Revista Brasileira de Climatologia
ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

VARIABILIDADE CLIMÁTICA EM EPISÓDIOS ENOS NA PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum spp.)* NOS MUNICÍPIOS DE CAMBÉ E MIRADOR/PR

GOBO, João Paulo Assis - jpgobo@usp.br
Universidade de São Paulo / USP

DOMINGUES, Ivonete de Almeida Souza - souzaivonetei@gmail.com
Universidade Estadual de Maringá / UEM

GALVANI, Emerson - egalvani@usp.br
Universidade de São Paulo / USP

WOLLMANN, Cássio Arthur - cassio_geo@gmail.com
Universidade Federal de Santa Maria / UFSM

RESUMO: Esta pesquisa teve por objetivo analisar a influência da variabilidade climática causada pelos episódios ENOS, além da precipitação pluviométrica e temperatura do ar em cada fase fenológica e sua influência na produtividade da cultura da cana-de-açúcar nos municípios, de Cambé e Mirador, estado do Paraná. Esta cultura, que tem ciclo de 12 a 18 meses, necessita para o seu bom desenvolvimento, um período úmido nos estádios vegetativos seguido de restrição hídrica no estádio de maturação, e então alcançar produtividade média de 80 ton/ha. O total de chuva exigido é de aproximadamente 1200 mm e temperatura basal de 20ºC. Os dados de chuva, temperatura e de produção e produtividade foram obtidos do Instituto Agronômico do Paraná e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, respectivamente. Dados esses submetidos a operações matemáticas, para obtenção de médias e totais anuais, e análise estatística de correlação e teste de confiança (*t de Student*), utilizando para tal software Excel. Dentro os três episódios estudados, as melhores respostas entre variabilidade climática e produtividade ocorreram em anos de La Niña em Cambé. Essas variáveis apresentaram correlações, moderada a forte, e significativas, a nível de significância acima de 97,5% de probabilidade.

PALAVRAS-CHAVE: variabilidade climática, ENOS, precipitação pluvial, temperatura do ar, produtividade.

CLIMATIC VARIABILITY IN ENSO EPISODES AND THE PRODUCTIVITY OF SUGARCANE (Saccharum spp.) IN THE MUNICIPALITIES OF CAMBÉ AND MIRADOR/PR

ABSTRACT: This paper concerned in to analyze the influence of the climatic variability caused by the ENSO episodes, besides the rainfall and air temperature in each phenological phase and its influence on the productivity of the sugarcane crop in the municipalities of Cambé and Mirador, state of Paraná. This crop, which has a cycle of 12 to 18 months, requires for its proper development, a wet period in the vegetative stages followed by water restriction at the maturation stage, and then reach an average productivity of 80 tons per hectare. The total rainfall required is approximately 1200 mm and a basal temperature of 20°C. Rain, temperature, yield and productivity data were obtained from the Agronomic Institute of Paraná and the Brazilian Institute of Geography and Statistics, respectively. These data were submitted to mathematical operations, to obtain annual averages and totals, and statistical analysis of correlation and confidence test (student t) using Excel software. Within the three episodes studied, the best responses between climatic variability and productivity occurred in La Niña years in Cambé. These variables had moderate to strong correlations, and significant, at a significance level above 97.5% of probability.

KEYWORDS: climate variability, ENSO, rainfall, air temperature, productivity.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

INTRODUÇÃO

A variabilidade climática e sua influência nas atividades agrícolas sempre foi objeto de estudo visando à obtenção de qualidade e quantidade na produtividade, com vistas a se atingir sustentabilidade na utilização dos recursos naturais. Nesse contexto, o cultivo de cana-de-açúcar para atender as necessidades humanas, como alimentação, energia, e outros derivados, é que se torna preciso entender e os fenômenos climáticos e os mecanismos que geram as variabilidades, as quais terão consequência direta na produção agrícola final.

Por variabilidade climática entende-se a maneira pelos quais os parâmetros climáticos variam no interior de um determinado período de registros, expresso por meio do desvio padrão ou coeficiente de variação a partir da média estatística (WMO, 2010).

A não previsibilidade da variabilidade climática é uma das principais fontes de risco para as atividades agrícolas, pois sua influencia em culturas de verão pode causar perdas por seca ou por chuvas fortes, alcançando de até 60% a 32% respectivamente. Nas culturas de inverno as perdas por seca chegam até 30%, por chuvas fortes 32% e por geadas 30% (ROSSETTI, 2002).

Dos mecanismos que controlam a variabilidade climática que interfere na produtividade das culturas agrícolas, destaca-se aquela em decorrência do fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS). O ENOS é composto por uma componente oceânica (aquecimento ou resfriamento das águas no Oceano Pacífico Equatorial) e outra atmosférica (alteração da circulação atmosférica e deslocamento da região de máxima atividade convectiva). Na fase quente do ENOS (El Niño) o deslocamento da região de máxima atividade convectiva se dá do Pacifico Oeste para o Pacífico Central, e na fase fria (La Niña) esse deslocamento é para Oeste (ROPELEWSKI; HALPERT, 1987; 1989; PHILANDER, 1990, MOURA, 1994, GLANTZ 1996 e SILVA, 2000, entre outros).

A ocorrência desse fenômeno altera as condições climáticas favoráveis ao ciclo vegetativo das culturas e consequentemente da sua produção. E, como se sabe, toda planta exige determinados limites de temperatura nos vários estádios do ciclo, bem como uma quantidade mínima de água e um período seco no estádio de maturação e colheita (PEREIRA, et. al. 2002).

