva; DSSAT, CSM CANEGRO; *Saccharum sp*

ABSTRACT

Impacts of El Niño Southern Oscillation on climate variability and its effects on sugarcane yield in different Brazilian regions

The climatic event known as El Niño Southern Oscillation (ENSO) is formed by episodes of El Niño and La Niña and is classified as a large-scale phenomenon that occurs in the Equatorial Pacific Ocean. Given the large effect of ENSO on climate variability and hence in agricultural production, proper knowledge of the consequences of El Niño and La Niña on the thermal and water regimes of different Brazilian regions and their impact on food production is needed, especially for sugarcane crop. To this end, climate variables were analyzed in order to verify any effect caused by the ENSO events on air temperature, solar radiation and rainfall. The DSSAT CSM-CANEGRO model, parameterized for the Brazilian conditions, was used to simulate sugarcane yield (plant cane of 12 months) in four sites of different Brazilian regions (Jataí, GO; João Pessoa, PB; Londrina, PR; and Piracicaba, SP), using historical series of meteorological data from 1979 to 2010, for three types of soils, with different physical-hydric properties (Soil water holding capacity), and two types of simulations in DSSAT CSM-CANEGRO model, with the Seasonal and Sequence procedures. It was possible to notice in the results that the air temperature was a greater frequency of years with this variable above the median in localities situated in the central and northeastern region of the country during the El Niño events, while in the south, represented by Londrina, this frequency was undefined. For La Niña years, there was generally clear trend of variation in any of the locations. Already in neutral years, the highest frequency was below the median temperatures in the localities in central and southern regions, while in João Pessoa, PB, and no well-defined trend. Solar radiation, in general, no significant trends were detected, although values slightly above the median in La Niña years in all regions. Finally, to the rains there was a little more expressive tendency, and the locations of the central region (Jataí and Piracicaba) precipitation above the median were more frequent in years of El Niño and La Niña, below the median in neutral years. In other areas analyzed, rainfall tended to be below or equal to the median during all phases of ENSO. With regard to productivity, some trends were also observed. In Jataí, GO, no changes greater than $\pm 1 \text{ t ha}^{-1}$ was observed. João Pessoa, PB, there was a trend of lower yields during El Niño and La Niña years and higher yields during neutral years. Opposite situation was observed in Piracicaba, SP, and Londrina, PR, where the yields tended to be higher than the historical average in both El Niño and La Niña events, while during neutral years the yield tended to be smaller than average.

Keywords: ENSO; Air temperature; Solar radiation; Rainfall; DSSAT, CSM CANEGRO; *Saccharum sp*

1 INTRODUÇÃO

O fenômeno climático conhecido como El Niño Oscilação Sul (ENOS) é formado pelos episódios de El Niño e La Niña, e é classificado como um fenômeno de grande escala que ocorre no Oceano Pacífico Equatorial. Este fenômeno demonstra o forte acoplamento entre o oceano e a atmosfera, sendo que a variação irregular que acontece em torno das condições normais nas duas componentes da região (oceânica: El Niño, e atmosférica: Oscilação Sul), revela duas fases citadas logo acima que são contrárias, sendo uma delas denominada El Niño (fase quente), que é caracterizada pelo aquecimento anômalo das águas superficiais do Oceano Pacífico Equatorial Oriental e Central (OLIVEIRA e SATYAMURTY, 1998), e a outra de La Niña (fase fria), na qual ocorre um resfriamento das águas e um aumento na pressão atmosférica na região leste do Oceano Pacífico (MINUZZI et al., 2007).

Em condições de El Niño há um aumento na temperatura do oceano Pacífico de aproximadamente 3 a 5 °C próximo à costa da América do Sul (OLIVERIA e SATYAMURTY, 1998). Já em condições de La Niña as águas do oceano passam de 25 °C (condição normal) para cerca de 22 °C (MARENGO e OLIVEIRA, 1998). Esses fenômenos influenciam de modo muito consistente o clima da América do Sul, o que os classifica como o principal fator de variabilidade interanual das condições meteorológicas em várias partes da Terra (GRIMM, 2003).

Tem-se a ideia de que os efeitos que são produzidos pelas duas fases do ENOS acontecem em uma mesma região, e de maneiras opostas. Mas em eventos de La Niña os impactos causados por este fenômeno chegam a afetar cerca de 5% a 15% mais áreas continentais, do que durante a ocorrência de eventos de El Niño (MINUZZI et al., 2007).

O ENOS provoca uma influência que varia ao longo do ano na América do Sul, atuando da seguinte forma: na primavera, ela é muito significativa no sudeste da América do Sul, produzindo um aumento de eventos extremos de precipitação e vazão na Bacia Paraná-Prata durante episódios de El Niño, e produzindo um decréscimo nos episódios de La Niña; no mês de janeiro, no pico da estação de verão, os eventos extremos de precipitação e vazão ocorrem no centro-leste da América do Sul, no Centro de Convergência do Atlântico Sul e no centro da região monçônica, acentuando-se em épocas de El Niño; e em abril, durante o outono, há

um significativo aumento nos eventos extremos de precipitação e vazão na Bacia Paraná-Prata durante os episódios de El Niño, e no Nordeste do Brasil durante os episódios de La Niña (GRIMM e TEDESCHI, 2009).

Os impactos causados pelo ENOS atinge diretamente a produção de diversas culturas na América do Sul, mais precisamente no Brasil. Fontana e Berlato (1997), verificaram que os totais de chuvas durante os meses de outubro e novembro foram 17% maiores durante os episódios de El Niño, e 23% menores em episódios de La Niña. Em eventos de El Niño, o rendimento da cultura do milho no Rio Grande do Sul é beneficiado, devido ao aumento nas chuvas durante os meses de outubro e novembro. Por outro lado, o excesso de chuvas durante o outono-inverno pode prejudicar a colheita dessa cultura (FONTANA e BERLATO, 1996).

Em razão do grande efeito do fenômeno ENOS na variabilidade climática e, conseqüentemente, na produção agrícola, se faz necessário o conhecimento adequado das conseqüências dos eventos de El Niño e La Niña nos regimes térmicos e hídricos de diferentes regiões do Brasil e de seus impactos na produção de alimentos, fibras e bioenergia. O conhecimento desses impactos auxilia no planejamento agrícola e na elaboração de estratégias de manejo das culturas quanto às épocas mais adequadas de semeadura, ao uso de cultivares mais resistentes à seca e à adoção de práticas agrícolas que minimizem os impactos de eventos meteorológicos adversos, levando assim a sistemas de cultivos mais racionais, objetivando em uma agricultura mais sustentável, mais produtiva e com menores prejuízos econômicos (ROSSIN, 2007).

Considerando-se as hipóteses de que o fenômeno ENOS causa anomalias climáticas em diferentes regiões brasileiras e que essas afetam a produção agrícola de modo substancial, o presente estudo teve o objetivo geral de avaliar os efeitos do fenômeno climático El Niño Oscilação Sul (ENOS) nas condições térmicas e hídricas de diferentes regiões brasileiras e seus consequentes impactos na produtividade da cultura da cana-de-açúcar. Para tanto os seguintes objetivos específicos foram estabelecidos:

- a) Avaliar os padrões anuais das temperaturas máxima, mínima e média, assim como seus valores extremos, durante os eventos El Niño, de La Niña e Neutros, e suas relações com as condições normais em diferentes regiões brasileiras;

- b) Avaliar os padrões anuais da radiação solar global média e valor extremo anual durante os eventos de El Niño, de La Niña e Neutros, e suas relações com as condições normais em diferentes regiões brasileiras;
- c) Avaliar os padrões das chuvas anuais durante os eventos de El Niño, de La Niña e Neutros, e suas relações com as condições normais em diferentes regiões brasileiras;
- d) Avaliar os impactos dos eventos El Niño, La Niña e Neutros na produtividade da cultura da cana-de-açúcar (cana planta) em diferentes tipos de solos e por diferentes procedimentos de análise com o modelo DSSAT CSM-CANEGRO, ao longo das séries históricas em quatro diferentes regiões brasileiras.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ENOS – El Niño Oscilação Sul

O fenômeno chamado de El Niño Oscilação Sul (ENOS) é caracterizado como um fenômeno de grande escala e que ocorre no Oceano Pacífico tropical. Ele é uma combinação de dois mecanismos que, de forma muito marcante, demonstram o vínculo existente entre a atmosfera e o oceano. A Oscilação Sul (OS) representa o componente atmosférico, enquanto o El Niño (EN) representa o componente oceânico deste fenômeno (STEINKE, 2004).

O componente atmosférico, conhecido como Oscilação Sul (OS), explica a correlação inversa que existe entre a pressão atmosférica nos extremos leste e oeste do Oceano Pacífico. Tal correlação foi postulada pelo matemático britânico Sir Gilbert Walker, em meados dos anos de 1920, que estabeleceu a chamada “gangorra barométrica”, que estabelece que quando a pressão é alta no lado leste, normalmente será baixa no lado oeste, e vice-versa. Este componente é monitorado por meio do Índice de Oscilação Sul (IOS), sendo determinado como a diferença entre os desvios normalizados de pressão na superfície entre as regiões do Oceano Pacífico: Taiti, na Polinésia Francesa, e Darwin, no norte da Austrália (BERLATO e FONTANA, 2003).

O componente oceânico, conhecido como El Niño (EL), a princípio designava uma corrente marítima quente que partia para o sul no Oceano Pacífico, ao longo da costa do Peru e Equador. Sendo que seu nome foi criado por marinheiros da região, já que este fenômeno se dava com maior intensidade na época do Natal, fazendo alusão ao Menino Jesus. Num outro momento, este fenômeno foi relacionado com as variações de temperatura da superfície do mar tendo um caráter bastante intenso e abrangente. Este componente é atualmente monitorado por meio da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) em locais definidos ao longo da região equatorial do Oceano Pacífico (BERLATO e FONTANA, 2003).

Berlato e Fontana (2003) ainda relatam que o fenômeno ENOS é composto por dois extremos: um é representado pelas condições de El Niño, quando se verifica um aquecimento das águas e uma diminuição da pressão atmosférica, simultaneamente, no Pacífico leste (chamada também de fase quente ou fase do

IOS negativa); outro extremo é representado pelas condições de La Niña, quando ocorre um resfriamento das águas e um aumento na pressão atmosférica no Pacífico leste (conhecida também como fase fria ou fase do IOS positiva). Ou seja, no caso de ocorrer condições de El Niño, o IOS é negativo e a anomalia criada na TSM do Pacífico equatorial é positiva (quente); enquanto se ocorrer condições de La Niña, o IOS é positivo e a anomalia criada na TSM do Pacífico equatorial é negativa (fria).

O local de abrangência em que acontecem essas anomalias é estreita e comprida, com uma largura de aproximadamente 5° de latitude ao longo do Equador, partindo desde a costa do Peru, até 160° de longitude no Oceano Pacífico Central. As variações que ocorrem na TSM nesta região têm alta correlação com as condições atmosféricas sobre o Brasil (OLIVEIRA e SATYMurTY, 1998). Segundo Cane (2001) e Glantz (2001), o ENOS afeta o clima e o tempo em diversos locais do globo, e as fases quentes (El Niño) e frias (La Niña) são classificadas como fenômenos cíclicos, com intensidade e duração variáveis.

2.1.1 Formação do ENOS

A ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña tem uma característica de se alternarem a cada 3 a 7 anos, entretanto, de um evento a outro o intervalo pode variar entre 1 a 10 anos. Sendo que entre a ocorrência de um fenômeno e outro é comum existir uma condição chamada de normal ou neutra (CPTEC/ INPE, 2012).

Em eventos fortes de El Niño, o aumento na Temperatura da Superfície do Mar (TSM) pode ser da ordem de 2°C a 5°C acima das condições normais. E em anos em que o fenômeno La Niña ocorre de forma intensa, as temperaturas da superfície do mar podem cair de 1°C a 4°C abaixo do normal (BERLATO e FONTANA, 2003).

2.1.1.1 Condição Normal ou Neutra

Na condição normal ou neutra os ventos alísios (ventos superficiais que sopram de leste para oeste) na região do equador carregam a água quente superficial para o lado oeste, fazendo com que o nível do mar se torne maior neste lado (cerca de 60 cm), e ocasionando uma grande diferença de temperatura entre as águas do Oceano Pacífico leste e oeste. Na parte leste deste oceano, próximo à América do Sul, a temperatura é da ordem de 22°C (águas frias); e na parte oeste,

próximo à Indonésia, onde estão localizadas as águas mais quentes do mundo, a temperatura da superfície do mar é da ordem de 28°C, podendo em algumas situações ultrapassar este valor. Essa variação da TSM ocorre na mesma faixa de latitude (BERLATO e FONTANA, 2003).

Os ventos alísios por soprarem no sentido da costa oeste da América do Sul em direção ao Oceano Pacífico oeste, carregam as águas quentes superficiais para o lado oeste, fazendo com que, a leste, as águas mais profundas frias se aflorem na superfície, fenômeno denominado de ressurgência (Figura 1). Estas águas que são trazidas à superfície, junto à costa leste do Oceano Pacífico, têm mais oxigênio dissolvido e trazem também boa quantidade de nutrientes e micro-organismos vindos de maiores profundidades do mar, servindo de alimento para os peixes desta região. Isso transforma a região em questão (oeste da América do Sul), como uma das mais piscosas do mundo (OLIVEIRA, 2001).

Figura 1 – Circulação observada no oceano e na atmosfera na região do Pacífico Equatorial em anos neutros para o ENOS. Fonte: CPTEC/ INPE (2012)

Na Figura 1 observa-se a termoclina, que nada mais é do que a fronteira entre a água quente superficial e a água fria do fundo do oceano. Em condição normal, ela apresenta uma inclinação para o oeste, ou seja, aproxima-se da superfície a leste, na costa da América do Sul, e é mais profunda a oeste, na Indonésia. Nessa região do globo as águas superficiais do oceano Pacífico são quentes, e por consequência o ar é bastante quente e úmido, o que se deve à grande evaporação local,

caracterizando esta região como sendo de baixa pressão, o que cria condições para intensa ocorrência de chuvas. E esse ar que ascende na região tropical, no Oceano Pacífico oeste, tende a circular na atmosfera e a descer sobre as águas frias do Oceano Pacífico leste (região de alta pressão), definindo a Célula de Circulação de Walker. Porém, na região leste o que ocorre é o inverso, ou seja, a ausência de nebulosidade e de chuvas significativas (BERLATO e FONTANA, 2003).

2.1.1.2 Condição de El Niño

Nas condições de El Niño, os ventos alísios são enfraquecidos e podem até mesmo ter o seu sentido invertido, passando a soprar de oeste para leste no Pacífico Equatorial, fazendo com que a ressurgência das águas frias e profundas no Oceano Pacífico leste e a presença das águas quentes a oeste diminuam. Uma das explicações para a redução e até mesmo inversão no sentido dos ventos alísios é a de que como a diferença de temperatura entre o Oceano Pacífico leste e oeste diminui, a diferença de pressão atmosférica entre esses dois locais também diminui, reduzindo, assim, a intensidade e a presença dos ventos alísios. Com isso, o nível da superfície do mar a oeste se reduz e sobe cerca de 25 cm no lado leste do Oceano Pacífico (costa oeste da América do Sul) (BERLATO e FONTANA, 2003).

Nas condições descrita anteriormente a termoclina tem sua inclinação reduzida (Figura 2), apresentando profundidade maior do que em condições normais no Pacífico leste (costa oeste da América do Sul), e sendo mais rasa que o normal no Pacífico oeste (Indonésia). A termoclina pode ainda assumir, em condições muito intensas de El Niño, a forma de uma superfície plana ao longo de todo o Pacífico tropical (OLIVEIRA, 2001).

Figura 2 - Circulação observada no oceano e na atmosfera na região do Pacífico em anos de ENOS fase positiva (El Niño). Fonte: CPTEC/ INPE (2012)

Em condições de El Niño, a célula de circulação equatorial de Walker se enfraquece e em eventos extremos ela pode até mesmo desaparecer, em consequência das mudanças na TSM que ocorrem devido a grande extensão do Oceano Pacífico, modificando a circulação atmosférica tropical, fazendo com que o ar que subia no Pacífico oeste e descia no Pacífico leste, em condições normais, agora passe a subir no Pacífico Central e a descer no Pacífico oeste e no norte da América do Sul, reduzindo drasticamente as chuvas nessas regiões (BERLATO e FONTANA, 2003).

2.1.1.3 Condição de La Niña

Nessa condição há uma intensificação dos ventos alísios, que passam a soprar com maior força, representado por uma maior quantidade de água quente no lado oeste do Oceano Pacífico, aumentando assim o desnível entre a parte leste e oeste deste oceano. Por outro lado, devido à grande força dos ventos alísios as águas mais quentes ficam represadas mais a oeste do que o normal, intensificando assim a Célula de Circulação Equatorial de Walker, que em anos de La Niña se torna mais alongada que o normal (Figura 3), fazendo com que ocorram chuvas intensas na região nordeste do Oceano Índico, à oeste do Oceano Pacífico, passando pela Indonésia e inibindo a formação de nuvens de chuva na parte central

e leste (Oriental) do Pacífico Equatorial, já que nessa parte do oceano, há uma intensificação do movimento descendente da Célula de Circulação Equatorial de Walker, diminuindo a formação de nuvens e de chuvas (CPTEC/ INPE, 2012).

Figura 3 - Circulação observada no oceano e na atmosfera na região do Pacífico Equatorial em anos de ENOS fase negativa (La Niña). Fonte: CPTEC/ INPE (2012)

Em anos de La Niña a termoclina (Figura 3) tende a acentuar muito sua inclinação a oeste, e em condições muito intensas do fenômeno La Niña tende a ficar muito próximo da superfície do Pacífico leste por um longo período de tempo. Como os ventos alísios são fortes nessas condições, têm-se também o aumento da ressurgência na parte leste do Pacífico Equatorial (BERLATO e FONTANA, 2003).

2.2 Impactos do fenômeno ENOS no clima do Brasil

De uma forma geral, os efeitos que o fenômeno El Niño Oscilação Sul causam na circulação atmosférica são bastante expressivos. O fenômeno provoca alterações tanto na circulação regional como na global, o que resulta em anomalias climáticas em várias partes do mundo, afetando diretamente a temperatura do ar e modificando o regime da precipitação pluvial em diferentes regiões do Brasil e do mundo (BERLATO e FONTANA, 2003).

Os possíveis impactos globais causados pelo ENOS em diferentes épocas do ano são apresentados na Figura 4. Como se pode observar, durante o período de primavera-verão (de dezembro a fevereiro) os impactos causados por este fenômeno são: as regiões norte e nordeste do Brasil, sudeste da África e norte da Austrália são acometidas por secas; as regiões sudeste e noroeste da América do Sul são atingidas por períodos intensos de chuvas provocando grandes enchentes; e nas regiões leste e oeste da América do Norte e a leste da Ásia ocorrem temperaturas acima da normal. Já durante o período de outono-inverno (de junho a agosto) os impactos mais frequentes são: regiões sudeste e nordeste do Brasil apresentam condições quentes e chuvosas; costa oeste da América do Sul fica mais quente que o normal, e um pouco mais ao sul, há condições de chuvas acima do normal; já na região da América Central o clima se torna seco e quente; no lado oeste da América do Norte a região é atingida por chuvas mais intensas; e no centro-leste da Austrália o tempo fica seco (CPTEC/ INPE, 2012).

Com relação aos impactos globais causados pela La Niña, pode-se dizer que eles aparecem mais ou menos nos mesmos locais de ocorrência do evento El Niño, porém com efeitos invertidos (Figura 5). No Brasil, os impactos de dezembro a janeiro é de chuvas acima do normal no norte das regiões norte e nordeste e temperaturas amenas no centro-sul do país. No período que vai de junho a agosto, a principal característica é de tempo seco na região sul. Berlato e Fontana (2003) ainda relatam que durante a ocorrência da La Niña, na região sul do Brasil, ocorrem estiagens, enquanto nas regiões norte e nordeste a precipitação pluvial fica acima da normal.

Quanto aos impactos regionais causados pelo ENOS, observa-se que no caso do fenômeno El Niño há tendência de secas moderadas a intensas na Região Norte, mais precisamente no norte e leste da Amazônia, provocando um aumento na probabilidade de ocorrência de incêndios florestais, principalmente em áreas onde a floresta está degradada. Na região Nordeste, também são observados períodos de seca, enquanto na região Sudeste os registros indicam um moderado aumento nas temperaturas médias, não sendo possível, no entanto, estabelecer um real aumento ou mudança nos índices de precipitação pluvial, exceto para o extremo sul do Estado de São Paulo. Na Região Sul, as chuvas são mais abundantes, principalmente na primavera e início do verão, pois as frentes frias que vêm do sul ficam semi – estacionárias na região por vários dias, provocando chuvas contínuas.

Na Região Centro-Oeste não há evidências de algum efeito na precipitação pluvial (MARCUIZZO e ROMERO, 2013), apenas um aumento desta para o sul do Mato Grosso do Sul (OLIVEIRA, 2001).

Figura 4 - Impactos climáticos globais provocados pelo fenômeno El Niño nos períodos de primavera-verão e outono-inverno. Fonte: CPTEC/ INPE (2012)

No caso do fenômeno La Niña observa-se na Região Norte uma forte tendência de precipitações pluviais abundantes, mais precisamente nas regiões norte e leste da Amazônia. Na Região Nordeste observa-se a chegada mais frequente de frentes frias, principalmente no litoral da Bahia, Sergipe e Alagoas, com chuvas acima da média inclusive na região semiárida, desde que a TSM no Atlântico tropical sul esteja acima da média e abaixo da média no Atlântico tropical norte, o que está associado ao fenômeno denominado de Dipolo do Atlântico (ARAGÃO, 1998; BEZERRA e CAVALCANTI, 2008; NÓBREGA, 2000).

Figura 5 - Impactos climáticos globais provocados pelo fenômeno La Niña no período de primavera-verão e outono-inverno. Fonte: CPTEC/ INPE (2012)

Na Região Sudeste, as temperaturas ficam próximas à média climatológica ou ligeiramente abaixo da média durante o inverno e verão. Já na Região Sul, ocorrem passagens rápidas das frentes frias, o que favorece a diminuição das chuvas, principalmente no início do verão e na primavera, além de ser observada uma forte tendência de as temperaturas ficarem abaixo da média. Finalmente, na Região Centro-Oeste, assim como observado para o El Niño, não existe nenhuma evidência que possa comprovar algum efeito sobre a variação da temperatura e das chuvas (MARCUIZZO e TOMERO, 2013).

2.3 Impactos do Fenômeno ENOS na Produção Agrícola

Segundo Monteiro (1976), o clima é um dos fatores de fundamental importância para as diversas atividades humanas, dentre elas a agricultura, pois age como um “fornecedor de insumo energético que ajuda na definição da estrutura do espaço em termos de qualidade, e sua organização funcional, em termos de relações econômicas”. Por tal fato, o clima se destaca nos estudos de impactos às culturas, e sua variabilidade pode ser influenciada pelos fenômenos El Niño e La Niña, modificando as condições climáticas de determinando local e influenciando na produtividade agrícola.