Com relação à variabilidade climática aplicada à produtividade da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*), esta cultura apresenta ciclo vegetativo de um ano (pouco período para crescimento e baixa produtividade, geralmente há irrigação) e um ano e meio (longo período de crescimento e produtividade maior, geralmente não há irrigação), e seu ciclo vegetativo compreende quatro estádios de desenvolvimento, ou fases fenológicas: germinação e emergência, perfilhamento e estabelecimento, desenvolvimento da cultura e maturação. Exige para o seu efetivo desenvolvimento, temperatura do ar e umidade do solo adequada para permitir o máximo crescimento na fase vegetativa. Seguida de restrição hídrica ou térmica para favorecer a maturação na época do corte (ANDRADE, 2006).

Quanto às condições térmicas a planta da cana-de-açúcar necessita de temperatura basal em torno de 20°C, sendo que temperatura ótima situa-se entre 22°C e 30°C. Nessas condições a cultura apresenta seu máximo crescimento. Acima de 38°C não há crescimento e abaixo de 20ºC o

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

desenvolvimento da cultura é considerado nulo (BARBIERI, et. al., 1977). Segundo Fauconier e Bassereau (1975), o crescimento da cana é máximo no intervalo de temperatura entre 30°C e 34°C, é lento abaixo de 25°C e acima de 35°C, e é praticamente nulo acima de 38°C. Há ainda aqueles que consideram que a faixa ideal para desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar situa-se entre 20°C e 35ºC (PLANALSUCAR, 1986; CASAGRANDE, 1991).

De acordo com Cuenca e Nazário (2005), a precipitação em torno de 1200 mm anuais, e quando houver deficiência hídrica, sua somatória anual deve ser menor que 200 mm, são condições suficientes para o bom desenvolvimento da cana-de-açúcar, necessitando de mais água nos primeiros meses de crescimento e posteriormente de um período seco para a maturação. Em condições de deficiência hídrica anual entre 200 a 400 mm indicam insuficiências hídricas sazonais pronunciadas, tornando-se recomendável o emprego de irrigação suplementar. Deficiência hídrica anual igual a 400 mm corresponde ao limite acima do qual se torna imprescindível a irrigação (CAMARGO, et. al., 1977).

Assim, o objetivo desta pesquisa científica foi analisar a influência da variabilidade climática causada pelos episódios ENOS, além da precipitação pluviométrica e temperatura do ar em cada fase fenológica e sua influência na produtividade da cultura da cana-de-açúcar nos municípios, de Cambé e Mirador, estado do Paraná. Estas variabilidades foram analisadas de acordo com as distintas fases do ENOS, denominadas de fase El Niño, fase La Niña e fase Neutra para o período de tempo considerado.

No processo de produção e produtividade agrícola, outras variáveis são condicionantes, tais como solo, fertilidade, tecnologia, fotoperíodo, etc. (PEREIRA, et. al. 2002). No entanto, tais variáveis não foram consideradas neste estudo.

LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA E CARACTERIAÇÃO FÍSICA DA ÁREA ESTUDADA E DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA DA CANA-DE-AÇÚCAR

A área de estudo compreende dois municípios paranaenses. O município de Mirador localizado na latitude de 23º15’28’S, longitude de 52º46’35’’ W e altitude de 352 metros e o município de Cambé na latitude de 23º16’32’’S, longitude de 51º16’41’’W e altitude de 650 metros (Figura 1).

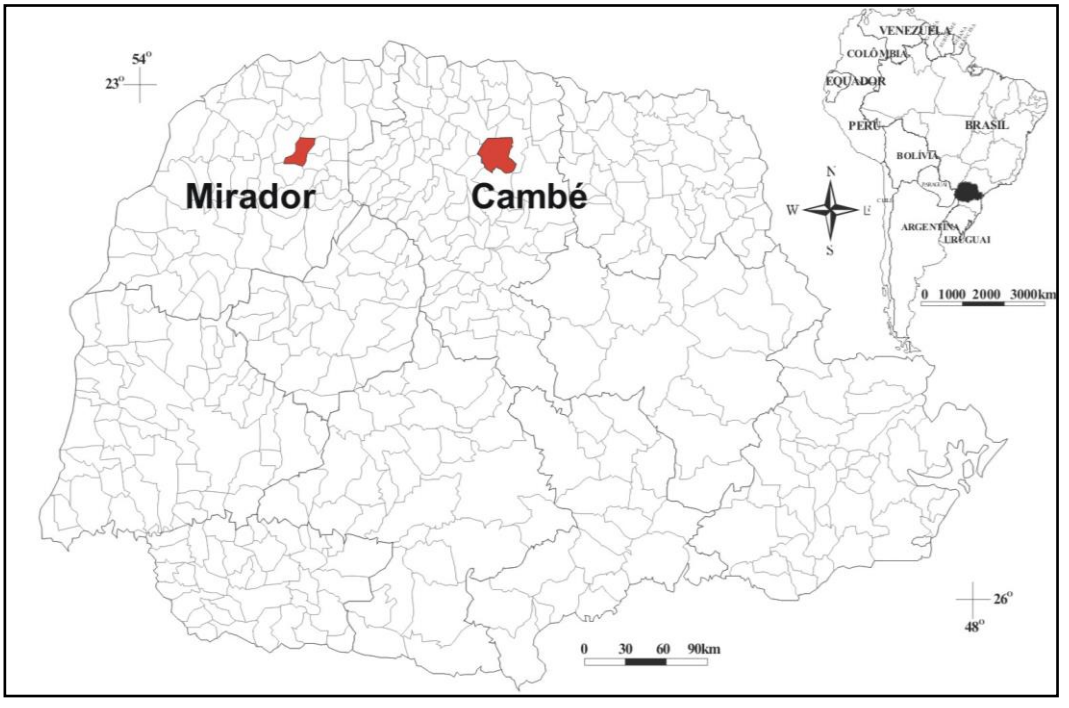


Figura 1 – Mapa do estado do Paraná ilustrado a áreas estudadas, os municípios de Cambé e Mirador. (Org.: Os autores, 2018).

O município de Cambé está sobre solos originados do basalto, terra roxa, e apresenta clima Cwa, segundo classificação de K6oppen, o que significa condições de clima temperado, quente, mês de menor precipitação inferior a 60 mm, (NAGAROLLI, 2007). Assentado sobre solos arenosos, o município de Mirador apresenta clima tipo Cfa – classificação segundo Köppen - sempre úmido, clima pluvial quente-temperado, alterando em alguns anos com Cwa, seco no inverno (MAACK, 2002).

De acordo com a série temporal de 1976 a 2006, a média anual da precipitação foi de 1.604 mm (Cambé) e de 1.485 mm (Mirador). Os meses de dezembro, janeiro e fevereiro registraram os maiores totais, sendo acima de 200 mm em Cambé e em Mirador entre 169 e 193 mm. Os menores totais de precipitação ocorrem nos meses de julho e agosto, cujos valores não ultrapassam 60 mm (Figura 2).

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

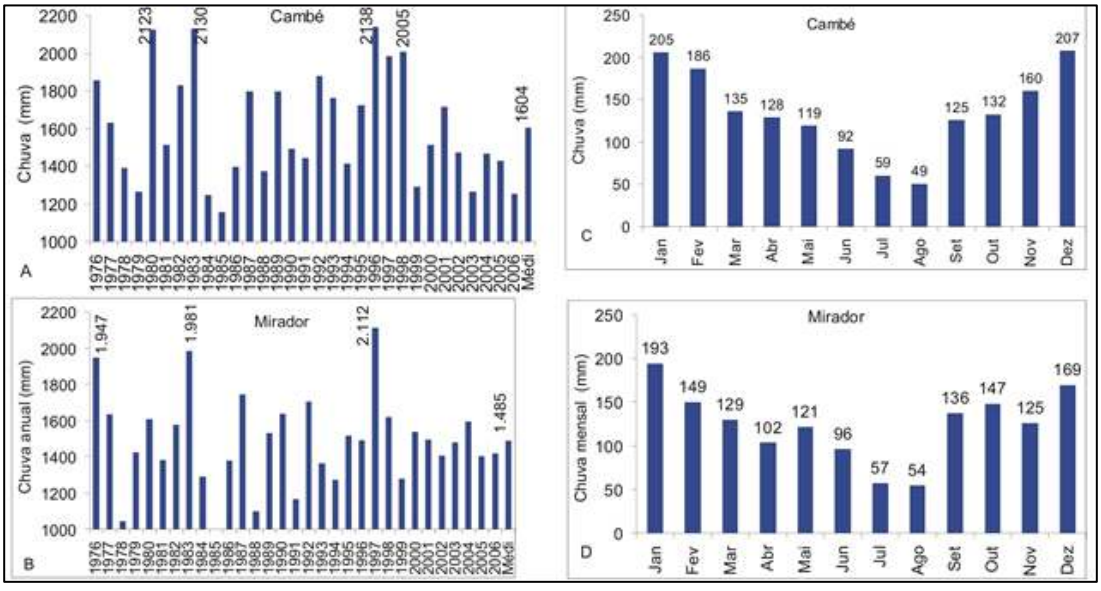


Figura 2 – Média da precipitação pluvial total anual (A) e (B) e mensal (C) e (D) para o período de 1976 a 2006, para os municípios de Cambé e Mirador. (Org.: Os autores, 2018).

A temperatura média anual para o período foi de de 21ºC em Cambé e de 22,2ºC em Mirador, sendo a média mensal da temperatura para o mês mais quente (janeiro) de 23,9ºC em Cambé e de 25,2ºC em Mirador. Ainda, a temperatura média máxima de 29,7ºC nos meses de fevereiro e março em Cambé e de 31,3ºC em janeiro em Mirador. As mínimas ocorrem em julho com valores de 11,6ºC e 13,9ºC, respectivamente (Figura 3).