Na Índia, a variabilidade da chuva está associada às Monções que acontecem no país, impactando o clima da região com secas e inundações, e provocando um grande efeito sobre a produção de grãos (PARTHASARATHY e PANT, 1985; PARTHASARATHY et al., 1992). Para melhor entender as causas da variabilidade das chuvas no país, muitos estudos têm apontado que o ENOS, além das Monções, tem relação com essa variabilidade (TROUP, 1965; SIKKA, 1980; ANGELL, 1981; PANT e PARTHASARANTHY, 1981; MOOLEY e PARTHASARATHY, 1983; BHALME et al., 1983; RASMUSSEN e CARPENTER, 1982; SHUKLA e PAOLINO, 1983; PARTHASARATHY e PANT, 1985; GREGORY, 1989; WEBSTER e YANG, 1992; WEBSTER et al., 1998). Em sua fase quente (El Niño), a produção total de grãos diminui, e em sua fase fria (La Niña), aumenta. A cultura do arroz, por exemplo, teve uma queda média em sua produção de 3,4 milhões de toneladas durante a ocorrência de um ano de fase quente do ENOS, enquanto em um ano de fase fria do ENOS, a produção média aumentou cerca de 1,3 milhões de toneladas. A cultura do trigo também foi influenciada pela ocorrência do fenômeno ENOS, já que esta depende do armazenamento de água do solo (SELVARAJU, 2003).

No Paraguai, considerado o quarto maior exportador de soja em todo o mundo, produzindo cerca de 3% da produção mundial (USDA-FAS, 2007a), a cultura da soja, durante as suas fases de desenvolvimento, tem sofrido influencia do fenômeno ENOS, especialmente por causa das alterações nos padrões de chuva no leste do país, sendo favorecida nos seus rendimentos, em anos de ocorrência de El Niño, e desfavorecida, em anos de ocorrência da La Niña (FRAISSE et al., 2008).

A cultura do trigo, considerada como uma das principais alternativas durante o período de inverno nos Estados do Rio Grande do Sul e Paraná (COLLE, 1998), é

afetada positivamente e negativamente pelos eventos do ENOS. No Estado do Paraná, a tendência observada é que mais a oeste e a centro-oeste do estado se observe uma queda no rendimento durante anos de El Niño. No sul do Estado, há uma melhora no rendimento da cultura nos anos em que ocorre a La Niña, enquanto nas demais regiões (norte, noroeste e sudoeste) não foi encontrado nenhum efeito significativo dos fenômenos sobre o rendimento dessa cultura (PRELA, 2004).

Em outro estudo, também realizado na região sul do Brasil (RS), foi constatado que em anos considerados neutros ou normais houve uma menor disponibilidade de água no solo, enquanto em anos de ocorrência de El Niño houve uma maior disponibilidade, ocasionando em rendimento favorável para as culturas da soja. Para o trigo, o período mais favorável ao rendimento desta cultura foi em anos de La Niña (ALBERTO et al., 2006). Ainda na região sul, no município de Pelotas, RS, os rendimentos da cultura do arroz irrigado também foram analisados com a ocorrência do ENOS, e os resultados mostraram que em anos de La Niña os rendimentos aumentaram em média 5,6%, passando de 5039 kg ha⁻¹ (valor obtido em anos normais ou neutros) para 5600 kg ha⁻¹. Nos eventos de La Niña de maior intensidade o aumento de rendimento foi ainda mais significativo, da ordem de 9,4% (5800 kg ha⁻¹); enquanto na ocorrência de El Niño os rendimentos apresentados não sofreram nenhum tipo de variação significativa (em média 5300 kg ha⁻¹). Apenas quando os eventos de El Niño foram mais fortes foi possível se obter um aumento de cerca de 7% na produtividade, passando a produzir em média 5650 kg ha⁻¹ (MOTA, 2000).

Os efeitos que o ENOS provoca no clima são sentidos nas lavouras do mundo todo, no sul da Ásia e na Austrália, em anos de El Niño, há uma redução na produtividade de grãos, enquanto nas pradarias da América do Norte há um aumento (GARNETT e KHANDEKAR, 1992). No sudeste dos EUA, as culturas do amendoim, do tomate, do algodão, do tabaco, do milho e da soja foram influenciadas significativamente em seus rendimentos pelos efeitos que o ENOS produziu na variabilidade climática (HANSEN et al., 1998).

2.3.1 Impactos do Fenômeno ENOS na produção de cana-de-açúcar

Quanto aos impactos na produção da cana-de-açúcar, sabe-se que a variabilidade do clima de cada época do ano afeta a produção agrícola ao redor do mundo. Ao longo de todo o ano existe uma série de manejos e operações agrícolas que são influenciadas pelas condições de chuva, e um planejamento da cultura de forma que a época de colheita não coincida com a época chuvosa. Assim, conhecer as alterações dos padrões de chuva em anos específicos, como nos de eventos ENOS, é muito útil, auxiliando na tomada de decisão para a modificação de algumas práticas tradicionais nos canaviais (EVERINGHAM et al., 2012).

É reconhecido que o ENOS contribui de forma significativa para a variabilidade das chuvas na costa nordeste da Austrália (PITOCK, 1975; MCBRIDE e NICHOLLS, 1983; STONE et al., 1992), onde se situam as áreas produtoras de cana-de-açúcar. Nessas áreas, o conhecimento da variabilidade interanual das chuvas auxilia nas práticas de manejo, otimizando a produção (EVERINGHAM et al., 2002a, 2002b). Porém, o maior desafio está em prever a ocorrência do ENOS e se esse fenômeno poderá evoluir durante a época de colheita da cana-de-açúcar, sendo essa informação bastante relevante se obtida com antecedência, entre janeiro e março. Por exemplo, se as previsões indicassem um aumento na quantidade de chuva, as usinas poderiam iniciar a colheita mais cedo, enquanto se a previsão indicasse uma redução, as usinas poderiam atrasar o início do período da colheita, já que o teor de açúcar da cana aumentaria nessa situação (EVERINGHAM et al., 2012).

A cana-de-açúcar, também cultivada na África do Sul, pode ser fortemente impactada pelas alterações das condições climáticas. Deressa (2005) verificou que o cenário de alteração do clima tem uma maior sensibilidade para futuros aumentos de temperatura do que precipitação, podendo gerar impactos sobre a produção de cana nesse país, mostrando que a opção de irrigação não é uma opção eficaz para mitigar os danos das mudanças climáticas, e que as melhores estratégias de adaptação estão, em especial, sobre as tecnologias e regimes de gestão que visem o aumento da tolerância da cana para altas temperaturas durante o inverno e, especialmente, nas fases de colheita. O ENOS também pode provocar este tipo de variabilidade nas condições climáticas desse país, e é na fase de El Niño onde são encontradas as temperaturas mais elevadas, acarretando em redução das produtividades.

O Brasil é considerado um dos mais tradicionais produtores da cana-de-açúcar do mundo, por possuir uma grande extensão territorial com a cultura, e por esta poder ser cultivada em diferentes tipos de ambientes de produção – solo e clima (DIAS, 1997). Certos fatores influenciam na produção e maturação da cultura, como o manejo, a cultivar escolhida, o tipo de solo e a condições climáticas da região escolhida (CESAR et al., 1987). Em relação ao clima, a temperatura e o déficit hídrico são os principais fatores a influenciar a produtividade e a qualidade da cultura (CARDOZO e SENTELHAS, 2013). Dada a grande variabilidade espacial do clima das regiões de produção da cana-de-açúcar no Brasil, já que a mesma é cultivada nas regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste, esta cultura está sujeita às influências do ENOS, sendo seus impactos diferenciados em cada uma dessas regiões.

2.4 Modelos de simulação de culturas

Modelos de simulação de culturas são ferramentas de elevado potencial, que tem por finalidade fornecer um melhor conhecimento da interação entre as plantas e o ambiente, permitindo o estudo e o entendimento dos processos físicos, químicos e biológicos dessa interação, além de permitir avaliar o desempenho da cultura em diferentes situações (SOLER, 2004). Sendo assim, esses modelos têm o objetivo de reproduzir da maneira mais próxima do real possível, por meio de equações matemáticas, os processos fisiológicos e as interações da cultura com o meio (ANDRADE et al., 2009).

Segundo Jame e Cutforth (1996), um modelo pode ser definido como uma série de algoritmos que descrevem um sistema. E um sistema pode ser considerado como um compartimento, com entradas e saídas tanto de matéria quanto de energia, formado por elementos que se relacionam entre si e que se autorregulam, dotados de limites no espaço e no tempo. Por exemplo, uma população de plantas, delimitada num espaço físico, pode ser considerada um sistema no qual os elementos são as plantas, o solo, a água e a atmosfera. Sendo que inúmeros processos acontecem neste sistema para transformar luz, água e nutrientes em fitomassa. Um modelo, então, poderia ser criado para descrever os processos e produzir uma saída que seria a produção de fitomassa, por exemplo, partindo-se do conhecimento dos elementos de entrada do sistema (ANDRADE et al., 2009).

Monteith (1996) determinou que os modelos de simulação de cultura são como um conjunto de equações que funcionam na forma de estimar o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade de uma cultura, partindo dos coeficientes genéticos e das variáveis ambientais envolvidas, o que permite analisar e verificar diversos componentes da produtividade de determinada cultura. Para realizar uma simulação por meio de um modelo e obter dados da produtividade da cultura, é necessário o fornecimento de algumas informações, como: características de solo; características de clima; tipos de manejo e condições iniciais do sistema. Quanto a essas características, muitas vezes, existe certo problema de imprecisão, pois elas são específicas para uma unidade espacial considerada no sistema, transferindo essa imprecisão também para as variáveis de saída do modelo. As variáveis de saída se referem às informações agrônômicas, como: consumo de água e nitrogênio, crescimento, desenvolvimento e produtividade (ANDRADE et al., 2009).

2.4.1 Sistema de Suporte à Decisão e Transferência de Agrotecnologia (DSSAT)

O DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) leva em conta características de clima, do solo, do manejo e também aspectos genéticos da cultura, simulando o crescimento e o desenvolvimento de 16 diferentes culturas. Nesse sistema também são encontrados uma coleção de programas independentes (Figura 6) que auxiliam na organização de dados de clima, solo, observações de campo, condições experimentais e informações genotípicas. Assim, este sistema, permite a avaliação e a aplicação dos modelos de cultura para diferentes propósitos (JONES et al., 2003).

Figura 6 - Diagrama da estrutura do software DSSAT. Adaptado de JONES et al. (2003)

O DSSAT inclui programas para que se possa realizar aplicações sazonais e análises de sequência, possibilitando, desta forma, avaliar os possíveis riscos econômicos, assim como os impactos relacionados às mudanças climáticas, à variabilidade climática, à irrigação, ao sequestro de carbono do solo, aos fertilizantes utilizados no manejo e à gestão de precisão. Ao total são 27 modelos de culturas com ferramentas para a gestão e criação experimental dos arquivos de clima e solo (ICASA, 2012).

Para que se possa realizar uma simulação do crescimento de qualquer cultura, primeiramente deve-se atentar para alguns requisitos mínimos de dados de entrada do sistema, que são: clima - latitude e longitude da estação meteorológica. valores diários de radiação solar global ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), temperaturas máxima e mínima do ar ($^{\circ}\text{C}$) e precipitação (mm); solo - profundidade superior e inferior do horizonte do solo (cm), porcentagem de areia, silte e argila de cada horizonte, capacidade de armazenamento de água no solo, carbono orgânico, pH e informações sobre o crescimento de raízes; cultura – manejo e características genéticas (ICASA, 2012).

Segundo Pavan (2007), a simulação de culturas pelo sistema DSSAT considera o crescimento, o desenvolvimento e a produção de uma determinada cultura, em uma área uniforme de terreno, juntamente com as informações de manejo que foram inseridas e/ou simuladas, bem como mudanças que podem ocasionalmente ocorrer no conteúdo de nitrogênio, água e carbono num determinado período de tempo.

2.4.1.1 CANEGRO

O CANEGRO é um modelo de simulação da cultura da cana-de-açúcar desenvolvido na África do Sul com o objetivo de modelar os processos fisiológicos mais relevantes da cultura (INMAN-BAMBER, 1991). Incluído no DSSAT (versão 3.1) e atualizado na versão 4.5 por Singels et al. (2008), o modelo DSSAT/CANEGRO vem sendo aplicado em diversas partes do mundo na análise e na busca pelo conhecimento dos sistemas de produção de cana-de-açúcar (O'LEARY, 2000; INMAN-BAMBER et al., 2002; THOBURN et al., 2005).

Basicamente, esse modelo permite estimar a produtividade da cultura da cana-de-açúcar, além de ser possível o conhecimento de como se deu o desenvolvimento da cultura ao longo do ciclo de cultivo, pois o DSSAT/CANEGRO

considera desde variáveis biométricas até aspectos envolvendo o consumo de água, o balanço hídrico no solo e a ciclagem de nutrientes, principalmente o nitrogênio, incluindo também a fenologia, o desenvolvimento do dossel, o perfilhamento da cultura, o acúmulo e particionamento de biomassa, crescimento de raízes, estresse hídrico e acamamento da cultura (SINGELS et al., 2008; JONES et al., 2007).

O modelo também pode ser empregado como referência, indicando algumas inconsistências nos modelos empíricos (O'LEARY, 2000). Este é considerado um aspecto muito importante, pois em grandes lavouras, existe certo grau de heterogeneidade biótica e edafo-climática, e a dificuldade em obter os parâmetros de entradas exigidos por modelos mais complexos como o DSSAT CSM-CANEGRO torna sua utilização restrita. Porém, a disponibilidade de dados de clima e solo tem aumentado com o tempo, permitindo o uso de ferramentas mais robustas em grandes escalas de aplicação (NASSIF, 2010).

O modelo exige uma série de parâmetros mínimos de entrada, dentre eles: ponto de murcha, capacidade de campo, profundidade de solo, e dados diários de radiação solar, precipitação e temperaturas máximas e mínimas (NASSIF, 2010). Existem ainda 74 parâmetros subdivididos em três tipos: de espécie; de ecótipo; e de cultivar; porém, apenas os parâmetros de ecótipo e de cultivar podem ser ajustados pelo usuário (SINGELS et al., 2008).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi realizado com o intuito de se analisar os efeitos provocados pelas fases do ENOS (El Niño, La Niña e anos neutros) nas condições meteorológicas e na produtividade da cultura da cana-de-açúcar em diferentes regiões brasileiras.

3.1 Dados de entrada

3.1.1 Seleção dos locais e dados de clima

Para a escolha dos locais de estudo foram considerados os seguintes critérios: a existência de estação meteorológica na localidade; período de dados disponíveis; qualidade da base de dados e se o local em questão é produtor da cultura da cana-de-açúcar. Houve também uma pré-análise de consistência nos dados para se chegar às estações meteorológicas que continham períodos maiores consecutivos de dados e um menor número de falhas. As localidades escolhidas para o presente estudo são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Localidades empregadas no estudo, suas coordenadas geográficas, altitude e período de dados disponíveis nas estações meteorológicas. Fonte: INMET

Local	UF	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)	Início	Fim
Jataí	GO	-17,88	-51,71	663	1978	2009
João Pessoa	PB	-7,10	-34,86	7	1978	2009
Londrina	PR	-23,31	-51,13	566	1978	2009
Piracicaba	SP	-22,71	-47,42	580	1978	2009

Os dados meteorológicos das localidades apresentadas na Tabela 1 foram obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), sendo que cada localidade escolhida tinha a sua própria estação meteorológica com dados em escala diária e contendo 32 anos de dados de temperatura máxima e mínima do ar, precipitação pluvial e insolação.

A Figura 7 apresenta uma representação das regiões produtoras de cana-de-açúcar no Brasil e a distribuição espacial das localidades escolhidas para o presente estudo. Como se pode observar, cada uma das localidades está inserida em uma

região geográfica do país, de modo a representar as principais áreas produtoras de cana-de-açúcar no Brasil: Jataí, GO, na região Centro-Oeste; João Pessoa, PB, na região Nordeste; Londrina, PR, na região Sul; e Piracicaba, SP, na região Sudeste.

Figura 7 – Regiões brasileiras de produção de cana-de-açúcar e localidades empregadas no presente estudo

Como haviam falhas nas séries de dados meteorológicos, houve a necessidade de se preencher essas falhas, assim como corrigir valores discrepantes. Para se corrigir os dados faltantes de precipitação nas séries históricas das localidades, foi utilizado o critério de preenchimento com dados da estação meteorológica mais próxima, sendo que esses dados foram obtidos junto à rede pluviométrica da Agência Nacional de Águas (ANA), com o critério de a estação estar num raio de no máximo 20 km de cada localidade analisada no estudo (VIANNA, 2014), desde que em mesmas condições de altitude.

Além disso, foi necessário se estimar os dados de radiação solar global, já que o modelo DSSAT CSM-CANEGRO emprega esses dados e as séries climáticas do INMET apenas fornecem a insolação. Assim, os dados diários de radiação solar global (Q_g) foram estimados com base na equação de Angström-Prescott, a qual emprega dados de insolação (n), fotoperíodo (N) e irradiância solar extraterrestre

(Q_o), considerando-se efeitos de nebulosidade, presença de poluentes e vapor d'água e a época do ano (Pereira et al., 2002).

Os valores de Q_o e N para as diferentes localidades e dia do ano foram determinados a partir das seguintes equações astronômicas:

$$Q_o = 37,6 \times \left(\frac{d}{D}\right)^2 \times \left[\left(\frac{\pi}{180}\right) \times h_n \times \sin \phi \times \sin \delta + \cos \phi \times \sin \delta \times \sinh_n \right] \quad (1)$$

em que: 37,6 é a constante solar ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); $(d/D)^2$ é o fator de correção para distância relativa Terra-Sol; δ é a declinação solar; ϕ é a latitude do local (em graus e décimos); e h_n é o ângulo horário do nascer do solo, dado por:

$$h_n = \cos^{-1}(-\tan \phi \times \tan \delta) \quad (2)$$

Inicialmente, quando se tinha o valor diário de insolação (n) utilizava-se o método de Angström-Prescott para estimar a radiação solar global, empregando-se os coeficientes a e b sugeridos por Glover e McCulloch (1958):

$$Q_g = Q_o \times \left[0,29 \times \cos \phi + 0,52 \times \left(\frac{n}{N}\right) \right] \quad (3)$$

em que: Q_g é a irradiância solar global ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); n é a insolação diária (horas), e N é o fotoperíodo (horas), calculado com:

$$N = 2 \times \left(\frac{h_n}{15}\right) \quad (4)$$

Quando o valor de insolação não estava disponível ou não era confiável, estimaram-se os valores de Q_g pela equação (5), seguindo a proposta de Hargreaves (1994) e a recomendação do boletim da FAO-56 (ALLEN et al., 1998):

$$Q_g = k \times \sqrt{(T_{\max} - T_{\min})} \times Q_o \quad (5)$$

em que: T_{max} e T_{min} são as temperaturas máxima e mínima diária ($^{\circ}C$) e k é o coeficiente empírico do método, para corrigir o efeito da continentalidade. Allen et al. (1998) propõem dois valores para o coeficiente “ k ”, sendo $k = 0,19$ para regiões litorâneas e $k = 0,16$ para regiões continentais.

Para o preenchimento dos dados faltantes de temperatura máxima e mínima foi empregada a interpolação linear quando as falhas eram no máximo de até três dias. Para períodos maiores de falhas, empregou-se a geração estocástica de dados pela ferramenta WeatherMan, que faz parte do sistema DSSAT v.4.5. Ela é considerada uma ferramenta de importação, análise e exportação de dados meteorológicos em formatos distintos. Na função de gerador de dados diários e mensais, a ferramenta tem métodos e funções estatísticas e probabilísticas robustos, como por exemplo, a distribuição Gamma, a cadeia de Markov de segunda ordem, processos estocásticos multivariados, médias, variâncias e desvio padrão. Segundo Pickering et al. (1994) e Sentelhas et al. (2001), a probabilidade de ocorrência de chuvas está condicionada ao dia anterior, e as estimativas de temperaturas máxima e mínimas e de radiação solar estão condicionadas às ocorrências de dias chuvosos ou secos. Sendo assim, para períodos com falhas muito longas nas séries de dados meteorológicos das localidades, essas foram preenchidas pelo gerador WGEN que faz parte do WeatherMan, o qual emprega os dados existentes na série para gerar os parâmetros estatísticos para posteriormente gerar os dados faltantes por meio de processos estocásticos.

3.1.2 Dados dos solos

Como foram utilizadas localidades de diferentes regiões brasileiras, optou-se por empregar dados de três perfis de solo, um representando solos de textura arenosa (<15% de teor de argila), um representando solos de textura média (15-35% de teor de argila) e um representando solos de textura argilosa (>35% de teor de argila) (DALMALGO et al., 2009; LOPES-ASSAD, 2007), obtendo-se assim três cenários, que representam baixa, média e alta capacidade de água disponível (CAD) no solo (Solos tipo 1, 2 e 3).

No DSSAT os dados de solo, características físico-hídricas e químicas, são cadastrados em uma base de dados onde se é possível estimar valores de umidade

por meio de equações de pedotransferência. Para se realizar essa tarefa é preciso se atentar aos seguintes requisitos:

- a) Classificação e localização no espaço;
- b) Características físico-hídricas, como teores de argila e silte (%), capacidade de campo, condutividade hidráulica saturada, densidade do solo, ponto de murcha permanente, umidade de saturação;
- c) Características químicas, como carbono orgânico, capacidade de troca catiônica, N total (%) e pH em água;
- d) Fator de crescimento e distribuição radicular ao longo do perfil do solo;
- e) Parâmetros de superfície, como cor, drenagem, declividade, fator de fertilidade e potencial de escoamento superficial (*Curve Number*).

O banco de dados RADAM Brasil serviu de base para a coleta de informações de granulometria dos solos utilizados neste estudo. Foram utilizados os seguintes solos:

- 1) Neossolo Quartzarênico distrófico (NQd) de baixo teor de argila, representando o cenário de baixa retenção de água (CAD = 37 mm);
- 2) Latossolo Vermelho distrófico (LVEd) de textura média, representando o cenário de média retenção (CAD = 70 mm);
- 3) Latossolo Vermelho distroférico (LRd) de textura argilosa, representando o cenário de maior retenção de água (CAD = 264 mm).

Quanto às características físico-hídricas do solo, como a densidade, a condutividade hidráulica e os teores de água no solo, elas podem ser estimadas pelo DSSAT a partir de funções de pedotransferência. Porém, as funções de pedotransferência do programa para estimar a curva de retenção de água no solo estão ajustadas para solos de climas temperados e não para solos do clima tropical brasileiro (MARIN et al., 2011). Portanto, para se estimar valores de ponto de saturação do solo, ponto de murcha permanente (-1500 kPa), e capacidade de campo (-10 kPa), utilizou-se o método de curva de ajuste sugerido por Van Genuchten (1980), com os parâmetros de ajuste de Tomasella et al. (2000) obtidos para diversas localidades brasileiras. Sendo assim, as principais características físico-hídricas dos perfis dos solos utilizados são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Textura e características físico-hídricas dos perfis dos solos empregados no presente estudo, provenientes do banco de dados do Projeto RADAM Brasil e estimados pelas funções de pedotransferência de Tomasella et al. (2000)

Prof. (cm)	Horiz.	Argila (%)	Silte (%)	Condut. Hid. Sat (cm h ⁻¹)	Densidade (g cm ⁻³)	θPMP (cm ³ cm ⁻³)	θCC (cm ³ cm ⁻³)	θSAT (cm ³ cm ⁻³)	CAD (mm)
<u>Neossolo Quartzarênico distrófico (NQd)</u>									
20	A	5,4	3,8	21	1,45	0,071	0,119	0,431	10
45	AC	6,6	4,1	21	1,5	0,074	0,126	0,413	13
70	C1	7,6	4,4	6,11	1,56	0,075	0,132	0,39	14
<u>Latossolo Vermelho distrófico (LVEd)</u>									
10	Ap	14,2	14,6	2,59	1,46	0,126	0,208	0,451	8
25	A3	14	10,4	2,59	1,5	0,115	0,189	0,43	11
55	B1	17,4	11,2	2,59	1,52	0,129	0,207	0,422	23
90	B21	20,8	11,2	0,43	1,57	0,14	0,22	0,402	28
<u>Latossolo Vermelho distroférico (LRd)</u>									
15	Ap	50,9	30,3	0,06	1,23	0,277	0,391	0,554	17
30	A3	54,3	34,5	0,06	1,26	0,282	0,406	0,548	19
50	B1	54,2	32,8	0,06	1,28	0,281	0,398	0,535	23
100	B21	53,8	36,5	0,06	1,3	0,278	0,405	0,531	63
200	B22	51,1	40,9	0,09	1,34	0,267	0,409	0,517	142

PMP: ponto de murcha permanente (-1500 kPa); CC: capacidade de campo (-10 kPa); θs: saturação do solo.