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

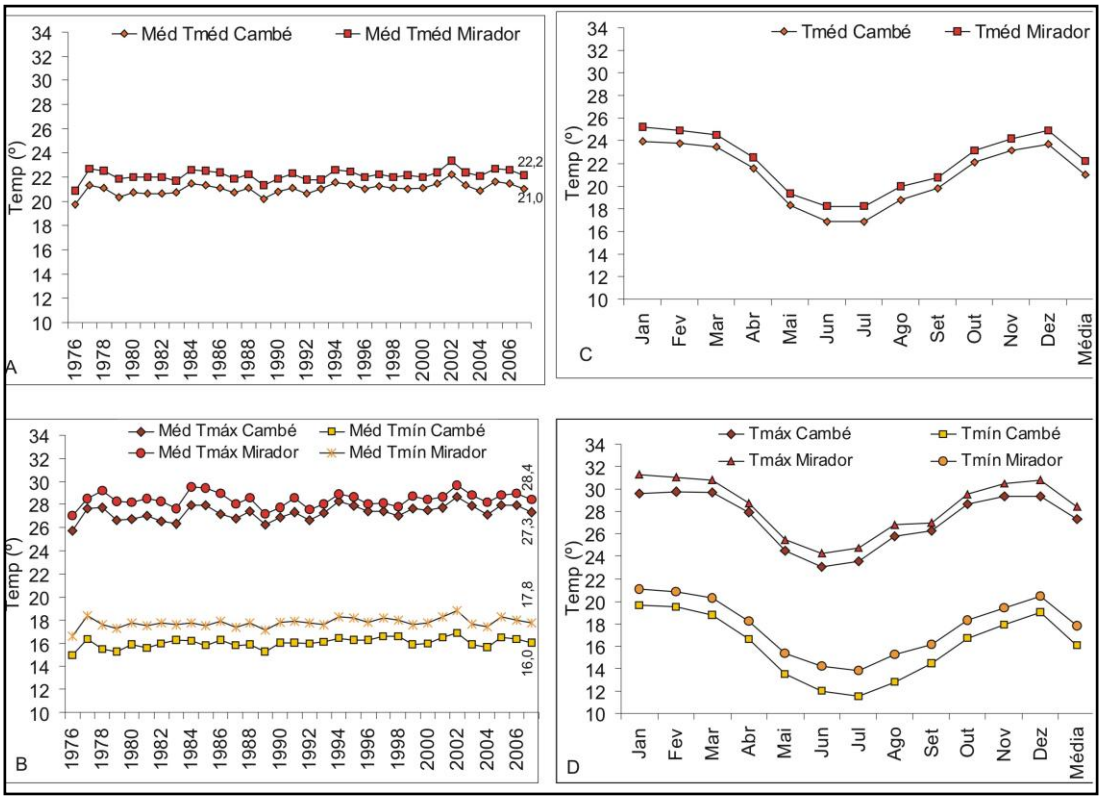


Figura 3 - Temperatura média anual (A, B) e mensal (C, D) do período de 1976 a 2006 dos municípios de Cambé e Mirador. (Org.: Os autores, 2018).

A Tabela 1 apresenta dados de área plantada, produção, produtividade e desvio de produtividade da cana-de-açúcar para os municípios de Mirador e Cambé/PR. A produtividade média do período de 1982 a 2006 foi de 82,4 ton/ha em Cambé e 76,2 ton/ha em Mirador. A qual foi utilizada nas operações matemáticas proposta nesta pesquisa.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Tabela 1 – Dados das variáveis, área plantada, produção, produtividade e desvio de produtividade da cana-de-açúcar para os municípios de Mirador e Cambé/PR. Em azul para La Nina, vermelho para El Nino e preto para os anos Neutro (NOAA, 2018) (Org.: Os autores, 2018).

	Município							
	Cambé				Mirador			
Ano	Área (ha)	Prod. (ton)	Produt. (t/ha)	Desvio	Área (ha)	Prod. (ton)	Produt. (t/ha)	Desvio
1982	45	5.580	115,6	33,2	52	4.059	78,1	1,9
1983	60	6.934	90,8	8,4	248*	19.914*	79,5	3,3
1984	92	5.411	57,6	-24,8	170	10.705	62,4	-13,8
1985	110	10.642	68,9	-13,5	250	20.000	79,1	2,9
1986	119	9.698	80,7	-1,8	235	18.800	78,8	2,6
1987	114	9.388	79,2	-3,2	172	12.913	73,6	-2,6
1988	83	6.836	78,6	-3,8	145	10.512	70,2	-6,0
1989	95	6.727	66,4	-16,0	172	15.655	89,0	12,8
1990	132	9.768	68,9	-13,5	212	14.910	68,0	-8,2
1991	135	11.745	81,3	-1,1	333	23.310	67,4	-8,8
1992	177	18.395	97,6	15,2	375	30.089	77,3	1,1
1993	263	23.670	83,0	0,6	663	53.040	76,8	0,6
1994	298	24.588	74,9	-7,5	458	38.472	80,5	4,3
1995	285	28.058	90,2	7,8	705	70.500	96,2	20,0
1996	334	37.274	102,7	20,3	595	52.865	84,7	8,5
1997	450	39.417	78,0	-4,4	788#	64.471#	77,7	1,5
1998	352	34.432	87,6	5,2	1.550	141.050	86,3	10,1
1999	383	38.333	89,2	6,8	1.035	84.931	77,1	0,9
2000	438	39.565	78,8	-3,6	986	58.742	54,3	-21,9
2001	550	56.779	91,1	8,7	1.051	77.774	68,4	-7,8
2002	326	28.688	75,2	-7,2	1.696	139.179	76,2	0,0
2003	383	44.528	102,8	20,4	1.635	116.742	65,2	-11,0
2004	475	48.874	88,8	6,4	1.581	137.041	80,2	4,0
2005	413	30.037	58,0	-24,4	1.614	136.850	78,0	1,8
2006	600	53.809	74,3	-8,1	2.433	214.688	81,2	5,0
Média	268	25.167	82,4		788	64.471	76,2	

(*) Dados preenchidos pela média dos anos de 1982 a 1990.
(#) Dados preenchidos pela média dos anos de 1991 a 2006.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Utilizaram-se bases de dados da produção agrícola da cultura da cana-de-açúcar, base dados de clima e do fenômeno ENOS. Os dados referem-se às variáveis de produtividade (ton/ha), de chuva (mm) e temperatura do ar (ºC) e de episódios El Niño, La Niña e Neutro. A série temporal usada para esses dados foi de 25 anos, referente aos anos agrícolas de 1990 a 2006.