Para o cadastramento dos solos, informações relativas à cor, à declividade, à drenagem, à fertilidade do solo e ao potencial de escoamento superficial também são requeridas. Assim, para cada solo foram requeridos os seguintes dados: albedo, associado à cor; taxa de drenagem (adimensional 0-1); declividade e drenagem, determinados pelo procedimento do *Curve Number* (CN) do USDA, determinando o escoamento superficial de cada perfil, como apresentado na Figura 8.

Figura 8 – Relação entre escoamento superficial e precipitação pluvial para diferentes valores do *Curve Number* – *CN* (número da curva), do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos, e condições de umidade do solo. Adaptado de Ritchie (1998) e Vianna (2014)

No DSSAT v,4.5, o balanço hídrico é baseado no método de Ritchie (1998), conhecido pelo movimento de água no solo do tipo “cascata”, como observado na Figura 9. Nesse método, quando a umidade da camada superior do solo alcança um valor acima da capacidade de campo (CC), o excesso será drenado para a próxima camada, e assim por diante para as outras camadas. A drenagem respeita certa taxa, que determina o volume e o tempo drenado em cada uma das camadas. O albedo afeta a evaporação do solo e enquanto não há a emergência das plantas, o valor do albedo do solo é mantido constante. Quando acontece a emergência da planta, o albedo é alterado em função do IAF (índice de área foliar) e, em seguida, utilizado no método de Priestley e Taylor (1972), para se estimar a evaporação de água do solo. Na Tabela 3 são apresentados os valores de CN, taxa de drenagem e albedo para cada solo utilizado no presente estudo.

Figura 9 – Representação esquemática do balanço de água no solo simulado pelo DSSAT, em que SAT é o ponto de saturação, C.C. é a capacidade de campo, P.M.P. é ponto de murcha permanente e C.A.D. é a capacidade de água disponível no solo para as plantas. Adaptado de Ines et al. (2001) e Vianna (2014)

Tabela 3 – Parâmetros de número de curva (CN), drenagem e albedo estimados pelo modelo DSSAT v.4.5 para os três tipos de solos estudados: Neossolo Quartzarênico distrófico (NQd); Latossolo Vermelho distrófico (LVEd); Latossolo Vermelho distroférico (LRd)

Solos	CN (30 - 100)	Fator drenagem (0-1)	Albedo (0-1)
NQd	61	0,75	0,17
LVEd	76	0,50	0,14
LRd	84	0,40	0,13

O fator de enraizamento (SRGF) é outro coeficiente de alta importância que está inserido no arquivo de solo. Ele determina o crescimento das raízes em cada uma das camadas do solo e é calculado pelo DSSAT de acordo com as características físico-hídricas de cada perfil, como se pode observar na Tabela 4. Por sua vez, o modelo DSSAT CSM-CANEGRO utiliza esse fator para repartir a biomassa para as raízes em cada camada. Desse modo o crescimento das raízes está diretamente relacionado a este fator, exercendo consequente influência no potencial de absorção de água da planta.

Tabela 4 – Fator de enraizamento (0-1) de acordo com o tipo e camada de solo, sendo: NQd = Neossolo Quartzarênico distrófico; LVEd = Latossolo Vermelho distrófico; LRd = Latossolo Vermelho distroférico. As camadas correspondem às profundidades especificadas para cada tipo de solo na Tabela 2

Camada	NQd	LVEd	LRd
1	1,00	1,00	1,00
2	0,52	1,00	1,00
3	0,32	0,45	0,47
4	-	0,19	0,22
5	-	-	0,08

Como o sistema de plantio utilizado no presente estudo é o de cana-planta de 12 meses de ciclo, o balanço de água no solo acaba considerando um valor inicial de densidade de comprimento de raiz (RLV) igual a 0,02 cm cm³ em todas as camadas do solo (PORTER et al. 2004a). Conforme acontece o aumento da biomassa, a fração de incremento do dia é repartida para as raízes e distribuída em função do fator de enraizamento (Figura 10).

Figura 10 – Distribuição da biomassa das raízes nas diferentes profundidades em cada tipo de solo, sendo: NQd = Neossolo Quartzarênico distrófico; LVEd = Latossolo Vermelho distrófico; LRd = Latossolo Vermelho distroférico

Em solos onde há uma boa capacidade de retenção de água, as raízes da cana-de-açúcar, em grande parte, se concentram nas camadas mais superficiais do solo, caso o solo não tenha nenhuma restrição nutricional. Já em solos mais arenosos, onde a capacidade de reter água é bem menor, as raízes atingem profundidades maiores em busca de água. Desta forma, o solo que apresenta uma profundidade de 200 cm (CAD = 264 mm) não tem raízes em todas as suas camadas, ou seja, cerca de 90% das raízes encontram-se na profundidade de aproximadamente 100 cm (Figura 10), que corresponde a uma CAD de 122 mm.

3.1.3 Cultivar

Os parâmetros predefinidos no DSSAT para as cultivares de cana-de-açúcar estão adequados às cultivares sul-africanas, devido a isso a cultivar de cana-de-açúcar utilizada no presente estudo foi a RB86-7515, a qual foi calibrada a fim de aproximar os resultados da realidade comercial brasileira. A calibração foi elaborada por Marin et al. (2013a) com medidas experimentais em campo de fenologia, população de colmos, cobertura do dossel e frações de partição de biomassa (Tabela 5) de seis localidades do Brasil, representando condições distintas de clima e solo. Essa cultivar ocupa aproximadamente 30% da área plantada de cana-de-açúcar em Brasil.

Com a modificação dos parâmetros predefinidos no DSSAT pelos apresentados na Tabela 5, o modelo mostrou resultados mais satisfatórios na estimativa da produtividade da cana-de-açúcar e do índice de área foliar, como se pode observar na Tabela 6.

3.1.4 Classificação dos anos com eventos de ENOS

O levantamento dos anos de ocorrência dos eventos do ENOS foi feito junto às bases do CPTEC/INPE, IRI e NOAA. Foram coletados dados dessas três bases de informações havendo uma pré-análise de todo o conjunto de dados adquirido. Observou-se que as informações contidas em cada base de dados eram muito parecidas, então se decidiu por utilizar o conjunto de dados do NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) por ser uma base de dados internacionalmente conhecida e de extrema confiança.

Tabela 5 – Parâmetros calibrados para a cultivar RB86-7515 em condições brasileiras de cultivo. Adaptado de MARIN et al. (2013a)

Parâmetro	Descrição	Unidades	RB867515
PARCEMAX	Máxima eficiência na conversão de radiação expressa em assimilados produzidos antes da respiração, por unidade de PAR	g MJ ⁻¹	11,1
APFMX	Fração máxima de incremento de massa seca que pode ser atribuído a massa seca da parte aérea	t t ⁻¹	0,88
STKPFMAX	Fração do incremento diário de massa seca aérea particionada para o colmo em altas temperaturas em uma cultura madura	t t ⁻¹ base massa seca	0,65
LFMAX	Número máximo de folhas verdes saudáveis, plantas adequadamente irrigadas serão velhas o suficiente para perderem folhas após este número.	nº folhas	10
MXLFAREA	Área da lamina foliar máxima atribuída a todas as folhas sobre o número de folhas MXLFARNO (cm ²)	cm ²	546
MXLFARNO	Número de folhas sobre o qual é limitado pelo MXLFAREA	nº folhas	22
PI1	Intervalo de filocrono 1 (para número de folhas abaixo do Pswitch)	°C dia	89
PI2	Intervalo de filocrono 1 (para número de folhas acima do Pswitch)	°C dia	107
PSWITCH	Número da folha em que há mudança no filocrono	nº	18
TTPLNTEM	Graus-dia para emergência da cana-planta	°C dia	208
TTRATNEM	Graus-dia para emergência da soqueira	°C dia	120
CHUPIBASE	Graus-dia para o início do crescimento do colmo	°C dia	448
TT_POPGROWTH	Graus-dia para ocorrer o pico do perfilhamento	°C dia	628
MAX_POP	População de perfilhos máxima	colmos m ⁻²	12
POPTT16	População de colmos após 1600 graus-dia	colmos m ⁻²	10
LG_AMBASE	Massa da parte aérea (colmo, folhas e água) onde ocorre o início do acamamento	t ha ⁻¹	220

Tabela 6 – Desempenho do modelo CSM-CANEGRO para a simulação da produtividade e do índice de área foliar da cultura da cana-de-açúcar (cultivar RB86-7515), sendo: REMQ = raiz do erro quadrático médio; r = coeficiente de correlação. Adaptado de MARIN et al. (2013a)

Índice	Produtividade (t ha ⁻¹)	IAF
REMQ	17,8	1,0
r	0,96	0,63
Média Obs.	87,8	3,4
Média Sim.	88,2	2,7

As informações adquiridas que servem de apoio para a distinção de anos de El Niño, La Niña e anos neutros tem como base informações das anomalias da temperatura da superfície do mar (TSM), como se observa na Tabela 7. O limiar de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ na TSM serve para diferenciar o que eles consideram como episódios frios ($\leq -0,5^{\circ}\text{C}$) e episódios quentes ($\geq +0,5^{\circ}\text{C}$).

O critério utilizado, no presente estudo, para a diferenciação dos eventos do ENOS, segundo o NOAA, foi o seguinte:

- Anos de El Niño - aqueles em que a média móvel de cinco meses do ano da anomalia de TSM foi maior ou igual a $+0,5^{\circ}\text{C}$, a partir de julho de cada ano;
- Anos de La Niña - aqueles em que a média móvel de cinco meses do ano da anomalia de TSM foi menor ou igual a $-0,5^{\circ}\text{C}$, a partir de julho de cada ano;
- Anos neutros - aqueles em que a média móvel de cinco meses do ano da anomalia de TSM esteve no intervalo entre $-0,5^{\circ}\text{C}$ e $+0,5^{\circ}\text{C}$, a partir de julho de cada ano.

A partir da análise do conjunto de dados (Tabela 7) e do critério de distinção dos eventos do ENOS pode-se estipular o evento (El Niño, La Niña ou ano neutro) de cada ano estudado em toda a série histórica, como apresentado pela Tabela 8.

Tabela 7 – Anomalias trimestrais da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) para os anos de 1950 a 2012 usados para a identificação dos eventos de El Niño (valores $\geq +0,5^{\circ}\text{C}$), de La Niña (valores $\leq -0,5^{\circ}\text{C}$) e neutros (intervalo entre $-0,5^{\circ}\text{C} < x < +0,5^{\circ}\text{C}$). Fonte: NOAA
(continua)

Ano	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1950	-1,4	-1,3	-1,2	-1,2	-1,1	-0,9	-0,6	-0,5	-0,4	-0,5	-0,6	-0,7
1951	-0,8	-0,6	-0,4	-0,2	0	0,4	0,6	1	1,1	1,2	1,1	0,9
1952	0,6	0,4	0,3	0,3	0,3	0,1	-0,1	0	0,2	0,2	0,2	0,3
1953	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8
1954	0,7	0,5	0,1	-0,4	-0,5	-0,5	-0,6	-0,7	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7
1955	-0,7	-0,7	-0,7	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-1,1	-1,4	-1,7	-1,6
1956	-1,1	-0,8	-0,6	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,6	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5
1957	-0,3	0,1	0,4	0,7	0,9	1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,5	1,8
1958	1,8	1,6	1,2	0,9	0,7	0,6	0,5	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6
1959	0,6	0,6	0,5	0,3	0,2	-0,1	-0,2	-0,3	-0,1	0	0,1	0
1960	-0,1	-0,2	-0,2	-0,1	-0,1	0	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1
1961	0	0	0	0,1	0,3	0,4	0,2	-0,1	-0,3	-0,3	-0,2	-0,1

Tabela 7 – Anomalias trimestrais da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) para os anos de 1950 a 2012 usados para a identificação dos eventos de El Niño (valores $\geq +0,5^{\circ}\text{C}$), de La Niña (valores $\leq -0,5^{\circ}\text{C}$) e neutros (intervalo entre $-0,5^{\circ}\text{C} < x < +0,5^{\circ}\text{C}$). Fonte: NOAA

(continua)

1962	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,2	-0,2	0	-0,1	-0,2	-0,3	-0,4	-0,5
1963	-0,4	-0,2	0,1	0,3	0,3	0,5	0,8	1,1	1,2	1,3	1,4	1,3
1964	1,1	0,6	0,1	-0,4	-0,6	-0,6	-0,6	-0,7	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8
1965	-0,6	-0,3	0	0,2	0,5	0,8	1,2	1,5	1,7	1,9	1,9	1,7
1966	1,4	1,1	0,9	0,6	0,4	0,3	0,3	0,1	0	-0,1	-0,1	-0,2
1967	-0,3	-0,4	-0,5	-0,4	-0,2	0,1	0,1	-0,1	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4
1968	-0,6	-0,8	-0,7	-0,5	-0,2	0,1	0,4	0,5	0,5	0,6	0,8	1
1969	1,1	1,1	1	0,9	0,8	0,6	0,5	0,5	0,8	0,9	0,9	0,8
1970	0,6	0,4	0,4	0,3	0,1	-0,2	-0,5	-0,7	-0,7	-0,7	-0,8	-1
1971	-1,2	-1,3	-1,1	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,8	-0,9	-0,8
1972	-0,6	-0,3	0,1	0,4	0,6	0,8	1,1	1,4	1,6	1,9	2,1	2,1
1973	1,8	1,2	0,6	-0,1	-0,5	-0,8	-1	-1,2	-1,3	-1,6	-1,9	-2
1974	-1,9	-1,6	-1,2	-1	-0,8	-0,7	-0,5	-0,4	-0,4	-0,6	-0,8	-0,7
1975	-0,5	-0,5	-0,6	-0,7	-0,8	-1	-1,1	-1,2	-1,4	-1,5	-1,6	-1,7
1976	-1,5	-1,1	-0,7	-0,5	-0,3	-0,1	0,2	0,4	0,6	0,7	0,8	0,8
1977	0,6	0,6	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,7	0,8	0,8
1978	0,7	0,5	0,1	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,3	-0,1	-0,1
1979	-0,1	0,1	0,2	0,3	0,2	0	0	0,2	0,3	0,5	0,5	0,6
1980	0,5	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,1	-0,1	0	0	-0,1
1981	-0,4	-0,6	-0,5	-0,4	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,3	-0,2	-0,2	-0,1
1982	-0,1	0	0,1	0,3	0,5	0,7	0,7	1	1,5	1,9	2,1	2,2
1983	2,2	1,9	1,5	1,2	0,9	0,6	0,2	-0,2	-0,5	-0,8	-0,9	-0,8
1984	-0,5	-0,3	-0,3	-0,4	-0,5	-0,5	-0,3	-0,2	-0,3	-0,6	-0,9	-1,1
1985	-1	-0,9	-0,7	-0,7	-0,7	-0,6	-0,5	-0,5	-0,5	-0,4	-0,4	-0,4
1986	-0,5	-0,4	-0,2	-0,2	-0,1	0	0,3	0,5	0,7	0,9	1,1	1,2
1987	1,2	1,3	1,2	1,1	1	1,2	1,4	1,6	1,6	1,5	1,3	1,1
1988	0,8	0,5	0,1	-0,2	-0,8	-1,2	-1,3	-1,2	-1,3	-1,6	-1,9	-1,9
1989	-1,7	-1,5	-1,1	-0,8	-0,6	-0,4	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,2	-0,1
1990	0,1	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4
1991	0,3	0,2	0,2	0,3	0,5	0,7	0,8	0,7	0,7	0,8	1,2	1,4
1992	1,6	1,5	1,4	1,2	1	0,7	0,3	0	-0,2	-0,3	-0,2	0
1993	0,2	0,3	0,5	0,6	0,6	0,5	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1
1994	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,7	1	1,2
1995	1	0,8	0,6	0,3	0,2	0	-0,2	-0,4	-0,7	-0,8	-0,9	-0,9
1996	-0,9	-0,8	-0,6	-0,4	-0,3	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4	-0,5
1997	-0,5	-0,4	-0,1	0,2	0,7	1,2	1,5	1,8	2,1	2,3	2,4	2,3
1998	2,2	1,8	1,4	0,9	0,4	-0,2	-0,7	-1	-1,2	-1,3	-1,4	-1,5
1999	-1,5	-1,3	-1	-0,9	-0,9	-1	-1	-1,1	-1,1	-1,3	-1,5	-1,7
2000	-1,7	-1,5	-1,2	-0,9	-0,8	-0,7	-0,6	-0,5	-0,6	-0,6	-0,8	-0,8
2001	-0,7	-0,6	-0,5	-0,4	-0,2	-0,1	0	0	-0,1	-0,2	-0,3	-0,3
2002	-0,2	0	0,1	0,3	0,5	0,7	0,8	0,8	0,9	1,2	1,3	1,3
2003	1,1	0,8	0,4	0	-0,2	-0,1	0,2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3
2004	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7
2005	0,6	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,1	0	-0,2	-0,5	-0,8
2006	-0,9	-0,7	-0,5	-0,3	0	0,1	0,2	0,3	0,5	0,8	1	1

Tabela 7 – Anomalias trimestrais da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) para os anos de 1950 a 2012 usados para a identificação dos eventos de El Niño (valores $\geq +0,5^{\circ}\text{C}$), de La Niña (valores $\leq -0,5^{\circ}\text{C}$) e neutros (intervalo entre $-0,5^{\circ}\text{C} < x < +0,5^{\circ}\text{C}$). Fonte: NOAA

	(conclusão)											
2007	0,7	0,3	-0,1	-0,2	-0,3	-0,3	-0,4	-0,6	-0,8	-1,1	-1,2	-1,4
2008	-1,5	-1,5	-1,2	-0,9	-0,7	-0,5	-0,3	-0,2	-0,1	-0,2	-0,5	-0,7
2009	-0,8	-0,7	-0,5	-0,2	0,2	0,4	0,5	0,6	0,8	1,1	1,4	1,6
2010	1,6	1,3	1	0,6	0,1	-0,4	-0,9	-1,2	-1,4	-1,5	-1,5	-1,5
2011	-1,4	-1,2	-0,9	-0,6	-0,3	-0,2	-0,2	-0,4	-0,6	-0,8	-1	-1
2012	-0,9	-0,6	-0,5	-0,3	-0,2	0	0,1	0,4	0,5	0,6	0,2	-0,3

Tabela 8 – Classificação dos anos de El Niño, de La Niña e neutros, para os anos de 1978 a 2009, de acordo com as anomalias de TSM apresentadas na Tabela 7

Ano	ENOS	Ano	ENOS
1978/79	Neutro	1994/95	El Niño
1979/80	Neutro	1995/96	La Niña
1980/81	Neutro	1996/97	Neutro
1981/82	Neutro	1997/98	El Niño
1982/83	El Niño	1998/99	La Niña
1983/84	Neutro	1999/00	La Niña
1984/85	La Niña	2000/01	La Niña
1985/86	Neutro	2001/02	Neutro
1986/87	El Niño	2002/03	El Niño
1987/88	El Niño	2003/04	Neutro
1988/89	La Niña	2004/05	El Niño
1989/90	Neutro	2005/06	Neutro
1990/91	Neutro	2006/07	Neutro
1991/92	El Niño	2007/08	La Niña
1992/93	Neutro	2008/09	Neutro
1993/94	Neutro	2009/10	El Niño

3.2 Simulações

Inserido na plataforma do DSSAT, o “XBuild” é um módulo para a edição dos arquivos de simulação, e é nesse módulo que as simulações no DSSAT CSM-CANEGRO foram realizadas. Para cada simulação são necessários alguns procedimentos, como a seleção da cultivar, a inserção da data de plantio e colheita, e as séries históricas a serem empregadas. Como opção nas simulações, também é possível definir a data de início da simulação, quantos anos serão considerados no estudo e quantas repetições serão feitas. Além disso, o modelo ainda permite optar por diferentes cálculos de variáveis climáticas, condições de solo, evaporação do

solo, distribuição das camadas do solo, fotossíntese, hidrologia, infiltração e matéria orgânica no solo, permitindo ainda se definir as opções de manejo, como tipo de plantio, aplicação de nitrogênio, irrigação e tipos de colheita (HOOGENBOON et al., 2010).

Nas simulações, o plantio utilizado foi o de cana planta, com ciclo anual (12 meses), com data de plantio em 1^o. de maio de cada ano e colheita em 30 de abril do ano seguinte, iniciando-se no ano de 1979 e terminando no ano de 2010. O espaçamento adotado foi de 1,40 m.

As simulações foram feitas para os três cenários de CAD (solos de baixa, média e alta retenção de água), e para dois tipos de simulações: *Seasonal* – em que cada início de ciclo a umidade do solo volta a ficar em igual à CAD, fazendo com que o ano anterior não influencie na simulação do ano seguinte; e *Sequence* – em que a simulação ocorre na sequência, sem que a umidade do solo volte a ficar igual à CAD a cada início de ciclo, o que faz com que o ocorrido no ano anterior influencie o início do novo ciclo.

O ano de 1978 foi descartado das análises, servindo apenas para inicializar o balanço hídrico e definir a umidade do solo no início do primeiro ciclo pela análise *Seasonal*. Assim, não se considerou as produtividades desse ano de simulação para nenhum tipo de análise.

3.3 Análise dos dados

A análise do clima de cada localidade foi realizada com o objetivo de avaliar o impacto das fases do ENOS na temperatura, na chuva e na radiação solar. Primeiramente, foram confeccionados gráficos do tipo Box-Plot para a análise em separado de cada variável climática envolvida no estudo, tomando-se como base nessas figuras a mediana para analisar se o ano em questão ficou acima, ao redor ou abaixo dela, e assim verificar se os eventos do ENOS apresentam ou não influência nas variáveis climáticas.

O limiar para se determinar se um dado ano apresentava a variável meteorológica ao redor, acima ou abaixo da mediana foi de 10 % de seu valor. Assim, para uma mediana de temperatura de 20 °C, o intervalo considerado ao redor da mediana seria de -0,20 a +0,20 °C em relação a ela, ou seja, entre 19,8 e 20,2 °C. O mesmo procedimento foi adotado para a chuva e para a radiação solar.

Tomando ainda como base os gráficos Box-Plots criaram-se tabelas a fim de organizar o que foi observado nas figuras com o intuito de analisar como cada evento se comportou na série histórica, ou seja, houve a determinação da porcentagem de anos, em cada evento do ENOS, em que a variável esteve acima, abaixo ou ao redor da mediana.

Com relação à análise da produtividade da cana-de-açúcar foi analisado o quanto cada localidade produziu considerando-se cada evento do ENOS, em dois tipos de simulação (*Sequence* e *Seasonal*) e em três cenários de CAD (solo de baixa, média e alta retenção de água). Para se definir se houve algum efeito dos eventos de ENOS na produtividade, influenciado pelas variáveis meteorológicas avaliadas, considerou-se os seguintes critérios: desvios de até $\pm 2 \text{ t ha}^{-1}$ - sem efeito; de ± 2 a $\pm 3 \text{ t ha}^{-1}$ - efeito leve; e desvios acima de $+3$ e abaixo de -3 t ha^{-1} - efeito considerável. Esses intervalos foram adotados tomando-se por base que variações de 2 a 5% nas produtividades da cana-de-açúcar impactam demasiadamente a produção total, já que essa cultura ocupa áreas expressivas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Efeitos do ENOS no clima

4.1.1 Temperatura do ar

4.1.1.1 Temperatura máxima média

Por meio das Figuras 11 a 14 e das Tabelas 9 e 10 observa-se que a variável climática temperatura máxima média do ar sofreu alterações em decorrência dos eventos do ENOS, de acordo com os critérios adotados.

Na localidade de Jataí, GO, observou-se que a temperatura máxima média do ar (TMAX MED) variou, no geral, entre 26 e 35 °C, e que em anos de El Niño houve uma tendência da maioria dos anos ficarem acima da mediana (Tabela 9), sendo que no ano de 1994 houve o valor mais alto dessa variável (Figura 11). Nos anos de La Niña, não ficou evidente uma tendência, pois houve um equilíbrio no número de anos desse evento com a TMAX MED acima e abaixo da mediana (Tabela 9). Por sua vez, os anos neutros mostraram-se com TMAX MED predominantemente abaixo da mediana (Tabela 9), caracterizando-se como anos com temperaturas mais amenas.

Figura 11 – Variabilidade anual e interanual da temperatura máxima média (°C) em Jataí, GO, para o período de 1978 a 2009, considerando-se os anos de El Niño, de La Niña e neutros

Em João Pessoa, PB, verificou-se que a TMAX MED variou, em geral, entre 27°C e 32 °C (Figura 12), e que em anos de El Niño esses valores variaram ora acima e ora abaixo da mediana, porém com a grande maioria deles tendendo a estar na mediana ou acima dela (5 anos acima, 1 ano na mediana e 3 anos abaixo), fazendo com esses anos sejam considerados mais quentes (Tabela 9). Em anos de

La Niña houve uma tendência da TMAX MED estar ao redor da mediana e abaixo dela, enquanto nos anos neutros o que se verificou foi um predomínio de TMAX MED abaixo da mediana (Tabela 9), sendo que nesses anos foi quando foram observados os menores valores de TMAX MED da série de dados (1978 e 1981) (Figura 12).

Figura 12 – Variabilidade anual e interanual da temperatura máxima média (°C) em João Pessoa, PB, para o período de 1978 a 2009, considerando-se os anos de El Niño, de La Niña e neutros

Em Londrina, PR, a TMAX MED variou entre cerca de 20 e 34 °C (Figura 13). Em anos de El Niño observou-se uma ligeira tendência de aumento nos valores de TMAX MED ao longo dos anos (Tabela 9), como se pode observar na Figura 13, tendo o ano de 1994 e o ano de 2002 como os que alcançaram os valores mais altos dentro da série analisada (um pouco mais de 32 °C). Em anos de La Niña não se verificou grandes variações ao longo dos anos, com a maioria dos anos tendendo a apresentar TMAX MED ao redor da mediana (Tabela 9). Nos anos neutros houve uma grande variação nos valores de TMAX MED, com as maiores porcentagens dos anos desse evento sendo iguais para a condição acima e abaixo da mediana (Tabela 9).

No estado de São Paulo, na localidade de Piracicaba, a TMAX MED variou de 23 a 33 °C (Figura 14). Em anos de El Niño a tendência observada foi dos anos ficarem na mediana ou acima dela (Tabela 9), sendo que em um desses anos de El Niño (2002) observou-se a mais alta TMAX MED da série (Figura 14). Nos anos de La Niña verificou-se que houve uma tendência da TMAX MED ficarem ao redor ou acima da mediana, enquanto em anos neutros houve uma distribuição da TMAX MED bem equilibrada entre os três tipos de eventos ENOS (Tabela 9).

Figura 13 - Variabilidade anual e interanual da temperatura máxima média (°C) em Londrina, PR, para o período de 1978 a 2009, considerando-se os anos de El Niño, de La Niña e neutros

Figura 14 - Variabilidade anual e interanual da temperatura máxima média (°C) em Piracicaba, SP, para o período de 1978 a 2009, considerando-se os anos de El Niño, de La Niña e neutros

Tabela 9 – Porcentagem de anos de El Niño, La Niña e neutros em que a temperatura máxima média (TMAX MED) ficou acima (Ac.), abaixo (Ab.) ou próximo da mediana (Med.)

Local	EL NIÑO*			LA NIÑA**			NEUTRO***		
	Ac.	Med.	Ab.	Ac.	Med.	Ab.	Ac.	Med.	Ab.
	(%)								
Jatai, GO	55,6	22,2	22,2	57,1	0,0	42,9	37,5	12,5	50,0
Joao Pessoa, PB	55,6	11,1	33,3	14,3	42,9	42,9	31,3	18,8	50,0
Londrina, PR	44,4	44,4	11,1	28,6	42,9	28,6	37,5	25,0	37,5
Piracicaba, SP	33,3	44,4	22,2	42,9	42,9	14,3	31,3	31,3	37,5

* número de anos com El Niño = 9; ** número de anos com La Niña = 7; *** número de anos neutros = 16

Na Tabela 10 observa-se que os anos de El Niño, em todas as localidades, foram os que apresentaram os maiores valores de TMAX MED. Um fato interessante, apesar da pequena variação, foi a localidade de João Pessoa, PB, que apresentou desvio negativo em anos de La Niña, mostrando que esse tipo de evento para essa região faz com que os valores de TMAX MED diminuam. O mesmo ocorre

em anos neutros, só que dessa vez um pouco mais significativos nas localidades de Jataí, GO, e João Pessoa, PB, e com pequena significância nas localidades de Londrina, PR, e Piracicaba, SP.

Tabela 10 – Médias da temperatura máxima média de cada localidade nos anos de El Niño, de La Niña e neutros, e seus respectivos desvios em relação à média geral

Local	EL NIÑO		LA NIÑA		NEUTRO	
	Media	Desvio	Media	Desvio	Media	Desvio
(°C)						
Jatai, GO	30,70	0,20	30,64	0,15	30,32	-0,18
Joao Pessoa, PB	29,94	0,20	29,73	-0,01	29,63	-0,11
Londrina, PR	27,89	0,05	27,84	0,00	27,81	-0,03
Piracicaba, SP	28,70	0,10	28,67	0,07	28,51	-0,09

4.1.1.2 Temperatura mínima média

Na localidade de Jataí, GO, a variável de temperatura mínima média do ar (TMIN MED) variou entre 6 e 21 °C (Figura 15). Em eventos de El Niño, a tendência da maioria dos anos é de estar acima da mediana e ao redor dela (Tabela 11), conferindo a esses anos a característica de serem menos frios. Em anos de La Niña, a tendência foi de esses estarem abaixo ou ao redor da mediana, ou seja, serem anos mais frios, enquanto nos anos neutros, houve uma tendência clara de esses estarem abaixo da mediana (Tabela 11).

Figura 15 – Variabilidade anual e interanual da temperatura mínima média (°C) em Jataí, GO, para o período de 1978 a 2009, considerando-se os anos de El Niño, de La Niña e neutros

Em João Pessoa, PB, a temperatura mínima média do ar ficou entre cerca de 21 e 26 °C (Figura 16). Nos anos de El Niño, a tendência observada foi da TMIN MED ficar acima da mediana, pois no total de nove anos desse evento quatro

apresentaram padrão, mostrando que nesse tipo de evento as mínimas não têm valores muito baixos (Tabela 11). Já nos eventos de La Niña se observou uma tendência mais clara na série de anos, sendo que a TMIN MED ficou ao redor da mediana na maioria dos anos. Nos anos neutros, houve uma variação menos evidente entre aqueles com TMIN MED acima da mediana e abaixo dela.

Figura 16 - Variabilidade anual e interanual da temperatura mínima média (°C) em João Pessoa, PB, para o período de 1978 a 2009, considerando-se os anos de El Niño, de La Niña e neutros

Em Londrina, PR, a variável de temperatura mínima média do ar variou entre 7 e 22 °C (Figura 17). Em anos de evento El Niño, houve uma maior tendência da TMIN MED permanecer ao redor ou acima da mediana, o mesmo sendo observado para os eventos de La Niña (Tabela 11). Por outro lado, nos anos classificados como neutros, a tendência foi da TMIN MED ficar ao redor ou abaixo da mediana, padrão semelhante ao observado em Jataí, GO.

Figura 17 – Variabilidade anual e interanual da temperatura mínima média (°C) em Londrina, PR, para o período de 1978 a 2009, considerando-se os anos de El Niño, de La Niña e neutros

Por fim, na localidade de Piracicaba, SP, a TMIN MED oscilou de 5 a 20 °C (Figura 18), sendo esta a localidade com os menores valores desta variável. Em anos de El Niño, a TMIN MED apresentou clara tendência de ficar acima da mediana

na maioria dos anos, ou seja, de que ocorram anos mais quentes. Nos eventos de La Niña, pelo contrário, há uma tendência mais evidente de que a TMIN MED seja menor que a mediana (Tabela 11). Já os eventos de neutralidade não apresentaram tendência alguma, havendo uma distribuição muito equilibrada de anos com TMIN MED acima, ao redor e abaixo da mediana.

Figura 18 – Variabilidade anual e interanual da temperatura mínima média (°C) em Piracicaba, SP, para o período de 1978 a 2009, considerando-se os anos de El Niño, de La Niña e neutros

Tabela 11 - Porcentagem de anos de El Niño, La Niña e neutros em que a temperatura mínima média (TMIN MED) ficou acima (Ac.), abaixo (Ab.) ou próximo da mediana (Med.)

Local	EL NIÑO*			LA NIÑA**			NEUTRO***		
	Ac.	Med.	Ab.	Ac.	Med.	Ab.	Ac.	Med.	Ab.
	(%)								
Jataí, GO	44,4	44,4	11,1	14,3	42,9	42,9	25,0	25,0	50,0
João Pessoa, PB	44,4	22,2	33,3	14,3	57,1	28,6	43,8	18,8	37,5
Londrina, PR	33,3	44,4	22,2	57,1	42,9	0,0	25,0	31,3	43,8
Piracicaba, SP	77,8	22,2	0,0	28,6	28,6	42,9	31,3	31,3	37,5

* número de anos com El Niño = 9; ** número de anos com La Niña = 7; *** número de anos neutros = 16

Na Tabela 12 observa-se que os anos de El Niño apresentaram desvios positivos consideráveis ($> +0,2$ °C), exceto para João Pessoa, PB, onde houve um desvio negativo muito baixo. Em eventos neutros observou-se nas localidades de Londrina, PR, e Piracicaba, SP, um desvio negativo considerável, enquanto em Jataí, GO, tal desvio foi pequeno ($< 0,2$ °C). Em João Pessoa, PB, não houve alteração da TMIN MED geral nos anos neutros. Tal fato também foi observado, em termos gerais para todas as localidades em anos de La Niña, com os desvios oscilando entre $-0,06$ e $+0,08$ °C.

Tabela 12 - Médias da temperatura mínima média de cada localidade nos anos de El Niño, de La Niña e neutros, e seus respectivos desvios em relação à média geral

Local	EL NIÑO		LA NIÑA		NEUTRO	
	Media	Desvio	Media	Desvio	Media	Desvio
	(°C)					
Jataí, GO	17,11	0,27	16,78	-0,06	16,72	-0,12
João Pessoa, PB	23,63	-0,02	23,66	0,01	23,65	0,00
Londrina, PR	16,76	0,34	16,49	0,08	16,19	-0,22
Piracicaba, SP	15,94	0,46	15,48	0,00	15,22	-0,26

4.1.1.3 Temperatura média

Em Jataí, GO, a variável de temperatura média do ar (TMED MED) variou de 16 a 28 °C (Figura 19). Em anos de El Niño, a tendência observada foi da TMED MED ficar acima da mediana na maioria dos anos desse evento (Tabela 13). Já em anos de La Niña, a tendência observada foi da TMED MED ficar ao redor ou acima da mediana em cerca de 86% dos eventos, enquanto nos anos neutros houve uma maior frequência de TMED MED abaixo da mediana (Tabela 13).

Figura 19 – Variabilidade anual e interanual da temperatura média (°C) em Jataí, GO, para o período de 1978 a 2009, considerando-se os anos de El Niño, de La Niña e neutros

Na localidade de João Pessoa, PB, a temperatura média do ar ficou entre 24 e 30 °C (Figura 20). Nos eventos de El Niño houve uma maior tendência dos anos apresentarem TMED MED acima da mediana, ao passo que nos eventos de La Niña a maioria dos anos tiveram temperaturas médias ao redor da mediana (Tabela 13). Para os eventos de neutralidade do ENOS, as temperaturas médias se distribuíram de forma bastante equilibrada entre as três classes avaliadas, como pode se observar na Figura 20 e Tabela 13.

Figura 20 – Variabilidade anual e interanual da temperatura média (°C) em João Pessoa, PB, para o período de 1978 a 2009, considerando-se os anos de El Niño, de La Niña e neutros

Em Londrina, PR, a temperatura média do ar ficou entre 14 e 27 °C (Figura 21), e pode-se dizer que em todos os eventos do ENOS (EL Niño, La Niña e anos neutros) não foi possível observar uma tendência clara de oscilação da TMED MED (Tabela 13). Além disso, observa-se nessa localidade que ao longo da série analisada a TMED MED apresentou uma maior variabilidade dentro do mesmo ano, o que é característico das regiões situadas mais ao sul do Brasil, onde há uma maior definição das estações do ano. Mesmo não sendo tão clara como em outras situações, houve em Londrina uma leve indicação de anos mais frios em eventos de El Niño e Neutros, enquanto nos eventos de La Niña a maioria dos anos permaneceu ao redor da mediana (Tabela 13).

Figura 21 – Variabilidade anual e interanual da temperatura média (°C) em Londrina, PR, para o período de 1978 a 2009, considerando-se os anos de El Niño, de La Niña e neutros

Na localidade de Piracicaba, SP, a temperatura média do ar ficou entre 15 e 27 °C (Figura 22), muito semelhante ao observado em Londrina, PR (Figura 21). Nessa região, os eventos de El Niño e La Niña proporcionaram maiores tendências TMED MED acima da mediana, com frequências ligeiramente inferiores a 50% dos anos (Tabela 13). Já nos anos neutros para o ENOS, a TMED MED não apresentou

nenhuma tendência, se distribuindo igualmente entre as três classes, ou seja, com frequências de anos semelhantes para acima, ao redor e abaixo da mediana.

Figura 22 – Variabilidade anual e interanual da temperatura média (°C) em Piracicaba, SP, para o período de 1978 a 2009, considerando-se os anos de El Niño, de La Niña e neutros

Tabela 13 – Porcentagem de anos de El Niño, La Niña e neutros em que a temperatura média (TMED MED) ficou acima (Ac.), abaixo (Ab.) ou próximo da mediana (Med.)

Local	EL NIÑO*			LA NIÑA**			NEUTRO***		
	Ac.	Med.	Ab.	Ac.	Med.	Ab.	Ac.	Med.	Ab.
(%)									
Jatai, GO	55,6	22,2	22,2	42,9	42,9	14,3	31,3	18,8	50,0
Joao Pessoa, PB	55,6	11,1	33,3	14,3	57,1	28,6	31,3	31,3	37,5
Londrina, PR	33,3	22,2	44,4	28,6	42,9	28,6	31,3	25,0	43,8
Piracicaba, SP	44,4	33,3	22,2	42,9	28,6	28,6	31,3	37,5	31,3

* número de anos com El Niño = 9; ** número de anos com La Niña = 7; *** número de anos neutros = 16

Na Tabela 14 observa-se que os anos de El Niño em todas as localidades foram os que tiveram os maiores valores de temperatura média do ar em comparação com os outros eventos do ENOS, sendo que em anos de La Niña os valores de TMED MED foram muito parecidos com a mediana, enquanto nos anos neutros houve, em média, uma menor TMED MED. Oliveira (2001), na região SE do Brasil, também observou aumento moderado nas temperaturas médias em anos de El Niño, o que se deve ao menor avanço de frentes frias e da massa de ar polar para essa região.

Tabela 14 - Médias da temperatura média de cada localidade nos anos de El Niño, de La Niña e neutros, e seus respectivos desvios em relação à média geral

Local	EL NIÑO		LA NIÑA		NEUTRO	
	Media	Desvio	Media	Desvio	Media	Desvio
	(°C)					
Jataí, GO	23,90	0,23	23,71	0,04	23,52	-0,15
Joao Pessoa, PB	26,79	0,09	26,70	0,00	26,64	-0,05
Londrina, PR	22,32	0,19	22,17	0,04	22,00	-0,13
Piracicaba, SP	22,32	0,28	22,07	0,04	21,87	-0,17

4.1.1.4 Temperatura máxima extrema

Na localidade de Jataí, GO, a variável temperatura máxima extrema (TMAX EXT) variou entre 30 e 42 °C (Figura 23). Em anos de El Niño, ao longo dos anos da série de dados, observou-se uma tendência um pouco maior de aumento da TMAX EXT, sendo o ano de 1994 aquele que apresentou o maior valor dessa variável. No entanto, o restante dos anos apresentou-se com a TMAX EXT abaixo da mediana, não havendo anos com valores dessa variável ao redor da mediana. Em anos de La Niña, a tendência foi de valores de TMAX EXT ao redor e acima da mediana, o oposto do observado para os anos neutros que apresentaram TMAX EXT menores, ou seja, abaixo da mediana (Tabela 15).

Figura 23 – Variabilidade anual e interanual da temperatura máxima extrema (°C) em Jataí, GO, para o período de 1978 a 2009, considerando-se os anos de El Niño, de La Niña e neutros

Em João Pessoa, PB, a TMAX EXT esteve entre 28 e 33 °C (Figura 24). Para os anos de El Niño e La Niña, a situação foi muito semelhante ao observado em Jataí, GO, ou seja, em anos de El Niño verificou-se que os anos tendem a ficar com a TMAX EXT acima da mediana ou abaixo da mediana, enquanto nos anos de La Niña a tendência foi de valores ao redor ou acima da mediana. Nos anos neutros,

houve uma maior tendência de valores abaixo da mediana, porém ocorrendo também uma grande frequência de anos com TMAX EXT acima da mediana (Tabela 15).

Figura 24 – Variabilidade anual e interanual da temperatura máxima extrema (°C) em João Pessoa, PB, para o período de 1978 a 2009, considerando-se os anos de El Niño, de La Niña e neutros

Para a localidade de Londrina, PR, a TMAX EXT oscilou entre 25 e 40 °C (Figura 25). Em anos de ocorrência do evento El Niño, a tendência observada foi muito semelhante ao observado para as localidades analisadas nos estados de GO e PB, com a TMAX EXT oscilando entre acima e abaixo da mediana (Tabela 15). Para os anos de La Niña, houve uma maior tendência de valores acima da mediana, enquanto nos anos neutros a tendência de valores de TMAX EXT abaixo da mediana foi muito clara (Tabela 15).

Figura 25 – Variabilidade anual e interanual da temperatura máxima extrema (°C) em Londrina, PR, para o período de 1978 a 2009, considerando-se os anos de El Niño, de La Niña e neutros

Em Piracicaba, SP, a TMAX EXT variou entre 27 e 37 °C (Figura 26). Em anos de El Niño, pode-se observar que a tendência é de uma maior frequência de anos com valores acima da mediana (Tabela 15). Nos anos de La Niña, a maior frequência de anos é na classe ao redor da mediana, ou seja, sem grandes

alterações no regime de TMAX EXT nessa localidade. Já nos anos neutros houve uma distribuição mais equilibrada entre valores de TMAX EXT acima, ao redor e abaixo da mediana, porém, como uma leve tendência de valores abaixo dela (Tabela 15).

Figura 26 – Variabilidade anual e interanual da temperatura máxima extrema (°C) em Piracicaba, SP, para o período de 1978 a 2009, considerando-se os anos de El Niño, de La Niña e neutros

Tabela 15 – Porcentagem de anos de El Niño, La Niña e neutros em que a temperatura máxima extrema (TMAX ABS) ficou acima (Ac.), abaixo (Ab.) ou próximo da mediana (Med.)

Local	EL NIÑO*			LA NIÑA**			NEUTRO***		
	Ac.	Med.	Ab.	Ac.	Med.	Ab.	Ac.	Med.	Ab.
	(%)								
Jatai, GO	55,6	0,0	44,4	42,9	42,9	14,3	18,8	18,8	62,5
Joao Pessoa, PB	44,4	11,1	44,4	42,9	42,9	14,3	43,8	0,0	56,3
Londrina, PR	44,4	11,1	44,4	42,9	28,6	28,6	31,3	6,3	62,5
Piracicaba, SP	55,6	22,2	22,2	14,3	71,4	14,3	25,0	31,3	43,8

* número de anos com El Niño = 9; ** número de anos com La Niña = 7; *** número de anos neutros = 16

Na Tabela 16 verifica-se que em Jataí, GO, os anos de El Niño apresentaram os maiores desvios positivos da TMAX EXT, o mesmo sendo observado para Londrina, PR, e Piracicaba, SP, em anos de La Niña. Nos anos neutros a TMAX EXT teve desvio sempre negativos, sendo que somente em Jataí esse foi mais expressivo.

Tabela 16 - Médias da temperatura máxima extrema de cada localidade nos anos de El Niño, de La Niña e neutros, e seus respectivos desvios em relação à média geral

Local	EL NIÑO		LA NIÑA		NEUTRO	
	Media	Desvio	Media	Desvio	Media	Desvio
	(°C)					
Jataí, GO	34,10	0,22	34,05	0,17	33,68	-0,20
João Pessoa, PB	30,92	0,16	30,77	0,01	30,65	-0,10
Londrina, PR	32,74	0,04	33,00	0,31	32,54	-0,16
Piracicaba, SP	33,36	0,13	33,45	0,22	33,06	-0,17

4.1.1.5 Temperatura mínima extrema

A temperatura mínima extrema (TMIN EXT) é a variável meteorológica empregada para a identificação de eventos de geada (PEREIRA et al., 2002), sendo seu estudo de extrema importância para a agricultura, especialmente para a cultura da cana-de-açúcar. Em Jataí, GO, a TMIN EXT variou de -2 °C a 20 °C (Figura 27). Em anos de El Niño, houve uma maior tendência da TMIN EXT ficar acima da mediana (Tabela 17). Nos anos de La Niña a tendência foi dos valores de TMIN EXT ficarem ao redor da mediana na maioria dos anos, porém, sendo durante esse tipo de evento que ocorreram as menores temperaturas mínimas extremas da série de dados, caracterizando as geadas de 1984, 1988 e 2000 (Figura 27). Os anos neutros apresentaram uma tendência de serem mais frios, por ficarem na grande maioria dos anos abaixo da mediana. No entanto, nesses anos os eventos de geada não foram tão frequentes como nos anos de La Niña.