Os dados climáticos foram também utilizados para elaboração de três tipos de Balanço Hídrico, o Balanço Hídrico Normal (BHN), Balanço Hídrico Sequencial (BHS) e Balanço Hídrico de Cultura (BHC), que trata da necessidade real de água para cada fase fenológica (PEREIRA, et. al. 2002), e para construção dos gráficos foram usadas as planilhas de cálculos de Rolim, et. al. (1998). O BH é uma das maneiras de monitoramento da variação do

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

armazenamento de água no solo, determinante para a produtividade de uma dada cultura (PEREIRA, et. al., op. cit.). Das variáveis resultantes desses Balanços utilizaram-se os dados das variáveis de excedente hídrico (EXC) e de deficiência hídrica (DEF).

O BHN é, dentre outras, usado para a caracterização e a comparação climática regional quanto à disponibilidade hídrica média no solo; o BHS possibilita o acompanhamento em tempo real da disponibilidade de água no solo, o que permite a quantificação de danos provocados às culturas; e com a aplicação do BHC torna-se possível quantificar o balanço de água no solo e sua relação com cada fase de crescimento e desenvolvimento da planta. A série de dados de produção agrícola, dos municípios de Cambé e Mirador, foi obtida pelo Censo Agropecuário do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e os dados climáticos coletados junto ao Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR). As séries de anos dos episódios ENOS foram classificadas e enquadradas como El Niño, La Niña e neutro conforme NOAA (2018).

Dentro da série temporal utilizada obtiveram-se para o fenômeno ENOS, dez anos classificados como de El Niño (1982/83, 1986/87, 1987/88, 1991/92, 1992/93, 1993/94, 1994/95, 1997/98, 2002/03 e 2004/05), cinco anos como La Niña (1988/89, 1995/96, 1998/99, 1999/00 e 2002/03) e dez como Neutros (1981/82, 1983/84, 1985/86, 1989/90, 1990/91, 1996/97, 2000/01, 2001/02, 2003/04 e 2005/06).

Calculou-se a produtividade anual e do período para a cultura da cana-de-açúcar. O mesmo procedimento foi utilizado para os dados de clima, determinando os totais anuais de chuva e média do total do período, além das médias anuais de temperaturas e do período, conforme metodologias aplicadas por Santanna Neto (1996) e Santos (1992; 1996). Esses dados foram classificados de acordo com as séries temporais dos episódios El Niño, La Niña e Neutro, e submetidos à análise estatística de correlação linear (r) segundo a metodologia de Magalhães e Lima (2008). A correlação mede a força, a intensidade ou grau de relacionamento entre duas variáveis.

A correlação é classificada de acordo com a intensidade, podendo ser forte, moderada ou fraca. Forte quando o coeficiente for maior que 0,7, moderada de 0,3 a 0,6 e fraca de 0,0 a 0,3 (CRESPO, 2002).

A correlação pode ser calculada por meio da seguinte fórmula (1):

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2}} = \frac{\operatorname{cov}(X,Y)}{\sqrt{\operatorname{var}(X) \cdot \operatorname{var}(Y)}}$$

onde $x_1, x_2, \ldots, x_n$ e $y_1, y_2, \ldots, y_n$ são os valores medidos de ambas as variáveis. Para além disso

$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n} x_i$ e $\bar{y} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n} y_i$ são as médias aritméticas de ambas as variáveis.

(1)

A análise de correlação para as variáveis: chuva, temperatura, EXC e DEF (BHN, BHS e BHC) e produtividade foi efetuada para cada um dos eventos ENOS (El Niño, La Niña e Neutro). Lembrando que o sinal positivo do coeficiente de correlação indica que aumento em uma variável corresponde a aumento na outra e o sinal negativo que as variáveis variam em sentidos opostos. Essas

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

variáveis climáticas, de acordo com tais eventos, foram também analisadas por estádios fenológicos da cultura estudada.

Valores de r iguais ou próximos de 1 ou –1 indicam que existe uma forte relação entre as variáveis: no primeiro caso a relação é direta, enquanto que no segundo a relação é inversa. Valores próximos de zero significam que existe pouco relacionamento entre as variáveis.

Para verificar se a correlação existente entre as variáveis é significativa, avaliou-se o coeficiente de correlação com nível de significância de 1% até 10%, ou então a nível de 99% e 90% de confiança pelo teste t de Student com n-1 graus de liberdade. O n-1 é utilizado para amostras com até 30 elementos, ou seja, n ≤ 1 (MAGALHÃES e LIMA, 2008).

Essa análise permitiu determinar a relação do comportamento das variáveis chuva e temperatura (variáveis independentes) na produtividade da cana-de-açúcar (variável dependente das variações das variáveis chuva e temperatura).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

- Chuva e temperatura para os anos de ENOS

A correlação entre chuva e produtividade (Tabela 2) apresentou-se como forte e moderada em ano de La Niña para Cambé e Mirador com coeficiente de correlação de r=0,84 e r=0,64, respectivamente. Tais correlações foram confirmadas pelo teste t de Student a nível de significância de 1% e 10%, obtendo-se valor de tn-1=3,085 e tn-1=1,667. Para a temperatura e produtividade houve também correlação em anos de La Niña no município de Cambé com coeficientes de r=0,83, sendo esta considerada forte correlação, confirmada a nível de significância de 2,5% com tn-1=2,976.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Tabela 2 - Correlação (r) e teste t Student entre temperatura, chuva e produtividade para período de 25 anos e por BH Normal e Sequencial por estádios fenológicos (EXC e DEF) e estes por anos de ENOS, série de anos 1981/82 a 2005/06, para Cambé e Mirador/PR. (Org.: Os autores, 2018).

			CAMBÉ		MIRADOR	
			r	t_{n-1}	***r***	t_{n-1}
CLIMA E PRODUTIVIDADE						
Anos El Niño	Chuva		0,31	ns	0,34	ns
Anos La Niña			**0,84**	**3,085(*)**	-0,50	ns
Anos Neutros			0,09	ns	0,22	ns
Anos El Niño	Temperatura		-0,14		-0,02	ns
Anos La Niña			**0,83**	**2,976(*)**	**0,64**	**1,667(***
Anos Neutros			-0,16	ns	0,35	ns
BALANÇO HÍDRICO NORMAL						
BHN anos El Niño	EXC		0,19	ns	0	ns
	DEF		-0,4	ns	0,05	ns
BHN anos La Niña	**EXC**		**0,66**	**1,761(***	0,42	ns
	DEF		-0,13	ns	-0,27	ns
BHN anos Neutro	EXC		0,17	ns	0,34	ns
	DEF		-0,34	ns	0,10	ns
BALANÇO HÍDRICO SEQUENCIAL DECENDIAL						
Anos El Niño	EXC		-0,06	ns	0,02	ns
	DEF		**-0,49**	**1,686(***	0,00	ns
Anos La Niña	**EXC**		**0,66**	**2,666(*)**	**0,63**	**1,602(***
	DEF		0,48	ns	-0,47	ns
Anos Neutro	EXC		0,08	ns	0,16	ns
	DEF		-0,30	ns	0,00	ns
ESTÁDIOS FENOLÓGICOS POR ENOS						
El Niño	EXC	Estabilidade e	-0,11	ns	0,12	ns
		Maturação	0,00	ns	-0,11	ns
	DEF	**Estabilidade e**	**-0,50**	**1,745(*)**	-0,10	ns
		Maturação	-0,28	ns	0,30	ns
La Niña	EXC	**Estabilidade e**	**0,80**	**2,643(*)**	0,50	ns
		Maturação	**-0,90**	**4,035(*)**	0,18	ns
	DEF	Estabilidade e	-0,36	ns	-0,40	ns
		Maturação	**0,84**	**3,053(*)**	0,06	ns
Neutro	EXC	Estabilidade e	-0,15	ns	0,10	ns
		Maturação	**0,47**	**1,598(***	0,19	ns
	DEF	Estabilidade e	-0,14	ns	0,12	ns
		Maturação	-0,39	ns	-0,18	ns

ns (não-significativo), (*) significativo acima de 97,5% e (**) significativo de 90% a 95% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t de Student.

Essas correlações indicam que, durante esse episódio, aumentando o total de chuva e/ou temperatura, aumenta a produtividade da cana-de-açúcar, evidenciando a importância do total de chuva para o ciclo produtivo da cultura. De acordo com Guerra e Caramori (2003), a influência do ENOS sobre a precipitação traz impactos positivos e/ou negativos na produtividade das culturas, e os resultados têm mostrado um impacto positivo (Tabela 2).

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

- Balanço Hídrico Normal por anos ENOS

Quanto às variáveis do BH Normal, no município de Cambé, verificou-se em anos de La Niña, correlação moderada para a variável EXC e produtividade com coeficiente de correlação de r=0,66, confirmada em nível de significância de 10% com tn-1=1,761. Ou seja, com 95% de confiabilidade, aumentando o excedente hídrico, durante esse episódio, há aumento de produtividade. No entanto, em anos de El Niño pode ocorrer redução de produtividade na cultura da cana-de-açúcar, sendo, portanto, significativo os anos de La Niña (ROSSIN, 2009).

- Balanço Hídrico Sequencial por anos ENOS

Para o BHS em Cambé, (Tabela 2), para os anos de El Niño para a variável DEF, houve correlação moderada, com r=-0,49, confirmada em nível de significância de 10% com tn-1=1.686 (o coeficiente de correlação mostra que quando há redução na deficiência hídrica há aumento de produtividade). Em anos de La Niña, em Cambé e em Mirador, observou-se correlação moderada entre EXC e produtividade, com coeficiente de r=0,66 a nível de significância de 2,5% com tn-1=2,666 e de r=0,63 a nível de 10% com tn-1=1,602, respectivamente.

Nos anos com fenômeno ENOS por estádio fenológico constataram-se as seguintes correlações em Cambé - anos com El Niño, para DEF nos estádios de estabelecimento/desenvolvimento, com correlação moderada de r =-0,50 a nível de significância de 10% com tn-1=1.745. Em anos de La Niña houve forte correlação para EXC nos estádios de estabelecimento/desenvolvimento e de maturação, com coeficiente de r=0,80 e r=-0,90 a nível de significância de 2,5% e 1% com tn-1=2,654 e tn-1=4,035. Para a DEF houve forte correlação na maturação, com r=0,84 a nível de significância de 2,5% com tn-1=3,053.

- Balanço Hídrico de Cultura por anos ENOS

No BH de Cultura, o EXC, em Cambé, apresentou forte correlação em anos de La Niña nos três estádios fenológicos, com r=0,80, r=0,79 e r=-0,80 a nível de significância de 2,5% com tn-1=2,658, tn-1=2,576 e tn-1=2,663, respectivamente (Tabela 3).