Figura 27 – Variabilidade anual e interanual da temperatura mínima extrema (°C) em Jataí, GO, para o período de 1978 a 2009, considerando-se os anos de El Niño, de La Niña e neutros

Na localidade de João Pessoa, PB, verificou-se que a TMIN EXT variou entre 17 e 26 °C (Figura 28). Em anos quando ocorreu o evento do El Niño observou-se uma variação grande para esta variável, com os valores ora ficando acima e ora abaixo da mediana (Tabela 17). Em anos de manifestação do evento La Niña houve uma maior tendência de valores de TMIN EXT menores do que a mediana, enquanto nos anos de neutralidade do ENOS a TMIN EXT voltou a tender para valores acima da mediana (Tabela 17). Apesar dessas constatações, a TMIN EXT nessa região acaba não tendo muita importância agrônômica, já que essa variável nunca atinge níveis críticos para a cultura, devido à sua posição geográfica, ou seja, baixa latitude.

Figura 28 – Variabilidade anual e interanual da temperatura mínima extrema (°C) em João Pessoa, PB, para o período de 1978 a 2009, considerando-se os anos de El Niño, de La Niña e neutros

Em Londrina, PR, a variação da TMIN EXT durante as três fases do ENOS foi bastante diferentes das demais localidades. Nessa região, a TMIN EXT variou -3 e 22 °C (Figura 29). Em anos de El Niño, a tendência observada foi de valores de TMIN EXT abaixo da mediana, ao passo que nos eventos de La Niña e anos neutros a tendência foi de valores ao redor da mediana, tendendo a acima dela nos anos de La Niña (Tabela 17). Apesar disso, os eventos de geada não mostraram ter uma relação clara com as diferentes fases do ENOS, havendo ocorrências de TMIN EXT menores que 2 °C tanto em anos de El Niño (1987 e 1994), como de La Niña (1984 e 2000) e anos neutros (1978 e 1990) (Figura 29).

Figura 29 - Variabilidade anual e interanual da temperatura mínima extrema (°C) em Londrina, PR, para o período de 1978 a 2009, considerando-se os anos de El Niño, de La Niña e neutros

Em Piracicaba, SP, a TMIN EXT variou de -3 °C a aproximadamente 18 °C (Figura 30). De forma similar ao observado em Jataí, GO, em anos de El Niño, observou-se em Piracicaba, SP, uma tendência de valores de TMIN EXT acima da mediana, enquanto durante os eventos de La Niña a tendência foi de valores ao redor da mediana (Tabela 17). Nos anos neutros a TMIN EXT tendeu a ficar abaixo da mediana. Dos eventos de geada ocorridos nesta região, a maioria deles ocorreram em anos neutros ou de El Niño, como observado em 1978, 1979, 1981, 1987 e 1994 (Figura 30).

Figura 30 – Variabilidade anual e interanual da temperatura mínima extrema (°C) em Piracicaba, SP, para o período de 1978 a 2009, considerando-se os anos de El Niño, de La Niña e neutros

Na Tabela 18 observa-se que em termos médios, a TMIN EXT em anos de El Niño sofreu desvios positivos especialmente em Jataí, GO, e Piracicaba, SP. Já em anos de La Niña isso é mais evidente em Londrina, PR, enquanto nos anos neutros os desvios negativos ocorrem especialmente no centro-sul do país. Em João Pessoa, PB, os desvios da TMIN EXT nos diferentes eventos ENOS são pequenos, não caracterizando alterações substanciais dessa variável.

Tabela 17 - Porcentagem de anos de El Niño, La Niña e neutros em que a temperatura mínima extrema (TMIN EXT) ficou acima (Ac.), abaixo (Ab.) ou próximo da mediana (Med.)

Local	EL NIÑO*			LA NIÑA**			NEUTRO***		
	Ac.	Med.	Ab.	Ac.	Med.	Ab.	Ac.	Med.	Ab.
	(%)								
Jatai, GO	55,6	22,2	22,2	28,6	57,1	14,3	31,3	25,0	43,8
Joao Pessoa, PB	44,4	11,1	44,4	28,6	28,6	42,9	43,8	31,3	25,0
Londrina, PR	22,2	33,3	44,4	57,1	42,9	0,0	31,3	31,3	37,5
Piracicaba, SP	44,4	33,3	22,2	28,6	57,1	14,3	31,3	12,5	56,3

* número de anos com El Niño = 9; ** número de anos com La Niña = 7; *** número de anos neutros = 16

Tabela 18 - Médias da temperatura mínima extrema de cada localidade nos anos de El Niño, de La Niña e neutros, e seus respectivos desvios em relação à média geral

Local	EL NIÑO		LA NIÑA		NEUTRO	
	Media	Desvio	Media	Desvio	Media	Desvio
	(°C)					
Jatai, GO	13,06	0,53	12,56	0,03	12,23	-0,31
Joao Pessoa, PB	21,25	-0,13	21,48	0,09	21,42	0,04
Londrina, PR	11,72	0,24	11,69	0,21	11,25	-0,23
Piracicaba, SP	11,33	0,42	11,10	0,19	10,59	-0,32

4.1.1.6 Análise geral dos efeitos do ENOS na temperatura do ar

Os resultados obtidos a respeito do efeito do ENOS na temperatura do ar das localidades analisadas corroboram o que vem sendo apresentado por outros estudos, que demonstram a grande variabilidade dos efeitos do ENOS nas condições térmicas de diferentes regiões do Brasil e do mundo e suas consequências para outros processos como evaporação/evapotranspiração (Streck et al., 2008) e acúmulo de graus-dia (Garcia et al., 2004). Resultados de Marin et al. (2000), em Piracicaba, SP, indicam que os efeitos do ENOS variam com sua intensidade, fazendo com que nas zonas de transição, como no estado de São Paulo, não haja padrões bem definidos da variação dos elementos climáticos em anos de EL Niño, La Niña e neutros. Conclusão semelhante foi relatada por Pezza e Ambrizzi (2002), que observaram que a variabilidade climática na cidade de São Paulo não está apenas associada às anomalias da temperatura do mar no oceano Pacífico, mas também àquelas que ocorrem no oceano Atlântico. Apesar disso, esses autores verificaram que em São Paulo os invernos mais frios estão mais associados à ocorrência de La Niña, o que, no entanto, não se refletiu na ocorrência

de geadas. Com isso, se confirma que os sinais mais significativos de variabilidade da temperatura ocorrem no extremo sul e norte do Brasil, com bem constatado, respectivamente, por Berlato e Fontana (1993) e por Santos et al. (2011), e também neste estudo.

4.1.2 Radiação solar

4.1.2.1 Radiação solar média

A radiação solar média (SRAD MED) na localidade de Jataí, GO, variou de 14 a 22 MJ m⁻² dia⁻¹ (Figura 31). Em anos em que houve a manifestação do El Niño verificou-se que a maior porcentagem dos anos teve valores de SRAD MED abaixo da mediana (Tabela 19). Nos anos de La Niña, a tendência foi de maior números de anos com a radiação solar média acima da mediana, enquanto nos anos neutros houve uma distribuição equilibrada entre condições acima e abaixo da mediana.

Figura 31 – Variabilidade anual e interanual da radiação solar média (MJ m⁻² dia⁻¹) em Jataí, GO, para o período de 1978 a 2009, considerando-se os anos de El Niño, de La Niña e neutros

Na localidade de João Pessoa, PB, a SRAD MED variou entre 11 e 23 MJ m⁻² dia⁻¹ (Figura 32). Em todos os eventos dos ENOS houve uma predominância de uma maior frequência de anos com a SRAD MED acima da mediana, com exceção apenas para os eventos de La Niña em que houve um equilíbrio entre os anos acima e ao redor da mediana (Tabela 19).

Figura 32 – Variabilidade anual e interanual da radiação solar média ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$) em João Pessoa, PB, para o período de 1978 a 2009, considerando-se os anos de El Niño, de La Niña e neutros

Em Londrina, PR, os valores de radiação solar média ficaram entre 10 e 25 $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ (Figura 33). Em anos de El Niño observou-se que a tendência foi dos valores dessa variável ficarem ao redor da mediana, o mesmo sendo observado nos anos neutros, porém, não na mesma intensidade (Tabela 19). Já nos anos de La Niña, a tendência mais frequente foi de valores de SRAD MED acima da mediana.

Figura 33 – Variabilidade anual e interanual da radiação solar média ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$) em Londrina, PR, para o período de 1978 a 2009, considerando-se os anos de El Niño, de La Niña e neutros

A radiação solar média em Piracicaba, SP, teve valores oscilando entre 12 a 26 $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$. Tanto em anos de El Niño como neutros a tendência foi de valores de SRAD MED abaixo da mediana, ao passo que nos anos de La Niña verificou-se a tendência de valores, em sua grande maioria, acima da mediana (Tabela 19).

Figura 34 – Variabilidade anual e interanual da radiação solar média ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$) em Piracicaba, SP, para o período de 1978 a 2009, considerando-se os anos de El Niño, de La Niña e neutros

Tabela 19 – Porcentagem de anos de El Niño, La Niña e neutros em que a Radiação solar média (SRAD MED) ficou acima (Ac.), abaixo (Ab.) ou próximo da mediana (Med.)

Local	EL NIÑO*			LA NIÑA**			NEUTRO***		
	Ac.	Med.	Ab.	Ac.	Med.	Ab.	Ac.	Med.	Ab.
	(%)								
Jatai, GO	33,3	11,1	55,6	42,9	28,6	28,6	43,8	12,5	43,8
Joao Pessoa, PB	66,7	0,0	33,3	42,9	42,9	14,3	56,3	12,5	31,3
Londrina, PR	0,0	77,8	22,2	42,9	28,6	28,6	25,0	43,8	31,3
Piracicaba, SP	11,1	33,3	55,6	85,7	14,3	0,0	37,5	18,8	43,8

* número de anos com El Niño = 9; ** número de anos com La Niña = 7; *** número de anos neutros = 16

Em termos dos desvios da SRAD MED (Tabela 20), nota-se que três das quatro localidades analisadas, em anos de ocorrência do evento El Niño, apresentaram desvios negativos, sendo esses mais expressivos em Londrina, PR. Para os anos de La Niña, os desvios foram positivos, exceto para Londrina, PR, onde a SRAD MED voltou a ter desvio negativo. Finalmente, para os anos neutros os desvios mais expressivos ocorreram em João Pessoa e em Londrina, sendo negativo na primeira e positivo na segunda localidade.

Tabela 20 - Médias da radiação solar média de cada localidade nos anos de El Niño, de La Niña e neutros, e seus respectivos desvios em relação à média geral

Local	EL NIÑO		LA NIÑA		NEUTRO	
	Media	Desvio	Media	Desvio	Media	Desvio
	$(\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1})$					
Jatai, GO	18,56	-0,22	19,00	0,22	18,81	0,03
Joao Pessoa, PB	17,67	0,14	17,92	0,39	17,28	-0,25
Londrina, PR	17,83	-0,30	17,94	-0,20	18,39	0,25
Piracicaba, SP	17,87	-0,19	18,36	0,30	18,05	-0,02

4.1.2.2 Radiação solar máxima extrema

A radiação solar máxima extrema da localidade de Jataí, GO, variou no intervalo de 16 a 32 MJ m⁻² dia⁻¹ (Figura 35). Em anos de El Niño verificou-se a tendência de estarem acima da mediana, mesmo com toda a grande variação observada ao longo dos anos da série de dados. Igualmente em anos de La Niña, a tendência foi dos valores de SRAD MAX EXT estarem acima da mediana, enquanto nos anos neutros verificou-se que a tendência foi de valores acima e abaixo da mediana (Tabela 21).

Figura 35 – Variabilidade anual e interanual da radiação solar máxima extrema (MJ m⁻² dia⁻¹) em Jataí, GO, para o período de 1978 a 2009, considerando-se os anos de El Niño, de La Niña e neutros

Em João Pessoa, PB, a SRAD MAX EXT variou de 12 a 25 MJ m⁻² dia⁻¹ (Figura 36). Observou-se que em todos os eventos de ENOS a tendência foi de que houvesse uma maior frequência de anos com SRAD MAX EXT acima da mediana, especialmente em anos de La Niña (Tabela 21), o que provavelmente se deve à redução das chuvas.

Figura 36 – Variabilidade anual e interanual da radiação solar máxima extrema (MJ m⁻² dia⁻¹) em João Pessoa, PB, para o período de 1978 a 2009, considerando-se os anos de El Niño, de La Niña e neutros

Na localidade de Londrina, PR, a SRAD MAX EXT variou entre 12 e 32 MJ m⁻² dia⁻¹ (Figura 37). Em anos de El Niño e neutros, a tendência dessa variável foi de uma maior frequência de anos com valores acima da mediana, ao passo que nos anos de La Niña essa tendência foi de valores abaixo da mediana (Tabela 21), mostrando que nessa fase do ENOS deve haver uma maior nebulosidade nessa região.

Figura 37 - Variabilidade anual e interanual da radiação solar máxima extrema (MJ m⁻² dia⁻¹) em Londrina, PR, para o período de 1978 a 2009, considerando-se os anos de El Niño, de La Niña e neutros

Em Piracicaba, SP, a radiação solar máxima extrema variou de forma similar ao que foi observado em Londrina, ou seja, com valores entre 15 e 32 MJ m⁻² dia⁻¹ (Figura 38). Em anos de El Niño não foi observada nenhuma tendência evidente, havendo uma distribuição bastante similar entre as três classes consideradas de SRAD MAX EXT (Tabela 21). Já para os anos com manifestação do evento de La Niña e neutros as tendências observadas foram, respectivamente, de valores abaixo e ao redor da mediana.

Figura 38 - Variabilidade anual e interanual da radiação solar máxima extrema (MJ m⁻² dia⁻¹) em Piracicaba, SP, para o período de 1978 a 2009, considerando-se os anos de El Niño, de La Niña e neutros

Tabela 21 - Porcentagem de anos de El Niño, La Niña e neutros em que a Radiação solar máxima extrema (SRAD MAX EXT) ficou acima (Ac.), abaixo (Ab.) ou próximo da mediana (Med.)

Local	EL NIÑO*			LA NIÑA**			NEUTRO***		
	Ac.	Med.	Ab.	Ac.	Med.	Ab.	Ac.	Med.	Ab.
(%)									
Jataí, GO	44,4	33,3	22,2	42,9	28,6	28,6	43,8	6,3	50,0
Joao Pessoa, PB	66,7	0,0	33,3	85,7	0,0	14,3	56,3	18,8	25,0
Londrina, PR	55,6	11,1	33,3	14,3	28,6	57,1	56,3	12,5	31,3
Piracicaba, SP	33,3	33,3	33,3	28,6	28,6	42,9	25,0	43,8	31,3

* número de anos com El Niño = 9; ** número de anos com La Niña = 7; *** número de anos neutros = 16

Na Tabela 22 são apresentados os desvios da SRAD MAX EXT para as quatro localidades analisadas, para as quais se observa que os desvios mais significativos ocorreram, especialmente, em anos de La Niña, sendo os desvios positivos em Jataí, GO, João Pessoa, PB, e Piracicaba, SP, e negativo em Londrina, PR. Para os demais eventos de ENOS, os desvios apenas foram mais expressivos em Londrina, PR, sendo eles positivos tanto para os anos de El Niño como nos anos neutros.

Tabela 22 - Médias da radiação solar máxima extrema de cada localidade nos anos de El Niño, de La Niña e neutros, e seus respectivos desvios em relação à média geral

Local	EL NIÑO		LA NIÑA		NEUTRO	
	Media	Desvio	Media	Desvio	Media	Desvio
(MJ m ⁻² dia ⁻¹)						
Jataí, GO	25,25	-0,03	25,63	0,35	25,14	-0,14
Joao Pessoa, PB	21,02	-0,04	21,53	0,48	20,87	-0,19
Londrina, PR	23,73	0,23	22,70	-0,80	23,73	0,22
Piracicaba, SP	24,36	-0,09	24,69	0,25	24,38	-0,06

4.1.2.3 Radiação solar mínima extrema

Em Jataí, GO, a radiação solar mínima extrema variou entre 6 e 18 MJ m⁻² dia⁻¹ (Figura 39). Em anos de El Niño, a tendência observada foi dos valores de SRAD MIN EXT estarem abaixo da mediana, assim como nos anos neutros (Tabela 23). Em anos de La Niña, ao contrário, a tendência mais evidente foi dos valores de SRAD MIN EXT ficarem acima da mediana.

Figura 39 – Variabilidade anual e interanual da radiação solar mínima extrema ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$) em Jataí, GO, para o período de 1978 a 2009, considerando-se os anos de El Niño, de La Niña e neutros

Na localidade de João Pessoa, PB, a radiação solar mínima extrema variou no intervalo de 8 e $20 \text{ MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ (Figura 40). Em anos de ocorrência do evento El Niño e neutros a tendência da SRAD MIN EXT foi de ficar abaixo da mediana, semelhante ao observado em Jataí, GO. Por outro lado, nos anos de La Niña, a maior frequência de anos foi de valores de SRAD MIN EXT ao redor da mediana. (Tabela 23).

Figura 40 – Variabilidade anual e interanual da radiação solar mínima extrema ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$) em João Pessoa, PB, para o período de 1978 a 2009, considerando-se os anos de El Niño, de La Niña e neutros

A radiação solar mínima extrema em Londrina, PR, variou entre 5 e $19 \text{ MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ (Figura 41). Em relação aos impactos dos eventos ENOS na SRAD MIN EXT de Londrina, os resultados são muito semelhantes ao que foi observado em Jataí, com tendência de uma maior frequência de valores abaixo da mediana nos anos de El Niño e neutros e acima da mediana nos anos de La Niña (Tabela 23).

Figura 41 – Variabilidade anual e interanual da radiação solar mínima extrema ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$) em Londrina, PR, para o período de 1978 a 2009, considerando-se os anos de El Niño, de La Niña e neutros

Em Piracicaba, SP, assim como nas demais localidades, a SRAD MIN EXT variou bastante, entre 6 e 17 $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ (Figura 42), sendo que na maioria dos anos em qualquer das fases do ENOS predominou esses valores permaneceram em torno da mediana (Tabela 23), não havendo assim nenhuma tendência clara de aumento ou diminuição dessa variável com esse fenômeno.

Figura 42 – Variabilidade anual e interanual da radiação solar mínima extrema ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$) em Piracicaba, SP, para o período de 1978 a 2009, considerando-se os anos de El Niño, de La Niña e neutros

Tabela 23 - Porcentagem de anos de El Niño, La Niña e neutros em que a Radiação solar mínima extrema (SRAD MAX ABS) ficou acima (Ac.), abaixo (Ab.) ou próximo da mediana (Med.)

Local	EL NIÑO*			LA NIÑA**			NEUTRO***		
	Ac.	Med.	Ab.	Ac.	Med.	Ab.	Ac.	Med.	Ab.
	(%)								
Jatai, GO	11,1	22,2	66,7	57,1	14,3	28,6	12,5	37,5	50,0
Joao Pessoa, PB	33,3	22,2	44,4	28,6	71,4	0,0	25,0	18,8	56,3
Londrina, PR	22,2	22,2	55,6	57,1	14,3	28,6	31,3	18,8	50,0
Piracicaba, SP	0,0	66,7	33,3	14,3	57,1	28,6	31,3	43,8	25,0

* número de anos com El Niño = 9; ** número de anos com La Niña = 7; *** número de anos neutros = 16

Na Tabela 24 observa-se que os desvios da SRAD MIN EXT foram expressivos nos anos de El Niño, sendo esses negativos em Jataí, GO, Londrina, PR, e Piracicaba, SP, e positivo em João Pessoa, PB. Em Londrina, PR, houve desvio expressivo na SRAD MIN EXT também nos anos de La Niña, sendo este positivo.

Tabela 24 - Médias da radiação solar mínima extrema de cada localidade nos anos de El Niño, de La Niña e neutros, e seus respectivos desvios em relação à média geral

Local	EL NIÑO		LA NIÑA		NEUTRO	
	Media	Desvio	Media	Desvio	Media	Desvio
	(MJ m ⁻² dia ⁻¹)					
Jatai, GO	10,34	-0,24	10,62	0,03	10,70	0,12
Joao Pessoa, PB	11,60	0,21	11,43	0,05	11,24	-0,14
Londrina, PR	9,87	-0,41	10,76	0,47	10,31	0,02
Piracicaba, SP	8,98	-0,21	9,13	-0,06	9,33	0,14

4.1.2.4 Análise geral dos efeitos do ENOS na radiação solar

Os resultados obtidos para as localidades situadas no centro-sul do Brasil (Jataí, Londrina e Piracicaba) concordam com os apresentados por Mota (2000) que, ao avaliar a influência das diferentes fases do ENOS na produtividade do arroz irrigado, verificou que em anos de La Niña a produtividade é sempre maior do que a média, o que se deu pela maior incidência de radiação solar durante o ciclo da cultura. Por outro lado, esse autor observou que em anos de El Niño não houve uma tendência clara de variação da radiação solar e da produtividade do arroz irrigado. Situação semelhante foi identificada por Streck et al. (2008), também no Rio Grande do Sul, que observaram que em anos de La Niña a evaporação do tanque classe A (ECA) é sempre maior em anos de La Niña, em decorrência dos valores mais elevados de radiação solar durante esses eventos. Por outro lado, na região Nordeste do Brasil, onde se encontra João Pessoa, PB, a radiação solar tende a ser maior nos anos de El Niño, o que também foi observado por Silva et al. (2010). No entanto, segundo esses autores, tal tendência não se deve apenas à fase positiva do ENOS, mas também à Oscilação Decal do Pacífico (ODP).

4.1.3 Precipitação pluvial

4.1.3.1 Precipitação total mensal

A precipitação total mensal média na localidade de Jataí, GO, tem grande variação ao longo dos anos, com os valores oscilando de zero a mais de 500 mm (Figura 43). Em anos de El Niño existe uma ligeira tendência de estarem acima da mediana. Em anos de La Niña verifica-se que ocorrem frequências similares de anos acima e abaixo da mediana geral, sem haver um ano sequer ao redor desta. Já para os anos neutros observou-se a tendência da chuva ficar abaixo da mediana (Tabela 25).

Figura 43 – Variabilidade anual e interanual da precipitação pluvial mensal (mm) em Jataí, GO, para o período de 1978 a 2009, considerando-se os anos de El Niño, de La Niña e neutros

Na localidade de João Pessoa, PB, a precipitação total mensal também oscilou consideravelmente ao longo de cada ano, com valores de zero a cerca de 700 mm (Figura 44). Nessa localidade, há uma tendência mais frequente de anos com chuva abaixo da mediana nos anos de El Niño e La Niña, enquanto nos anos neutros, não houve nenhuma tendência, com as frequências em cada evento do ENOS sendo praticamente a mesma (Tabela 25).

Em Londrina, PR, a precipitação total mensal oscilou menos do que nas outras localidades, com oscilação entre zero e aproximadamente 500 mm (Figura 45). Nessa localidade, é evidente a tendência de chuvas maiores durante os eventos de El Niño, ao passo que nos eventos de La Niña e neutros a tendência é de chuvas abaixo da mediana, evidenciando uma situação similar à observada em Jataí, GO (Tabela 25).

Figura 44 – Variabilidade anual e interanual da precipitação pluvial mensal (mm) em João Pessoa, PB, para o período de 1978 a 2009, considerando-se os anos de El Niño, de La Niña e neutros

Figura 45 – Variabilidade anual e interanual da precipitação pluvial mensal (mm) em Londrina, PR, para o período de 1978 a 2009, considerando-se os anos de El Niño, de La Niña e neutros

Em Piracicaba, SP, a precipitação total mensal tem variabilidade similar à de Londrina, PR, entre zero e 400 mm (Figura 46), o que era de se esperar dada a grande similaridade dos climas dessas duas regiões (ALVAREZ et al., 2013). Quanto ao efeito dos eventos de ENOS na localidade de Piracicaba, SP, os padrões se assemelham ao que se observou em Jataí, GO, e Londrina, PR, com chuvas acima da mediana em anos de El Niño, abaixo da mediana em anos neutros e de chuva entre acima e ao redor da mediana em anos de La Niña (Tabela 25).

Figura 46 – Variabilidade anual e interanual da precipitação pluvial mensal (mm) em Piracicaba, SP, para o período de 1978 a 2009, considerando-se os anos de El Niño, de La Niña e neutros

Tabela 25 - Porcentagem de anos de El Niño, La Niña e neutros em que a precipitação pluvial mensal (Prec Total) ficou acima (Ac.), abaixo (Ab.) ou próximo da mediana (Med.)

Local	EL NIÑO*			LA NIÑA**			NEUTRO***		
	Ac.	Med.	Ab.	Ac.	Med.	Ab.	Ac.	Med.	Ab.
	(%)								
Jatai, GO	44,4	22,2	33,3	57,1	0,0	42,9	25,0	25,0	50,0
Joao Pessoa, PB	22,2	22,2	55,6	28,6	28,6	42,9	37,5	31,3	31,3
Londrina, PR	22,2	33,3	44,4	28,6	28,6	42,9	37,5	12,5	50,0
Piracicaba, SP	44,4	22,2	33,3	42,9	42,9	14,3	37,5	6,3	56,3

* número de anos com El Niño = 9; ** número de anos com La Niña = 7; *** número de anos neutros = 16

Na Tabela 26 verifica-se que em anos de El Niño três localidades tiveram um desvio considerável, são elas: João Pessoa, PB, Londrina, PR, e Piracicaba, SP. Em João Pessoa, PB, foi onde se observou o maior desvio em anos de El Niño, sendo o desvio negativo, assim como observado por Oliveira (2001), que cita em seu estudo que os períodos de seca são mais frequentes na região Nordeste em anos de El Niño. Já Alves e Repelli (1992) e Kane (2000) não chegaram a observar um padrão definido da consequência dos eventos de ENOS na chuva do setor norte da região Nordeste, o que provavelmente se deveu ao pequeno número de eventos avaliados. Apesar da falta de um sinal claro do impacto das diferentes fases do ENOS nas chuvas da região Nordeste, alguns estudos evidenciam o efeito desses eventos no início, fim e duração da estação chuvosa, como no estudo de Carvalho et al. (2013) que identificou um prolongamento da estação em anos de La Niña e uma redução nos anos de El Niño, na região de Rio Largo, AL.

Para as localidades de Londrina, PR, e Piracicaba, SP, houve um aumento nos volumes de chuva (desvio positivo), porém em diferentes intensidades. Em Londrina, PR, o aumento foi menor do que em Piracicaba, SP, o que dependeu, provavelmente, da intensidade do ENOS (MARIN et al., 2000). Segundo Oliveira (2001), a região Sul apresenta normalmente chuvas mais abundantes em anos de El Niño devido ao fato dos sistemas frontais ficarem semi-estacionários nessa região, provocando chuvas contínuas, que superam as médias, o que também é evidenciado por Paula et al. (2010), que identificaram os anos de EL Niño como os de maior risco para ocorrência de erosão em Santa Maria, RS. Para a região Sudeste, Oliveira (2001) não observou um aumento evidente das chuvas, a não ser no extremo sul do estado de São Paulo, o que concorda com os resultados de Pezza e Ambrizzi (2002) para a cidade de São Paulo.

Em anos de La Niña (Tabela 26), a única localidade que sofreu um desvio substancial das chuvas foi João Pessoa, PB, com um aumento na chuva anual da ordem de 190 mm. Isso se deveu especialmente aos eventos de La Niña de 1984 e 1988, em que as chuvas superam em muito a mediana da região (Figura 44), apesar de a maioria desses eventos terem resultado em chuva abaixo da mediana (Tabela 25). Isso confirma o que vem sendo relatado por outros trabalhos, que justificam tal fato pela chegada mais frequente de frente-frias na região Nordeste em anos de La Niña, resultando em chuvas, na maioria das vezes, acima da média (ARAGÃO, 1998; BEZERRA e CAVALCANTI, 2008; NÓBREGA, 2000).

Em anos neutros, a localidade de Piracicaba, SP, foi a única a apresentar desvios negativos substanciais, de cerca de 100 mm (Tabela 26), o que difere do relatado por Marin et al. (2000), que observaram desvios positivos para Piracicaba. Tal diferença está associada ao fato do presente estudo incluir mais eventos de La Niña. Nas demais regiões as chuvas médias anuais também apresentaram desvios negativos, porém não passando de 35 mm.

Finalmente, vale destacar que a localidade de Jataí, GO, foi a única a não apresentar desvios substanciais em nenhum dos eventos de ENOS, o que se justifica pelo fato desta estar situada numa zona de transição, onde as chuvas não respondem de forma sistemática às diferentes fases do ENOS. Isso também foi observado por Marcuzzo e Romero (2013), que não observaram correlações entre os eventos do ENOS e as chuvas máximas no estado de GO.

Tabela 26 - Médias da precipitação pluvial total de cada localidade nos anos de El Niño, de La Niña e neutros, e seus respectivos desvios em relação à média geral

Local	EL NIÑO		LA NIÑA		NEUTRO	
	Media	Desvio	Media	Desvio	Media	Desvio
	(mm ano ⁻¹)					
Jatai, GO	1714,67	58,25	1656,50	0,09	1623,61	-32,81
Joao Pessoa, PB	1734,58	-140,19	2065,01	190,25	1870,39	-4,38
Londrina, PR	1737,00	89,55	1605,09	-42,36	1615,61	-31,84
Piracicaba, SP	1476,33	134,30	1393,43	51,40	1244,00	-98,03

4.2 Efeitos do ENOS na produtividade da cultura da cana-de-açúcar

A produtividade da cultura da cana-de-açúcar depende de uma série de fatores, entre os quais a interação entre o ambiente de produção (solo e clima) e o genótipo (cultivar) é um dos mais importantes, assim o manejo da cultura (MONTEIRO e SENTELHAS, 2013; CARDOZO e SENTELHAS, 2013). Sendo assim, a partir do momento em que se definem as condições do solo, a cultivar e o manejo, a produtividade do canavial passa a ser basicamente controlada pelas condições climáticas de cada safra, o que resulta na variabilidade interanual da produtividade, a qual pode ser observada para as quatro localidade analisadas nas Tabelas 27 a 30, para os diferentes tipos de solos e formas de simulação.

Na Tabela 27 observa-se a variabilidade interanual da produtividade da cana-de-açúcar durante os 32 anos em Jataí, GO. O solo com textura média foi o que apresentou o maior valor de produtividade da cultura da cana-de-açúcar, além de alcançar o valor máximo de produtividade de toda a série. Observa-se também que não existem grandes variações nos valores de produtividade entres os dois tipos de simulações (*Seasonal* e *Sequence*), apesar de que na forma *Seasonal* o balanço hídrico é iniciado sempre com o solo em capacidade de campo, enquanto na forma *Sequence* o balanço hídrico é contínuo com a disponibilidade de água no solo sendo consequência dos eventos sucessivos de chuva nos meses antecedentes ao plantio. Ainda, é possível se constatar que não existem grandes diferenças nos valores de produtividade entre os eventos do ENOS analisados, não havendo uma tendência clara já que ora observam-se valores mais altos em anos de El Niño, ora em anos de La Niña e ora em anos neutros. Por exemplo, na safra de 95-96, quando houve a

manifestação do evento de La Niña, verifica-se que no solo de textura média, para os dois tipos de simulação, a produtividade da cana chegou a 141 t ha^{-1} , o que também ocorreu na safra de 97-98, sendo esta marcada pela ocorrência de um evento de El Niño. Ou seja, há uma grande variação nos valores de produtividade da cana-de-açúcar em todos os eventos do ENOS, não sendo possível afirmar qualquer tendência imposta por esses eventos.

Na Tabela 28, para a localidade de João Pessoa, PB, observam-se valores menores de produtividade da cultura de cana-de-açúcar em relação à Jataí, GO, o que se deve, basicamente, às condições climáticas mais restritivas à cultura. Constata-se que em João Pessoa, PB, houve grande variação ao longo de toda a série de dados analisada, verificando-se que o solo de textura argilosa foi o que alcançou uma maior produtividade média, com mais de 20 t ha^{-1} a mais. Pode-se relatar que não se encontraram grandes variações nos valores de produtividade quanto aos efeitos associados aos eventos do ENOS e com relação aos dois tipos de simulação (*Seasonal* e *Sequence*). Em anos de El Niño verifica-se uma tímida tendência de valores de produtividades mais altos, fato curioso já que para a Região Nordeste, em anos de El Niño, há uma tendência de menos chuva, o que em teoria desfavoreceria o desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar, principalmente em seus períodos de maior desenvolvimento. Apenas nas safras de 97-98 e de 04-05 é que se observou uma redução nos valores de produtividade. Em anos de La Niña, onde é observado a chegada mais frequente de frente-frias, principalmente no litoral da Bahia, Sergipe e Alagoas e também na região semi-árida, resultando em aumento na precipitação pluvial, não foi observado um incremento nos valores de produtividade. Eles sofrem grandes variações ao longo de toda a série, não sendo possível determinar qualquer efeito desse evento na produtividade da cultura da cana-de-açúcar.

Tabela 27 – Produtividade da cultura da cana-de-açúcar (cana planta), plantio de maio, sob condições de sequeiro em Jataí, GO, para os anos safra de 1979/80 a 2009/10, considerando-se as fases do ENOS, diferentes tipos de solo (textura arenosa = TXT ARE; textura média = TXT MED; textura argilosa = TXT ARG) e dois tipos de simulações no sistema DSSAT (*Seasonal* = SEA; *Sequence* = SEQ)

Safra	Fases do ENOS	SEA	SEQ	SEA	SEQ	SEA	SEQ
		TXT ARE	TXT ARE	TXT MED	TXT MED	TXT ARG	TXT ARG
Produtividade (t ha ⁻¹)							
79 - 80	NEUTRO	131,64	125,37	138,13	137,63	131,82	131,65
80 - 81	NEUTRO	114,82	117,58	122,43	126,77	131,11	126,42
81 - 82	NEUTRO	123,19	124,09	124,11	128,10	126,47	120,35
82 - 83	EL NINO	135,74	135,58	132,50	132,63	134,99	134,88
83 - 84	NEUTRO	136,64	136,16	135,67	135,61	130,75	130,65
84 - 85	LA NINA	127,60	125,20	133,13	135,34	130,29	128,89
85 - 86	NEUTRO	98,90	97,31	109,07	110,29	112,68	107,88
86 – 87	EL NINO	120,70	120,77	122,20	122,58	131,34	121,07
87 – 88	EL NINO	131,23	131,23	132,93	132,93	127,54	127,51
88 - 89	LA NINA	107,98	108,70	119,91	119,12	116,03	114,31
89 - 90	NEUTRO	113,14	113,99	124,32	127,41	132,04	127,65
90 - 91	NEUTRO	128,23	128,23	135,31	137,88	134,98	136,60
91 - 92	EL NINO	119,27	111,10	126,10	127,32	124,38	119,48
92 - 93	NEUTRO	134,75	134,76	139,66	139,65	134,91	134,93
93 - 94	NEUTRO	129,01	129,06	132,51	132,29	132,80	131,62
94 - 95	EL NINO	121,22	122,99	125,18	124,35	124,18	121,10
95 - 96	LA NINA	136,97	136,97	141,16	141,16	134,62	137,61
96 - 97	NEUTRO	131,09	131,63	128,39	130,95	129,66	127,78
97 - 98	EL NINO	140,38	140,43	140,34	140,42	131,76	131,87
98 - 99	LA NINA	126,80	126,79	134,21	138,26	133,83	130,37
99 - 00	LA NINA	114,21	114,98	134,17	131,84	127,75	120,66
00 - 01	LA NINA	116,49	118,81	132,46	136,81	131,34	131,15
01 -- 02	NEUTRO	128,94	128,94	130,79	130,79	132,30	135,76
02 -- 03	EL NINO	113,42	113,91	114,82	118,30	121,13	115,32
03 -- 04	NEUTRO	127,76	130,06	134,87	137,88	128,35	126,76
04 -- 05	EL NINO	118,18	117,58	132,58	135,69	132,80	135,38
05 -- 06	NEUTRO	117,59	117,66	123,23	125,19	128,83	125,80
06 -- 07	NEUTRO	135,70	129,74	138,15	141,90	132,79	132,80
07 -- 08	LA NINA	124,92	124,92	124,62	125,59	123,24	123,01
08 -- 09	NEUTRO	121,99	119,27	134,03	134,02	128,29	128,16
09 -- 10	EL NINO	140,26	141,49	144,77	152,46	138,34	147,34
Média		124,80	124,36	130,38	131,97	129,40	127,90
Desvio padrão		9,95	9,96	8,00	8,33	5,56	7,97
Mínimo		98,90	97,31	109,07	110,29	112,68	107,88
Máximo		140,38	141,49	144,77	152,46	138,34	147,34

Tabela 28 – Produtividade da cultura da cana-de-açúcar (cana planta) sob condições de sequeiro em João Pessoa, PB, para os anos safra de 1979/80 a 2009/10, considerando-se as fases do ENOS, diferentes tipos de solo (textura arenosa = TXT ARE; textura média = TXT MED; textura argilosa = TXT ARG) e dois tipos de simulações no sistema DSSAT (*Seasonal* = SEA; *Sequence* = SEQ)

Saíra	ENOS	SEA	SEQ	SEA	SEQ	SEA	SEQ
		TXT ARE	TXT ARE	TXT MED	TXT MED	TXT ARG	TXT ARG
Produtividade (t ha ⁻¹)							
79 - 80	NEUTRO	88,04	88,04	96,00	96,00	102,31	102,31
80 - 81	NEUTRO	94,30	94,30	97,79	97,79	109,64	109,64
81 - 82	NEUTRO	79,44	79,80	91,48	91,74	102,77	87,94
82 - 83	EL NINO	103,50	103,50	120,72	120,72	124,39	122,95
83 - 84	NEUTRO	81,34	81,35	85,34	85,34	96,83	80,39
84 - 85	LA NINA	102,11	102,10	111,99	111,99	128,90	128,91
85 - 86	NEUTRO	91,02	91,31	105,84	105,94	117,52	117,58
86 - 87	EL NINO	101,57	101,58	109,74	109,74	120,34	120,34
87 - 88	EL NINO	55,93	55,93	73,86	73,86	94,73	94,73
88 - 89	LA NINA	86,88	86,88	98,26	98,26	107,81	107,81
89 - 90	NEUTRO	83,92	84,32	96,37	96,67	111,53	111,60
90 - 91	NEUTRO	99,16	99,16	112,59	112,59	119,52	119,52
91 - 92	EL NINO	105,81	105,81	115,40	115,40	125,62	125,62
92 - 93	NEUTRO	44,60	44,62	54,17	54,17	74,74	74,75
93 - 94	NEUTRO	80,52	81,28	92,53	93,20	106,93	107,33
94 - 95	EL NINO	89,46	89,46	94,49	94,49	105,04	105,04
95 - 96	LA NINA	76,16	76,16	81,09	81,10	96,48	96,48
96 - 97	NEUTRO	114,48	114,48	122,46	122,46	133,19	133,20
97 - 98	EL NINO	57,66	57,72	65,29	65,36	79,12	79,17
98 - 99	LA NINA	62,90	62,90	75,49	75,48	96,71	96,15
99 - 00	LA NINA	89,91	89,91	106,19	106,19	118,79	100,97
00 - 01	LA NINA	95,68	95,67	108,90	108,90	118,62	118,63
01 -- 02	NEUTRO	102,91	102,56	120,39	120,43	129,70	129,86
02 -- 03	EL NINO	97,92	97,92	112,39	112,39	122,91	122,83
03 -- 04	NEUTRO	108,84	108,85	127,05	127,06	135,50	135,51
04 -- 05	EL NINO	60,73	60,73	71,28	71,28	88,34	88,34
05 -- 06	NEUTRO	78,25	78,33	81,36	81,46	95,56	95,56
06 -- 07	NEUTRO	97,49	97,49	109,85	109,85	119,67	119,67
07 -- 08	LA NINA	88,60	88,60	93,89	93,89	110,22	110,23
08 -- 09	NEUTRO	95,01	95,01	107,10	107,10	119,46	119,46
09 -- 10	EL NINO	89,78	90,16	96,59	97,30	110,92	111,17
Média		87,22	87,29	97,93	98,00	110,45	108,83
Desvio padrão		16,72	16,69	17,90	17,89	15,20	16,34
Mínimo		44,60	44,62	54,17	54,17	74,74	74,75
Máximo		114,48	114,48	127,05	127,06	135,50	135,51

Na Tabela 29, referente à localidade de Londrina, PR, observa-se que as produtividades da cana-de-açúcar se assemelham às obtidas em Jataí, GO, e sendo, portanto, superiores às obtidas em João Pessoa, PB. Apesar da similaridade com Jataí, em Londrina, PR, a variabilidade interanual das produtividades foi um pouco maior, como pode ser observado por meio dos desvios padrão mais elevados, e o efeito da textura do solo foi mais pronunciado, havendo uma diferença de cerca de 20 t ha^{-1} entre o solo de textura argilosa e arenosa. Verifica-se também que não há grandes variações nos valores de produtividade entre os dois tipos de simulações utilizados (*Seasonal* e *Sequence*), sendo as diferenças muito pequenas. Ainda, é possível notar que não existem grandes diferenças nos valores de produtividade entre os eventos do ENOS, mostrando que seus efeitos não são claramente sentidos pela cultura da cana-de-açúcar. No entanto, pode-se observar que em anos de El Niño há uma ligeira tendência de valores de produtividades maiores, o que se deve ao fato, durante esse tipo de fase do ENOS, de haver uma tendência de mais chuva nessa região, como já discutido anteriormente. Já nos eventos de La Niña, durante os quais as frente-frias passam rapidamente pela região, desfavorecendo a ocorrência de chuvas, principalmente no início do verão e na primavera, permanece ainda a tendência de produtividades acima da média.

Na Tabela 30 são apresentadas as produtividades da cana planta para a localidade de Piracicaba, SP. Assim como nas demais regiões, não houve grandes diferenças entre os dois tipos de simulação (*Seasonal* e *Sequence*); porém o tipo de solo interferiu nos valores de produtividade, chegando as diferenças a atingirem mais de 20 t ha^{-1} , similar ao observado em João Pessoa, PB, e Londrina, PR. É possível também observar que não houveram grandes diferenças nos valores de produtividade entre os eventos do ENOS, mostrando que os impactos desse fenômeno são variáveis, devendo ser analisado ano a ano. De um modo geral, observa-se que na média geral os anos de EL Niño e La Niña em Piracicaba acabaram resultando em produtividades ligeiramente maiores, ao contrário do que se observou para os anos neutros em que as produtividades foram ligeiramente menores do que a média.

Tabela 29 – Produtividade da cultura da cana-de-açúcar (cana planta) sob condições de sequeiro em Londrina, PR, para os anos safra de 1979/80 a 2009/10, considerando-se as fases do ENOS, diferentes tipos de solo (textura arenosa = TXT ARE; textura média = TXT MED; textura argilosa = TXT ARG) e dois tipos de simulações no sistema DSSAT (*Seasonal* = SEA; *Sequence* = SEQ)

Safr	ENOS	SEA	SEQ	SEA	SEQ	SEA	SEQ
		TXT ARE	TXT ARE	TXT MED	TXT MED	TXT ARG	TXT ARG
Produtividade (t ha ⁻¹)							
79 - 80	NEUTRO	115,98	115,98	130,25	130,25	130,95	130,95
80 - 81	NEUTRO	94,52	94,52	105,01	105,01	123,36	123,22
81 - 82	NEUTRO	114,62	113,48	134,49	134,51	132,98	134,62
82 - 83	EL NINO	117,22	117,22	128,73	128,74	131,25	131,13
83 - 84	NEUTRO	97,50	97,50	115,62	115,61	123,66	123,65
84 - 85	LA NINA	103,43	103,43	120,08	120,08	123,81	116,20
85 - 86	NEUTRO	115,80	116,05	125,78	125,98	133,40	133,47
86 - 87	EL NINO	104,00	104,00	115,77	115,78	126,95	118,47
87 - 88	EL NINO	89,27	89,27	99,33	99,33	110,35	101,61
88 - 89	LA NINA	88,97	88,98	100,20	100,20	111,37	106,10
89 - 90	NEUTRO	98,09	98,26	107,23	107,36	122,63	122,69
90 - 91	NEUTRO	91,33	91,32	111,94	111,94	119,55	119,55
91 - 92	EL NINO	122,67	122,67	130,71	130,71	129,47	129,10
92 - 93	NEUTRO	85,63	85,64	108,63	108,63	125,19	125,19
93 - 94	NEUTRO	104,49	104,68	112,32	112,47	109,83	102,49
94 - 95	EL NINO	111,31	111,44	125,17	125,24	126,62	117,46
95 - 96	LA NINA	112,46	112,46	121,03	121,02	129,80	130,64
96 - 97	NEUTRO	102,10	98,32	121,45	122,77	128,47	129,72
97 - 98	EL NINO	108,51	108,66	115,26	115,37	127,88	127,47
98 - 99	LA NINA	104,53	104,51	120,19	120,19	125,07	125,08
99 - 00	LA NINA	112,22	112,22	129,59	129,59	132,58	116,50
00 - 01	LA NINA	118,03	117,74	121,92	122,88	126,23	117,81
01 -- 02	NEUTRO	73,87	73,88	87,54	87,53	87,52	87,51
02 -- 03	EL NINO	99,76	99,76	112,05	112,05	126,48	112,01
03 -- 04	NEUTRO	89,77	90,10	101,17	100,87	101,53	68,80
04 -- 05	EL NINO	99,25	99,25	117,74	117,74	126,37	117,47
05 -- 06	NEUTRO	107,00	107,02	128,23	128,20	129,54	119,01
06 -- 07	NEUTRO	118,31	120,50	130,63	136,96	132,14	136,85
07 -- 08	LA NINA	121,17	120,89	128,69	128,73	129,28	124,38
08 -- 09	NEUTRO	94,03	94,03	109,54	109,53	124,41	113,94
09 -- 10	EL NINO	116,55	116,61	130,31	130,31	131,71	131,72
Média		104,27	104,20	117,63	117,92	123,88	119,19
Desvio padrão		12,05	12,12	11,49	11,82	10,11	14,32
Mínimo		73,87	73,88	87,54	87,53	87,52	68,80
Máximo		122,67	122,67	134,49	136,96	133,40	136,85