Para a DEF houve correlação moderada em anos de EL Niño no estabelecimento e maturação, com r=-0,57, r=-0,62, significativo a nível 5% e 2,5% de probabilidade, com tn-1=2,097 e tn-1=2,389, enquanto em anos de La Niña a correlação foi forte nos três estádios fenológicos, com r=-0,87, r=-0,77 e r=0,97 em níveis de significância 1% com tn-1=3,521, tn-1=2,413 e tn-1=8,019.

Em Mirador, para as variáveis EXC e DEF, houve correlação moderada para a primeira e forte para a segunda em anos de La Niña no estádio de desenvolvimento (período de setembro a março). O coeficiente de correlação foi de r=-0,57 e r=-0,76 com nível de significância de 90% e 95% de probabilidade, com tn-1=1,539 e tn-1=2,338, respectivamente.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Tabela 3 - Correlação (r) e teste t Student entre EXC e DEF (BHC) para o período de 25 anos por estádios fenológicos e em anos de ENOS por estádios fenológicos, série de anos de 1981/82 a 2005/06, municípios de Cambé e Mirador/PR. (Org.: Os autores, 2018).

			CAMBÉ		MIRADOR	
			r	t_{n-1}	**r**	t_{n-1}
ANOS ENOS						
El Niño	EXC	Estabilidade	-0,23	ns	0,11	ns
		Desenvolvimento	0,31	ns	-0,08	ns
		Maturação	0,24	ns	-0,08	ns
La Niña		**Estabilidade**	**0,80**	**2,658(*)**	0,61	ns
		Desenvolvimento	**0,79**	**2,576(*)**	**-0,57**	**1,539(**)**
		Maturação	**-0,80**	**2,663(*)**	0,03	ns
Neutro		Estabilidade	-0,36	ns	-0,30	ns
		Desenvolvimento	0,20	ns	0,20	ns
		Maturação	0,22	ns	0,37	ns
El Niño	DEF	Estabilidade	0,32	ns	-0,20	ns
		Desenvolvimento	**-0,57**	**2,097(*)**	-0,11	ns
		Maturação	**-0,62**	**2,389(*)**	-0,18	ns
La Niña		**Estabilidade**	**-0,87**	**3,521(*)**	-0,10	ns
		Desenvolvimento	**-0,77**	**2,413(*)**	**-0,76**	**2,338(*)**
		Maturação	**0,97**	**8,019(*)**	0,03	ns
Neutro		Estabilidade	0,16	ns	0,20	ns
		Desenvolvimento	-0,37	ns	-0,05	ns
		Maturação	-0,16	ns	-0,11	ns

ns (não-significativo), (*) significativo acima de 97,5% e (**) significativo de 90% a 95% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t de Student.

Em relação à temperatura do ar de acordo com os fenômenos ENOS e sua correlação com as fases fenológicas, a Tabela 4 apresenta os valores encontrados.

Tabela 4 - Correlação (r) e teste t Student entre temperatura e produtividade, para estádios fenológicos (BH Cultura) do período de 25 anos e por anos de ENOS, série de anos de 1981/82 a 2005/06 nos municípios de Cambé e Mirador/PR.(Org.: Os autores, 2018).

TEMPERATURA POR ESTÁDIOS FENOLÓGICOS						
			r	t_{n-1}	**r**	t_{n-1}
ENOS	El Niño	**Estabilidade**	0,31	ns	**0,59**	**2,207(*)**
		Desenvolvimento	0,29	ns	0,00	ns
		Maturação	-0,14	ns	0,18	ns
	La Niña	Estabilidade	-0,58	ns	0,17	ns
		Desenvolvimento	**0,81**	**2,788(*)**	**-0,86**	**5,006(*)**
		Maturação	**0,91**	**4,441(*)**	-0,24	ns
	Neutro	**Estabilidade**	**0,44**	**1,476(**)**	0,40	ns
		Desenvolvimento	**-0,69**	**2,851(*)**	-0,12	ns
		Maturação	-0,13	ns	0,24	ns

ns (não-significativo), (*) significativo acima de 97,5% e (**) significativo de 90% a 95% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t de Student.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Em Cambé verificou-se forte correlação em anos de La Niña nos estádios de desenvolvimento e maturação e correlação moderada no estabelecimento e desenvolvimento em anos Neutros. Os coeficientes de correlação para esses estádios foram de r=0,81 com tn-1=2,788, r=0,91 com tn-1=4,441, r=0,44 com tn-1=1,476 e r=-0,69 e tn-11=2,861, com níveis de significância acima de 97,5% de probabilidade, com exceção do estádio de estabelecimento, que foi de 90%;

Em Mirador houve forte correlação em anos de La Niña no estádio de desenvolvimento, com r=-0,86 e tn-1=5,006 a nível de significância de 0,5%.

Em face desses resultados de correlação tem-se que: Para as variáveis hídricas e produtividade, é comum ocorrer aumento de produtividade se houver aumento de chuva ou EXC nos estádios de estabelecimento e desenvolvimento da cultura e redução de produtividade em caso de DEF. Se o estádio for de maturação, há o inverso, ou seja, ocorre aumento de produtividade quando houver aumento de DEF. Tais situações ocorrem com maior frequência em anos de La Niña. Esse mesmo procedimento é comum ocorrer com a temperatura.