Tabela 30 - Produtividade da cultura da cana-de-açúcar (cana planta) sob condições de sequeiro em Piracicaba, SP, para os anos safra de 1979/80 a 2009/10, considerando-se as fases do ENOS, diferentes tipos de solo (textura arenosa = TXT ARE; textura média = TXT MED; textura argilosa = TXT ARG) e dois tipos de simulações no sistema DSSAT (*Seasonal* = SEA; *Sequence* = SEQ)

Safra	ENOS	SEA	SEQ	SEA	SEQ	SEA	SEQ
		TXT ARE	TXT ARE	TXT MED	TXT MED	TXT ARG	TXT ARG
Produtividade (t ha ⁻¹)							
79 - 80	NEUTRO	74,51	74,51	98,94	98,94	114,04	114,04
80 - 81	NEUTRO	70,49	70,02	90,10	91,96	114,34	102,70
81 - 82	NEUTRO	80,33	80,35	122,68	124,15	122,79	124,46
82 - 83	EL NINO	117,41	117,41	122,01	122,01	123,10	122,96
83 - 84	NEUTRO	69,75	69,75	89,80	89,80	106,80	106,79
84 - 85	LA NINA	105,61	108,02	119,47	124,88	119,95	106,86
85 - 86	NEUTRO	70,30	70,40	89,45	89,55	97,09	80,58
86 - 87	EL NINO	101,99	102,00	107,58	108,62	123,52	120,31
87 - 88	EL NINO	99,44	99,45	117,18	117,18	119,98	116,11
88 - 89	LA NINA	103,82	103,82	119,64	119,64	120,83	118,86
89 - 90	NEUTRO	78,90	78,95	92,16	92,17	115,09	106,88
90 - 91	NEUTRO	84,74	84,79	106,38	106,34	115,12	104,41
91 - 92	EL NINO	84,44	84,46	98,50	98,55	101,00	95,62
92 - 93	NEUTRO	108,18	108,18	126,43	126,44	128,46	123,89
93 - 94	NEUTRO	108,36	108,76	119,02	119,42	124,60	106,61
94 - 95	EL NINO	114,04	114,04	131,95	131,97	126,86	127,79
95 - 96	LA NINA	112,13	112,14	128,66	128,52	131,48	130,90
96 - 97	NEUTRO	100,45	102,28	122,60	129,20	129,67	131,04
97 - 98	EL NINO	109,23	109,34	121,73	122,00	129,50	120,56
98 - 99	LA NINA	109,73	109,73	123,20	123,55	131,24	125,58
99 - 00	LA NINA	76,47	76,47	100,65	100,45	109,27	99,59
00 - 01	LA NINA	107,78	108,15	127,90	127,80	131,77	122,79
01 -- 02	NEUTRO	121,28	122,55	128,99	135,44	128,90	130,82
02 -- 03	EL NINO	95,15	95,16	111,84	111,84	125,41	111,95
03 -- 04	NEUTRO	99,18	97,64	113,00	116,02	110,94	99,04
04 -- 05	EL NINO	84,86	84,86	104,72	104,74	109,02	96,98
05 -- 06	NEUTRO	101,28	101,31	110,85	110,92	123,20	102,68
06 -- 07	NEUTRO	101,01	95,37	113,79	116,62	127,92	124,24
07 -- 08	LA NINA	105,44	105,45	120,50	120,52	120,13	114,07
08 -- 09	NEUTRO	82,67	82,67	90,65	90,65	98,80	88,42
09 -- 10	EL NINO	108,56	108,65	124,61	125,40	132,88	122,22
Média		96,37	96,34	112,74	113,72	119,80	112,89
Desvio padrão		15,23	15,39	13,29	13,89	10,07	13,14
Mínimo		69,75	69,75	89,45	89,55	97,09	80,58
Máximo		121,28	122,55	131,95	135,44	132,88	131,04

As Tabelas 31 a 36 apresentam um resumo dos dados de produtividade média para cada tipo de análise (*Seasonal* ou *Sequence*) e tipo de solo, assim como o desvio dessas produtividades em cada evento do ENOS em relação à média geral.

A Tabela 31 apresenta os valores de produtividade para o solo de textura arenosa com o tipo de simulação *Seasonal*. Verifica-se que para anos de ocorrência do El Niño somente três das quatro localidades sofre algum efeito na produtividade devido à ocorrência desse evento. Em João Pessoa, PB, o desvio encontrado foi negativo e considerado leve, mostrando que o El Niño traz um efeito de baixa redução da produtividade para esta localidade. Em Londrina, PR, e Piracicaba, SP, os desvios são positivos e com valores mais altos, ocasionando num aumento na produtividade, valendo-se ressaltar que esse efeito foi maior em Piracicaba, SP. Em anos de ocorrência de La Niña verifica-se que em Jataí, GO, o desvio é negativo e considerado leve, fazendo com que a produtividade da cultura da cana-de-açúcar para esta localidade tenha uma ligeira redução. No entanto, em Londrina, PR, e Piracicaba, SP, novamente observa-se um desvio positivo e com valor elevado, acarretando num aumento de produtividade, assim como em anos de El Niño. Em anos neutros, o que se observa é que em Londrina, PR, e Piracicaba, SP, houve, em média, uma redução na produtividade (desvio negativo), sendo esta maior em Piracicaba, SP. Já em João Pessoa, PB, houve um aumento leve nos valores de produtividade (desvio positivo leve) sob o efeito da La Niña.

Tabela 31 - Médias da produtividade da cana-de-açúcar (cana planta) sob condições de sequeiro, em solo de textura arenosa, para cada uma das localidades avaliadas nos anos de El Niño, de La Niña e neutros, e seus respectivos desvios em relação à média geral de cada local, considerando-se a simulação pelo procedimento *Seasonal*

Local/Estado	TEXT. ARENOSA					
	EL NIÑO		LA NIÑA		NEUTRO	
	Media	Desvio	Media	Desvio	Media	Desvio
Produtividade (t ha ⁻¹)						
Jatai, GO	126,71	1,91	122,14	-2,66	124,89	0,09
Joao Pessoa, PB	84,71	-2,52	86,03	-1,19	89,29	2,07
Londrina, PR	107,61	3,34	108,69	4,42	100,20	-4,07
Piracicaba, SP	101,68	5,31	103,00	6,62	90,10	-6,28

Na Tabela 32 são apresentados os valores de produtividade da cultura da cana-de-açúcar para um solo de textura média com o tipo de simulação *Seasonal*. Observa-se que em anos de El Niño apenas João Pessoa, PB, e Piracicaba, SP, apresentam desvios leves e contrários. Na primeira localidade citada o desvio é leve e negativo, resultando em uma pequena redução na produtividade, confirmando o que foi observado por Oliveira (2001), que relata que para a Região Nordeste ocorrem períodos de seca desfavorecendo o desenvolvimento da cana-de-açúcar durante os eventos de El Niño. Já em Piracicaba, SP, o desvio é levemente positivo, acarretando em um pequeno aumento da produtividade. Em anos de La Niña verifica-se um desvio positivo considerável para a localidade de Piracicaba, SP, e neste caso o desvio é relativamente grande em comparação às outras localidades, evidenciando um aumento substancial da produtividade para este local, assim como para a localidade de Londrina, PR, onde ocorreu um pequeno aumento em sua produtividade (desvio leve e positivo). Por fim, em anos neutros verifica-se novamente que Piracicaba, SP, se destaca mais uma vez, porém com uma redução da produtividade (desvio negativo considerável), seguido de Londrina, PR, (desvio leve e negativo). Por outro lado, João Pessoa, PB, sofreu um desvio leve e positivo, ou seja, um pequeno aumento em sua produtividade.

Tabela 32 – Médias da produtividade da cana-de-açúcar (cana planta) sob condições de sequeiro, em solo de textura média, para cada uma das localidades avaliadas nos anos de El Niño, de La Niña e neutros, e seus respectivos desvios em relação à média geral de cada local, considerando-se a simulação pelo procedimento *Seasonal*

Local/Estado	TEXT. MEDIA					
	EL NIÑO		LA NIÑA		NEUTRO	
	Media	Desvio	Media	Desvio	Media	Desvio
	Produtividade (t ha ⁻¹)					
Jatai, GO	130,16	-0,22	131,38	1,00	130,04	-0,33
Joao Pessoa, PB	95,53	-2,40	96,55	-1,39	100,02	2,09
Londrina, PR	119,45	1,82	120,24	2,61	115,32	-2,31
Piracicaba, SP	115,57	2,83	120,00	7,26	107,65	-5,09

A Tabela 33 apresenta os valores de produtividade para solo de textura argilosa com o tipo de simulação *Seasonal*. Verifica-se que para anos de ocorrência de El Niño somente duas localidades sofrem efeito na produtividade em consequência da ocorrência desse evento. Os efeitos sofridos são diferentes para cada localidade. Assim, em João Pessoa, PB, o efeito provocado foi uma redução na

produtividade, efeito este considerado leve (desvio negativo leve), ao passo que em Londrina, PR, o efeito provocado foi um aumento da produtividade da cultura da cana-de-açúcar, também considerado leve. Em anos de ocorrência de La Niña, verifica-se que somente a localidade de Piracicaba, SP, sofreu efeito de aumento na produtividade da cultura da cana-de-açúcar, sendo este efeito bastante considerável devido ao desvio dessa localidade ter sido positivo e considerável. E em anos neutros, observa-se que em Londrina, PR, e em Piracicaba, SP, houve um desvio negativo leve, ou seja, nas duas localidades foram observadas quedas nos valores de produtividade da cultura da cana-de-açúcar.

Tabela 33 - Médias da produtividade da cana-de-açúcar (cana planta) sob condições de sequeiro, em solo de textura argilosa, para cada uma das localidades avaliadas nos anos de El Niño, de La Niña e neutros, e seus respectivos desvios em relação à média geral de cada local, considerando-se a simulação pelo procedimento *Seasonal*

Local/Estado	TEXT. ARGILOSA					
	EL NIÑO		LA NIÑA		NEUTRO	
	Media	Desvio	Media	Desvio	Media	Desvio
Produtividade (t ha ⁻¹)						
Jatai, GO	129,61	0,21	128,16	-1,24	129,85	0,45
Joao Pessoa, PB	107,93	-2,51	111,08	0,63	111,66	1,21
Londrina, PR	126,34	2,46	125,45	1,57	121,68	-2,21
Piracicaba, SP	121,25	1,46	123,52	3,73	117,18	-2,61

Na Tabela 34 são apresentados os valores de produtividade da cultura da cana-de-açúcar para um solo de textura arenosa com o tipo de simulação *Sequence*. Observa-se que em anos de El Niño duas localidades apresentaram desvio leve e uma localidade apresentou um desvio considerável. Às de desvio leve são: João Pessoa, PB, e Londrina, PR; porém a primeira localidade apresentou uma tímida redução (desvio negativo leve) na produtividade da cultura da cana-de-açúcar, enquanto a segunda apresentou um ligeiro aumento (desvio positivo leve). Em Piracicaba, SP, houve um desvio positivo considerável com um maior aumento na produtividade. Em anos de ocorrência de La Niña verificam-se duas localidades com desvio positivo considerável, sendo elas Londrina, PR e Piracicaba, SP, que por sua vez apresentaram desvios negativos consideráveis de produtividade em anos neutros.

A Tabela 35 apresenta os valores de produtividade da cultura da cana-de-açúcar para um solo de textura média com o tipo de simulação *Sequence*. Quando houve a manifestação o evento El Niño pode-se observar que somente a localidade de João Pessoa, PB, sofreu um efeito de redução leve em sua produtividade (desvio negativo leve), sendo que isso pode ser explicado devido à presença de períodos de secas durante a ocorrência desse evento (OLIVEIRA, 2001). Quando houve eventos de La Niña, observou-se que na localidade de Londrina, PR, os desvios de produtividade levemente positivos, enquanto em Piracicaba, esse aumento foi considerável, sendo este o maior desvio da série de dados analisada na Tabela 35. E em anos neutros pode-se observar que novamente a localidade de Piracicaba, SP, aparece como a que apresenta o maior desvio para esse tipo de ano, só que dessa vez o efeito é contrário, fazendo com que ocorra uma redução considerável na produtividade da cultura da cana-de-açúcar (desvio negativo considerável). Vale-se ressaltar também a localidade de João Pessoa, PB, que apresentou um desvio positivo leve nos anos neutros.

Tabela 34 - Médias da produtividade da cana-de-açúcar (cana planta) sob condições de sequeiro, em solo de textura arenosa, para cada uma das localidades avaliadas nos anos de El Niño, de La Niña e neutros, e seus respectivos desvios em relação à média geral de cada local, considerando-se a simulação pelo procedimento *Sequence*

Local/Estado	TEXT. ARENOSA					
	EL NIÑO		LA NIÑA		NEUTRO	
	Media	Desvio	Media	Desvio	Media	Desvio
Produtividade (t ha ⁻¹)						
Jatai, GO	126,12	1,76	122,34	-2,03	124,26	-0,11
Joao Pessoa, PB	84,76	-2,53	86,03	-1,26	89,39	2,11
Londrina, PR	107,65	3,45	108,60	4,40	100,08	-4,12
Piracicaba, SP	101,71	5,36	103,40	7,05	89,83	-6,51

Tabela 35 - Médias da produtividade da cana-de-açúcar (cana planta) sob condições de sequeiro, em solo de textura média, para cada uma das localidades avaliadas nos anos de El Niño, de La Niña e neutros, e seus respectivos desvios em relação à média geral de cada local, considerando-se a simulação pelo procedimento *Sequence*

Local/Estado	TEXT. MEDIA					
	EL NIÑO		LA NIÑA		NEUTRO	
	Media	Desvio	Media	Desvio	Media	Desvio
Produtividade (t ha ⁻¹)						
Jatai, GO	131,85	-0,12	132,59	0,61	131,76	-0,22
Joao Pessoa, PB	95,62	-2,39	96,54	-1,46	100,12	2,12
Londrina, PR	119,47	1,55	120,38	2,46	115,84	-2,08
Piracicaba, SP	115,81	2,09	120,77	7,05	109,17	-4,54

Na Tabela 36 são apresentados os valores de produtividade da cultura da cana-de-açúcar para um solo de textura argilosa para o tipo de simulação *Sequence*. Verifica-se que em todos os eventos do ENOS somente em Piracicaba, SP, houve alterações mais expressivas nos valores de produtividade da cana-de-açúcar, sendo essas positivas nos anos de EL Niño e La Niña e negativas nos anos neutros. Nas demais localidades, não há efeito considerável sobre a produtividade da cultura da cana-de-açúcar em nenhum dos eventos.

Tabela 36 - Médias da produtividade da cana-de-açúcar (cana planta) sob condições de sequeiro, em solo de textura argilosa, para cada uma das localidades avaliadas nos anos de El Niño, de La Niña e neutros, e seus respectivos desvios em relação à média geral de cada local, considerando-se a simulação pelo procedimento *Sequence*

Local/Estado	TEXT. ARGILOSA					
	EL NIÑO		LA NIÑA		NEUTRO	
	Media	Desvio	Media	Desvio	Media	Desvio
Produtividade (t ha ⁻¹)						
Jataí, GO	128,22	0,32	126,57	-1,32	128,32	0,43
João Pessoa, PB	107,80	-1,03	108,45	-0,38	109,62	0,79
Londrina, PR	120,71	1,53	119,53	0,34	118,11	-1,08
Piracicaba, SP	114,94	2,05	116,95	4,05	109,77	-3,12

Como se pode observar na análise dos efeitos dos eventos do ENOS na produtividade da cultura da cana-de-açúcar, não houve grandes variações nos valores de produtividade, apesar de algumas tendências. Os maiores desvios não passaram de 8 t ha⁻¹, como pode-se observar nas Tabelas 31 a 36. Uma possível explicação para tal fato é a de que como a cultura da cana-de-açúcar é considerada uma cultura de ciclo longo (neste caso, ciclo de 12 meses), o efeito sofrido por ela, devido à ocorrência dos eventos do ENOS é menor, fazendo com que a cultura tenha tempo de se recuperar ao longo do seu ciclo. Tal efeito é mais expressivo nas culturas anuais, com ciclos de 3 a 5 meses, já que dois meses com mais ou menos chuvas e/ou mais ou menos radiação solar nessas culturas resultariam em perdas ou ganhos bastante significativos, como o observado por Mota (2000) e Berlato et al. (2005) respectivamente para as culturas do arroz irrigado e do milho no estado do Rio Grande do Sul.

5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no presente estudo permitiram concluir que:

- a) Foi possível avaliar os padrões das temperaturas máxima, mínima e média, assim como seus valores extremos, durante os eventos do ENOS, sendo notado que houve uma maior frequência de anos com essas variáveis acima da mediana nas localidades situadas na região central e nordeste no país durante os eventos de El Niño, ao passo que na região sul, representada por Londrina, tal frequência foi indefinida. Para os anos de La Niña, não houve, em geral, tendência clara de variação em nenhuma das localidades. Já nos anos neutros as maiores frequências foram de temperaturas abaixo da mediana nas localidades das regiões central e sul, enquanto em João Pessoa, PB, não houve tendência bem definida;
- b) Foi possível avaliar os padrões anuais da radiação solar global média e o valor extremo anual durante os eventos do ENOS, contudo, não se detectou tendências expressivas, apesar de valores levemente acima da mediana em anos de La Niña, em todas as regiões;
- c) Foi possível avaliar os padrões das chuvas anuais durante os eventos do ENOS, mostrando haver tendências um pouco mais expressivas, sendo que nas localidades da região central do país (Jataí e Piracicaba) as precipitações acima da mediana foram mais frequentes nos anos de El Niño e La Niña, ficando abaixo da mediana nos anos neutros, enquanto nas demais localidades analisadas, as chuvas tenderam a ficar abaixo ou igual à mediana durante todas as fases do ENOS;
- e) Com relação à produtividade da cultura da cana-de-açúcar, pode-se concluir que como a cultura é considerada de ciclo longo, neste caso de 12 meses, o efeito sofrido por ela, devido à ocorrência dos eventos do ENOS é menor, fazendo com que ela tenha tempo de se recuperar ao longo do seu ciclo. Apesar disso, algumas tendências puderam ser observadas. Em Jataí, GO, não houve alterações da produtividade média maiores do que $\pm 1 \text{ t ha}^{-1}$. Em João Pessoa, PB, a tendência de menores produtividades durante os anos de El Niño e de La Niña e de maiores produtividades em anos neutros. Situação oposta foi observada em Piracicaba, SP, e

Londrina, PR, onde as produtividades tenderam a serem maiores do que a média histórica nos eventos tanto de El Niño como de La Niña, ao passo que nos anos de neutralidade do ENOS as produtividades tenderam a ser menores do que a média.

REFERÊNCIAS

- ALBERTO, C.M.; STRECK, N.A.; HELDWEIN, A.B.; BURIOL, G.A.; MEDEIROS, S.L. Água no solo e rendimento do trigo, soja e milho associados ao El Niño Oscilação Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.7, p.1067-1075, 2006.
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56)
- ALVES, J.M.B.; REPELLI, C.A. A variabilidade pluviométrica no setor norte do Nordeste e os eventos de El Niño-Oscilação Sul (ENOS). **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v.7, n.2, p.583-592, 1992.
- AMAYA, A.; GOMEZ, A.L.; BUITRAGO, J.T.; MORENO, C.A.; CASSALETT, C. Characterization of lodging in sugarcane. **Australian Society of Sugar Cane Technologists Conference**, Australia, v.22, p.321-327, 2000.
- ANGELL, J.K. Comparison of variations in atmospheric quantities with sea surface temperature variations in the equatorial Pacific. **Monthly Weather Review**, Washington DC, v.109, p.203-243, 1981.
- ANDRADE, C. de L.T.; AMARAL, T.A.; JUNIOR J.C.F.B.; HEINEMANN A. B.; GARCIA, A.G.; TOJO-SOLER, C.M.; SILVA, D.F.; HICKMANN, C.; SANTANA C. B.; MOURA, B.F.; CASTRO, L.A. **Modelagem do Crescimento de Culturas: Aplicações à Cultura do Milho**. , n.91, p.63,2009. (Documentos Embrapa).
- ARAGAO, J.O.R. de . O Impacto do ENSO e do Dipolo do Atlântico no Nordeste do Brasil. **Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines**, Grécia, v. 27, n.3, p.839-844, 1998.
- BARBIERI, V.; VILLA NOVA, N.A. **Climatologia e a cana-de-açúcar**. Araras: PLANALSUCAR, Coordenadoria Regional Sul,1977. 22p.
- BERGAMASCHI, H. Desenvolvimento do déficit hídrico em culturas. In: BERGAMASCHI, H. (Coord). **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre: Editora da Universidade UFRGS, 1992. p.25-32.
- BERLATO, M.A.; FONTANA, D. . **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: Editora da UFRGS, 2003. 110p.
- BERLATO, M.A.; FARENZENA, H.; FONTANA, D.C. Associação entre El Niño Oscilação Sul e a produtividade do milho no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.5, p.423-432, 2005.
- BEZERRA, A.C.; CAVALCANTI, E.P. Energia estática sobre o norte e nordeste do Brasil relacionada com a temperatura da superfície do mar. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v.23, n.2, p.239-263, 2008.

BHALME H.N.; MOOLEY D.A.; JADHAV S.K. Fluctuations in drought flood areas over India and relationships with the southern oscillation. **Monthly Weather Review**, Washington DC, v.111, p.86-94, 1983.

BRABO ALVES, J.M.; BEZERRA CAMPOS, E.; BARREIROS DE SOUZA ;REPELLI C.A. Production Agrícola of Subsistence in State of Ceara with emphasis in Years of Occurrence of El Nino and La Nina. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.6, n.2, p.249-325, 1998.

CANE, M.A. Understanding and predicting the world's climate system. In: ROSENZWEIG, C.; BOOTE, K.J.; HOLLINGER, S.; IGLESIAS, A.; PHILLIPS, J. (Ed.). **Impacts of El Niño and climate variability on agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 2001. p.1-20. (ASA Special publication, 63).

CARDOSO, C.O.; FARIA, R.T. de; FOLEGATTI, M.V. Simulação do rendimento e riscos climáticos para o milho safrinha em Londrinha – PR, utilizando o modelo CERES-Maize. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.2, p.291-300, 2004.

CARDOZO, N.P.; SENTELHAS, P.C. Climatic effects on sugarcane ripening under the influence of cultivars and crop age. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.70, n.6, p.449-456, 2013.

CARVALHO, A.L.; SOUZA, J.L.; LYRA, G.B.; SILVA, E.C. **Estação chuvosa e de cultivo para a região de Rio Largo, Alagoas baseada em métodos diretos e sua relação com o El Niño – Oscilação Sul**. Revista Brasileira de Meteorologia, São Paulo, v.28, n.2, p.192-198. 2013.

CESAR, M.A.A.; DELGADO, A.A.; CAMARGO, A.P. de; BISSOLI, B.M.A.; SILVA, F.C. da. Capacidade de fosfatos naturais e artificiais em elevar o teor de fósforo no caldo de cana-de-açúcar (cana-planta), visando o processo industrial. **STAB: Açúcar, Alcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.6, p.32-38, 1987.

COLLE, C. A. **A cadeia produtiva do trigo no Brasil**: contribuição para a geração de emprego e renda. 1998. 160p. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) - . Estudo e Pesquisas Econômicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1998.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Cana-de-açúcar: safra 2009/2010 terceiro levantamento**. Brasília. 16p. 2009. (Relatório de Acompanhamento da Safra Brasileira)

CPTEC/ INPE. **El Niño e La Niña. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos**. 1995-2012. Disponível em: < <http://enos.cptec.inpe.br/>>. Acesso em: 17 Jul. 2012.

DALMAGO, G.A.; PASINATO, A.; CUNHA, G.R.; SANTI, A.; PIRES, J.L.F. Cultivo de Trigo: Zoneamento Agrícola. **Sistemas de Produção**, 4. ISSN 1809-2985 Versão Eletrônica. Set/2009. < <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Trigo/CultivodeTrigo/zoneamento.htm>> Acesso em: Maio. 2014.

DERESSA, T.; HASSAN, R.; POONYTH, D. Measuring the impact of climate change on south African agriculture: the case of sugar-cane growing regions. **Agrekon**, South Africa, v.44, n.4, p.524-542, 2005.

DIAS, F.L.F. **Relação entre a produtividade, clima, solos e variedades de cana-de-açúcar, na Região Noroeste do Estado de São Paulo**. 1997. 64p. Dissertação (Mestrado na área de Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Crop water requirements**. Rome: FAO, 1975. 179p. (Irrigation and Drainage Paper, 24.).

EMBRAPA/CNPTIA. Agência de informação da Embrapa: **Cana-de-açúcar**. Disponível em: < <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/Abertura.html>>. Acesso em: 16 Ago. 2012.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistemas de Produção**. Disponível em: < <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/> >. Acesso em: 14 Ago. 2012.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema de Produção**, 1. Versão eletrônica. 7ª edição. 2011. Disponível em: < http://www.cnpmis.embrapa.br/publicacoes/milho_7_ed/index.htm >. Acesso em: 14 Ago. 2012.

EVERINGHAM Y.L.; INMAN-BAMBER N.G.; SMITH D.M. Seasonal climate forecasts to enhance decision making capability across the sugar industry value chain. **Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technologists**, Australia, v.24, p.67-74. 2002(a)

EVERINGHAM Y.L.; MUCHOW R.C.; STONE R.C.; INMAN-BAMBER N.G.; SINGELS A.; BEZUIDENHOUT C.N. Enhanced risk management and decision-making capability across the sugar industry value chain based on seasonal climate forecasts. **Agricultural Systems**, Essex, v.74, p.459-477. 2002(b)

EVERINGHAM, Y.L.; STOECKL, N.E.; CUSACK, J.; OSBORNE, J.A. Quantifying the benefits of a long-lead ENSO prediction model to enhance harvest management: A case study for the Herbert sugarcane growing region, Australia. **International Journal of Climatology**, Malden, v.32, n.7, p.1069-1076, 2012.

FERREIRA, D.B.; RAO, V.B.; FRANCHITO, S.H. Influência da variabilidade climática sobre o rendimento do milho no Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13., 2004., Fortaleza. **Anais...** Fortaleza, 2004.

FERREYRA, R.A.; PODESTÁ, G.P.; MESSINA, C.D.; LETSON, D.; DARDANELLI, J.; GUEVARA, E.; MEIRA, S. A linked-modeling framework to estimate maize production risk associated with ENSO-related climate variability in Argentina. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.107, p.177-192, 2001.

FONTANA, D.C.; BERLATO, M.A. Relação entre El Niño oscilação sul (ENOS), precipitação e rendimento de milho no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v.2, n.1, p.39-46, 1996.

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, 1997.

FRAISSE, C.W.; CABRERA, V.E.; BREUER, N.E.; BAEZ, J.; QUISPE, J.; MATOS, E. El Niño-Southern Oscillation influences on soybean yields in eastern Paraguay. **International Journal of Climatology**, Malden, v.28, n.10, p.1399-1407, 2008.

FRANÇA, S.; BERGAMASCHI, H.; ROSA, L.M.G. Modelagem do crescimento do milho em função da radiação fotossinteticamente ativa e do acúmulo de graus-dia, com e sem irrigação. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.7, n.1, p.59-66, 1999.

GARCIA, B.I.L.; PRELA, A.; SENTELHAS, P.C. Influencia del fenómeno ENOS (El Niño y La Niña) en la disponibilidad de grados-día. **Agronomia Tropical**, Maracay, v.54, n.3, p.309-320, 2004.

GARNETT E.R.; KHANDEKAR M.L. The impact of large-scale atmospheric circulations and anomalies on Indian monsoon droughts and floods and on world grain yields—a statistical analysis. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.61, p.113-128, 1992.

GLANTZ, M.H. **Currents of change**: impacts of El Niño and La Niña on climate and society. 2nd ed. Cambridge University Press, 2001. 252p.

GOUVÊA, J.R.F. **Mudanças climáticas e a expectativa de seus impactos na cultura da cana-de-açúcar na região de Piracicaba, SP**. 98p. 2008. Dissertação (Mestrado na área de Física do Ambiente Agrícola) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

GREGORY S. Macro-regional definitions and characteristics of Indian summer monsoon rainfall, 1871–1985. **International Journal of Climatology**, Malden, v.9, p.465-483, 1989.

GRIMM, A.M. The El Niño impact on the summer monsoon in Brazil: regional processes versus remote influences. **Journal of Climate**, Washington DC, v.16, p.263-280, 2003.

GRIMM, A.M.; TEDESCHI, R.G. ENSO and extreme rainfall events in South America. **Journal of Climate**, Washington DC, v.22, p.1589-1609, 2009.

HANSEN J.W.; HODGES A.W.; JONES J.W. ENSO influences on agriculture in the southeastern US. **Journal of Climate**, Washington DC, v.11, p.404-411, 1998.

HARGREAVES, G.H. **Simplified coefficients for estimating monthly solar radiation in North America and Europe**. Utah:Department Biology and Irrigation Engineering, Logan, Utah, Utah State University, 1994. 121p.

HOOGENBOOM, G.; JONES, J.W.; WILKENS, P.W.; PORTER, C.H.; BOOTE, K. J.; HUNT, L.A.; SINGH, U.; LIZASO, J.L.; WHITE, J.W.; URYASEV, O.; ROYCE, F. S.; OGOSHI, R.; GIJSMAN, A.J.; TSUJI, G.Y.; KOO, J. **Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) Version 4.5**, Honolulu, Hawaii: University of Hawaii 2010. 1 CD-ROM.

ICASA. **DSSAT Software**. Disponível em: < <http://www.icasa.net/dssat/> > Acesso em: 17 Ago. 2012.

INMAM-BAMBER, N.G. A growth model for sugarcane based on a simple carbon balance and the CERES-Maize water balance. **South Africa Journal of Plant and Soil**, Pretoria, v.8, n.2, p.93-99, 1991.

INMAN-BAMBER, N.G.; MUCHOW, M.; ROBERTSON, J. Dry matter partitioning of sugarcane in Australia and South Africa. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.76, n.1, p.71-84, 2002.

INMAN-BAMBER, N.G.; SMITH, D.M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**, Amsterdam v.92, p.185-202, 2005.

JAME, Y.M.; CUTFORTH, H.W. Crop growth models for decision support systems. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v.76, p.9-19, 1996.

JONES, C.A.; KINIRTY, J.R. **Ceres-Maize**: A simulation model of maize growth and development. College Station: Texas A & M University Press, 1986. p.194.

JONES, J.W.; HOOGENBOOM, G.; PORTER, C.H.; BOOTE, K.J.; BATCHELOR, W.D.; HUNT, L.A.; WILKENS, P.W.; SINGH, U.; GIJSMAN, A.J.; RITCHIE, J.T. The Dssat cropping system model. **European journal of Agronomy**, Amsterdam, v.18, p.235-265, 2003.

JONES, M.; PORTER, C.; JONES, J.W.; HOOGENBOOM, G.; SINGELS, A.; SHINE, J.; NAYAMUTH, R.; KINGSTON, G.; CHINORUMBA, S.; BERG, M. van den. Incorporating the Canegro sugarcane model into the DSSAT V4 crop modelling system. In: CONGRESS, INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 26., 2007. CC, Durban, South Africa. **Proceedings...** Durban, South Africa, 2007. p.438-443.

KANE, R.P. Relationship between El Niño timings and rainfall extremes in NE Brazil, São Paulo city and South Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v.15, n.1, p.45-57, 2000.

KINIRTY, J.R. Maize Phasic Development. In: HANKS, J.; RITCHIE, J.T. (Ed.) Modeling Plant and Soil Systems. **American Society Agronomy**, Madison, v.31, cap.4, p.55-70, 1991.

LOPES-ASSAD, M.L.; BOSCHI, R.S.; NOMURA, E.; EVANGELISTA, B.A.; SILVA, J. S.V. Uso de informações de solos no zoneamento agrícola de risco climático. 15.ed. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 2007. Aracaju, SE, **Anais...** Aracaju, SE, 2007. 5p. 1 CD-ROM

MARCUZZO, F.F.N.; ROMERO, V. Influência do El Niño e La Niña na precipitação máxima diária do estado de Goiás. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v.28, n.4, p.429-440, 2013.

MARENGO, J.A.; OLIVEIRA, G.S. Impactos do Fenômeno La Niña no Tempo e Clima do Brasil: Desenvolvimento e Intensificação do La Niña 1998/99. 10.ed. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 1998. Brasília, SP, **Anais...** Brasília, SP, 1998. 1 CD-ROM.

MARIN, F.R.; JONES, J.W.; ROYCE, F.; SUGUITANI, C.; DONZELI, J.L.; PALLONE FILHO, W.J.P.; NASSIF, D.S.P. Parameterization and Evaluation of Predictions of CSM-CANEGRO for Brazilian Sugarcane. **Agronomy Journal**, Madison, v.103, p.100-110, 2011.

MARIN, F.R.; PELLEGRINO, G.Q.; ASSAD, E.D.; PINTO, H.S.; JULLO JUNIOR, J. Cana-de-açúcar. In: MONTEIRO, J.E.B.A. (Org). Brasília: Instituto Nacional de Meteorologia, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. cap 7: **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**,,. 2009. p.109-130.

MARIN, F.R.; SENTELHAS, P.C.; NOVA, N.A.V. **Influência dos fenômenos El Niño e La Niña no clima de Piracicaba, SP. Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v.15, n.1, p. 123-129, 2000.

MARIN, F.R. ; SUGUITANI, C. ; PALLONE FILHO, W.J. ; NASSIF, D.S.P. ; POLZER, D.L. ; VIANNA, M.S. Avaliação do modelo canegro/dssat para quatro cultivares de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 2009. Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SBAGRO, 2009. v.1.

MARIN, F.R.; THORBURN, P.J.; NASSIF, D.S. ; COSTA, L.G.; REZENDE, A.S.; ANDRADE JUNIOR, A.S. Evaluation of APSIM-SUGAR and DSSAT-CANEGRO for widely grown brazilian sugarcane cultivar. In: CONGRESSO OF INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGARCANE TECHNOLOGISTS, 28., 2013. São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2013.

MCBRIDE J.L.; NICHOLLS N. Seasonal relationships between Australian rainfall and the southern oscillation. **Monthly Weather Review**, Washington DC, v.111, p.1998-2003, 1983.

MINUZZI, R.B.; SEDIYAMA, G.C.; DA COSTA, J.M.N.; VIANELLO, R.L. Influência da La Niña na estação chuvosa da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v.22, n.3, p.345-353, 2007.

MOOLEY D.A.; PARTHASARATHY B. Indian summer monsoon and El Niño. **Pure and Applied Geophysics**, Basel, v.121, p.339-342, 1983.

MONTEIRO, C.A. de F. **O clima e a organização do espaço no Estado de São Paulo**. São Paulo: IGEOG-USP, 1976. 53p.(Serie Teses e Monografia,).

MONTEIRO, B.A. **Agrometeorologia dos cultivos**: o fator meteorológico na produção agrícola. Brasília, DF:INMET, 2009. 530p.

MONTEIRO, L.A.; SENTELHAS, P.C. Potencial and actual sugarcane yields in Southern Brazil as a function of climate conditions and crop management. **Sugar por extensor, Tech**, Nova Delhi v.16, p.264-276, 2013.

MONTEITH, J. The quest balance in crop modeling. **Agronomy Journal**, Madison, v.88, p.695-697,1996.

MOTA, F.S. Influência dos fenômenos El Niño e La Niña sobre o rendimento do arroz irrigado na região de Pelotas (RS). **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v.15, n.2, p.21-24, 2000.

NASSIF, D.S.P. **Parametrização e avaliação do modelo DSSAT/CANEGRO para variedades brasileiras de cana-de-açúcar**. 2010. 92p.Dissertação (Mestrado em Física do Ambiente Agrícola) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba,2010.

NÓBREGA, R.S. ; ARAÚJO, J.A.P. de ; PAIVA NETO, A.C. de ; MELO, E.C. de S.; SOARES, D.B.; SARAIVA, F.A. M.; SOUZA, W.M. de. O Fenômeno El-nino e a influencia conjuta do dipolo do Atlantico no estado do Ceara. In:CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 9., 2000. Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 2000. p.623-627.

O'LEARY, G.J. A review of three sugarcane simulation models with respect to their prediction of sucrose yield. **Field Crops Research**, Amsterdan, v.68, p.97-111, 2000.

OLIVEIRA, G.O.; SATYAMURTY, P.O. El Niño de 1997/98: Evolução e Impactos no Brasil. In; CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA,10,. 1998. Brasília. **Anais...** Brasília, 1998. 1 CD-ROM.

OLIVEIRA, G.S. **O El Niño e Você – o fenômeno Climático**. São José dos Campos, SP:Editora Transtec, 2001. 116p.

PANT G.B.; PARTHASARATHY, B. Some aspects of an association between the southern oscillation and Indian summer monsoon. **Archives of the Meteorological and Geophysical Bioclimatological**, Washington DC, v.29, p.245-252, 1981.

PARTHASARATHY B.; PANT G.B. Seasonal relationship between Indian summer monsoon rainfall and southern oscillation. **Journal of Climate**, Washington DC, v.5, p.369-378, 1985.

PARTHASARATHY, B.; RUPA KUMAR, K.; MUNOT, A.A. Forecast of rainy season foodgrain production based on monsoon rainfall. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, Nova Delhi, v.62, p.1-8, 1992.

PAULA, A.L. de. **Desenvolvimento e produtividade da cana-de-açúcar em ambiente protegido, sob diferentes níveis freáticos**. 2008. 150p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

PAULA, G.M.; STRECK, N.A.; ZANON, A.J.; ELTZ, F.L.; HELDWEIN, A.B.; FERRAZ, S.E.T. Influência do fenômeno El Niño na erosividade das chuvas na região de Santa Maria (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, p.1315-1323, 2010.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478p.

PEZZA, A.B.; AMBRIZZI, T. Uma associação entre as anomalias da temperatura da superfície do mar dos oceanos Pacífico e Atlântico e a temperatura, geadas e precipitação na estação meteorológica do IAG/USP, em São Paulo, durante o período de inverno. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v.17, n.2, p.165-179, 2002.

PICKERING, N.B.; HANSEN, J.W.; JONES, J.W.; WELLS, C.M.; CHAN, V.K.; GODWIN, D.C. WeatherMan: A utility for managing and generating daily weather data. **Agronomy Journal**, Madison, v.86, p.332-337, 1994.

PORTER, C.H.; JONES, J.W.; HOOGENBOOM, G.; WILKENS, P.W.; RITCHIE, J.T.; PICKERING, N.B.; BOOTE, K.J.; BAER, B. **Soil Water Balance Module (WATBAL)**. In: JONES, J.W.; HOOGENBOOM, G.; BOOTE, K.J.; PORTER, C.H. ICASA. Honolulu: University of Hawaii, 2004. (DSSAT v4.5 Cropping System Model Documentation, 4).

PORTER, C.H.; PICKERING, N.B.; JONES, J.W.; HOOGENBOOM, G. Weather Module. In: JONES, J.W.; HOOGENBOOM, G.; BOOTE, K.J.; PORTER, C.H. ICASA. Honolulu: University of Hawaii, 2010. (DSSAT v4.5 Cropping System Model Documentation, 4.).

PRELA, A. **Influência dos fenômenos El Niño/La Niña na produtividade de trigo no Estado do Paraná**. 2004. 52p. Tese (Doutorado na área de Física do Ambiente Agrícola). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

PRELA, A.; GARCIA, B.I.L.; PEREIRA, A.R. Variação de graus-dia em Piracicaba (SP) em anos de El Niño e La Niña. **Bragantia**, Campinas, v.65, n.3, p.527-532, 2006.

PRIESTLEY, C.H.B.; TAYLOR, R.J. On the assessment of surface heat flux and evaporation, using large scale parameters. **Monthly Weather Review**, New York,, v.100, n.2, p.81-92, 1972.

RASMUSSEN E.M.; CARPENTER T.H. Variations in topical sea surface temperature and surface wind fields associated with the southern oscillation—El Niño. **Monthly Weather Review**, New York, v.110, p.354-384, 1982.

RITCHIE, S.W.; HANAWAY, J.J.; BENSON, G.O. **How a corn plant develops**. Yoma State University, University Extension. 1993. Disponível em: <<http://www.extension.iastate.edu/hancock/info/corn.htm>>. Acesso em: 16 Ago. 2012.

RITCHIE J.T.; SINGH U.; GODWIN D.C.; BOWEN W.T. Cereal growth, development and yield. In: TSUJI, G. Y.; HOOGENBOOM, G.; THORNTON, P. K. **Understanding Options for Agricultural Production**. Norwell:Kluwer Academic Publishers, 1998a. p.7-98.

RITCHIE, J.T. Soil water balance and plant water stress. In: TSUGI, G.Y.; HOOGENBOOM, G.; THORNTON P.K. **Understanding Options for Agricultural Production**. Norwell:Kluwer Academic Publishers, 1998b. p.41-54.

RODRIGUES, J.D. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu:Unesp, 1995. 99p.

ROSSIN, B.G. **Efeitos do clima sobre a produção de cana-de-açúcar na região de Presidente Prudente – SP**. 2007. 109p.Trabalho de Conclusão de Curso. Orientador: José Tadeu Garcia Tommaselli. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Departamento de Geografia - IGCE. Rio Claro, SP, 2007.

SALVADOR, R.J. Use of Computerized Simulation to advance Agricultural Research in Developing Countries. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON RESEARCH IN ELECTRICAL SCIENCES, 8., 1993. México. **Proceedings...**Torreón, Coahuila, México: Instituto Tecnológico de la Laguna, 1993.

SANTOS, S.R.Q.; SILVA, R B.C.; BARRETO, P.N.; NUNES, H.G.G.C.; RODRIGUES, R.S.; CAMPOS, T.L.O.B. Regime térmico e hídrico do solo para área de floresta tropical em anos de El Niño e La Niña, Caxiuanã-PA: Estudo de caso. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v.26, n.3, p.367-374, 2011.

SENTELHAS, P.C.; FARIA, R.T.; CHAVES, M.O.; HOOGENBOOM, G. Evaluation of the WGEN and SIMMETEO weather generators for the brazilian tropics and subtropics, using crop simulation models. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.9, n.2, p.357-376, 2001.

SELVARAJU, R. Impact of El Niño-Southern Oscillation on Indian Foodgrain Production. **International Journal of Climatology**, Malden,v.23, p.187-206, 2003.

SHUKLA J.; PAOLINO D.A. The southern oscillation and long range forecasting of summer monsoon rainfall over India. **Monthly Weather Review**, Washington DC, v.111, p.1830-1837, 1983.

SILVA, R.A.; SILVA, V.P.R.; CAVALCANTI, E.P.; SANTOS, D.N. Estudo da variabilidade da radiação solar no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de**

Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, PB, v.14, n.5, p.501-509, 2010.

SINGELS, A.; JONES, M.; VAN DER BERG, M. **DSSAT v.4. DSSAT/CANEGRO: Sugarcane Plant Module**; scientific documentation. Mount Edgecombe, International Consortium for Sugarcane Modeling, South African Sugarcane Research Institute, 2008. 34p.

SIKKA D.R. Some aspects of the large-scale fluctuations of summer monsoon rainfall over India in relation to fluctuations in planetary and regional scale circulation parameters. **Proceedings of the Indian Academy of Sciences**, India (Earth and Planetary Science), v.89, p.179-195, 1980.

SILVA JÚNIOR, J.L.C. **Simulação da produtividade das culturas do milho e do feijão, baseada nos cenários de mudanças climáticas globais, no Estado de Minas Gerais**. 2007. 91p. Tese (*Doctor Scientiae*) - Universidade Federal de Viçosa, Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, 2007.

SOLER, C.M.T. **Uso do modelo CERES-MAIZE para previsão de safra do milho “safrinha”**. 146p. 2004. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

SOUZA, L.F.; SENTELHAS, P.C. Influência do El Niño Oscilação Sul (ENSO) na época de semeadura da cultura do milho em diferentes localidades do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 16., 2010. Belém, PA. Anais... Belém, 2010. v.1.

SIQUEIRA, O.J.F. de; FARIAS, J.R.B.; SANS, L.M.A. Potential effects of global climate change for brazilian agriculture and adaptative strategies for wheat, maize and soybean. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.2, p.115-129, 1994.

STEINKE, E.T. **Considerações sobre variabilidade e mudança climática no Distrito Federal, suas repercussões nos recursos hídricos e informação ao grande público**. 2004. 201p. Tese de (Doutorado na area de Ciências e Tecnologia do Ambiente) - Instituto de Biologia. Departamento de Ecologia., Universidade de Brasília, 2004.

STONE R.C.; AULICIEMS A. SOI phase relationships with rainfall in eastern Australia. **International Journal of Climatology**, Malden, v.12, p.625-636, 1992.

STRECK, N.A.; ROSA, H.T.; WALTER, L.C.; BOSCO, L.C.; LAGO, I.; HELDWEIN, A.B. O fenômeno El Niño Oscilação Sul e a variabilidade interanual da evaporação do tanque Classe A e da umidade relativa do ar em Santa Maria, RS. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.5, p.1452-1455, 2008.

THOMPSON, G.D. Water use by sugarcane. **South Africa Sugarcane Journal**, Pretoria, v.60, n.11, p.592-600; p.627-635, 1976.

THORBURN, P.J.; MEIER, E.A.; PROBERT, M.E. Modelling nitrogen dynamics in sugarcane systems: Recent advances and applications. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.92. n.2/3, p.337-351, 2005.

TOMASELLA, J.M.G.; HODNETT; L. ROSSATO. Pedotransfer functions for estimation of soil water retention in Brazilian soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.64, n.1, p.327,2000.

TROUP A.J. The southern oscillation. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, London, , v.91, p.490-506, 1965.

USDA-FAS. **Oilseeds: World Market and Trade**. Circular Series FOP 07-07. United States Department of Agriculture – Foreign Agricultural Service. 2007. Disponível em:<<http://www.fas.usda.gov/psdonline/circulars/oilseeds.pdf>>. Acesso: 30 Ago 2012.

VAN GENUCHTEN, M.T. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.44, p.892-898, 1980.

VIANNA, M. S. **Risco climático para a cultura da cana-de-açúcar e estratégias de manejo de irrigação complementar para a sua minimização em diferentes regiões brasileiras**. 2014. 177p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

WEBSTER P.J.; YANG S. Monsoon and ENSO: selectively interactive systems. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, London, v.118, p.877-926. 1992.