Situações semelhantes foram encontradas para outras culturas, como, por exemplo, o milho no Rio Grande do Sul, que apresentou correlações significativas entre variável hídrica e produtividade para a maioria dos períodos estudados (BERLATO et. al. (2005). Para essa mesma cultura, Ferreira (2005) identificou correlações significativas (coeficiente de correlação moderado com nível de significância de 1%) para os trimestres de DJF e JFM, FMA para o estado do Paraná e para os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, São Paulo apenas dois trimestres, DJF e JFM, dentre os sete estados pesquisados. Alberto (2005), pesquisando as culturas de soja, milho e trigo na região de Santa Maria, RS, verificou que anos Neutros constituem anos de maior risco para essas culturas. Cunha, et. al. (1999) verificaram que para a cultura do trigo nos estados da região Sul do Brasil houve correlação significativa em anos de El Niño, causando impactos negativos, e em anos de La Niña com impactos positivos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise de correlação entre os dados climáticos e de produtividade foi considerada significativa e positiva (aumento de produtividade) para as seguintes situações:

Cambé:

- para chuva e produtividade em anos de La Niña;

- no BH Normal em anos de La Niña;

-no BH Sequencial em anos de El Niño no estádio estabelecimento/desenvolvimento e em La Niña no estádio de maturação; EXC em anos de La Niña no estádio de estabelecimento/desenvolvimento e em anos Neutros no estádio de maturação;

- no BH de Cultura em anos de La Niña para EXC e DEF em todos os estádios fenológicos com grau forte de correlação e em anos de El Niño para DEF no desenvolvimento e maturação;

- para temperatura em anos de La Niña e na maioria dos estádios fenológicos com grau forte de correlação;

Mirador:

– para chuva e produtividade em anos de La Niña;

- no BH Sequencial em anos de La Niña para EXC;

- no BH de Cultura também em anos de La Niña para EXC e DEF no estádio de desenvolvimento;

- para temperatura por estádios fenológicos para anos de El Niño no estádio de estabelecimento; e em anos La Niña no estágio de desenvolvimento.

Assim, anos com chuva acima da média (El Niño) e anos com chuva na média do período (Neutros) apresentaram correlação com menor grau de significância com a produtividade da cana-de-açúcar que em anos com chuva abaixo da média (La Niña).

Em relação à análise do BHS, tem-se um problema de ordem escalar. Vale a pena destacar que o período de análise de 10 dias mostra mais elementos que um mês. Justamente por conseguir captar as mudanças ou passagens de um estágio fenológico da cultura para outro.

Diante dessas condições climáticas, conclui-se que, para o município de Cambé, as variáveis hídricas e térmicas (chuva, EXC e DEF, temperatura) apresentaram maior correlação com a produtividade em anos de La Niña (BH de Cultura) em todos os estádios fenológicos.

No município de Mirador houve correlação significativa em anos de La Niña para chuva e EXC (BH Sequencial) e para DEF (BH Cultura) no estádio de desenvolvimento. A variável térmica apresentou correlação significativa em anos de El Niño (estádio de Estabelecimento) e de La Niña (estádio de Desenvolvimento).

Conclui-se, portanto que, em anos com ocorrência, especialmente de La Niña, há correlação significativa entre as variáveis hídricas e a produtividade da cana-de-açúcar, ou seja, a produtividade é maior. Para o estádio de maturação há aumento de produtividade quando houver diminuição do excedente hídrico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERTO, C. M. Água no solo e rendimento de trigo, milho, e soja, associados ao fenômeno El Niño Oscilação Sul e à mudança climática simulados para Santa Maria, RS. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - UFRS, RS, Santa Maria, 2005.

ANDRADE, L. A. B. Cultura da cana-de-açúcar. In: CARDOSO, M. das G. (Ed.). Produção de aguardente de cana-de-açúcar. 3 ed. Lavras: UFLA, 2006. p. 25-67.

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. v. 40, n. 5, p. 423-432, 2005.

CAMARGO, A. P.; ALFONSI, R. R., PINTO, H. S.; CHIARINI, J. V. Zoneamento de aptidão climática para culturas comerciais em áreas de cerrado. In: IV Simpósio sobre o Cerrado: bases para a utilização agropecuária. Anais... Coord. MG. Ferri, Belo Horizonte, Ed. Itatiaia, São Paulo, EDUSP, 1977, p.89-105.

CASAGRANDE, A. A. Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar. Jaboticabal: FUNEP, 1991. 157p.

CRESPO, A. A. Estatística fácil. 18 ed. São Paulo: Saraiva, 2002. 224p.

CUENCA, M. A. G.; NAZARIO, C.C. Caracterização agrossocioeconômica da atividade canavieira no Brasil e distribuição espacial da produção mundial entre 1961 e 2003. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros. 2005.

CUNHA, G. R.; DALMAGO, G. A.; ESTEFANEL, V. Enso influences on wheat crop in Brazil. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v.7, n.1, p.127-138, 1999.

FAUCONNIER, R.; BASSEREAU, D. La caña de azucar. Barcelona: Blume, 1975.

FERREIRA, D. B. Relações entre a variabilidade da precipitação e a produtividade agrícola de soja e milho nas regiões Sul e Sudeste do Brasil. 123f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – São José dos Campos: INPE. 2005.

GLANTZ, M. H. Current of change: El Niño‘s impact on climate and society. Cambridge: University of Cambridge, 1996. 194 p.

GUERRA, J. R. e CARAMORI, P.H. Influência dos fenômenos El Niño e La Niña sobre a produtividade da cultura do trigo no estado do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 13, 2003. Anais... Santa Maria: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2003, vol. 1, p. 579-580.

MAACK, R. Geografia física do estado do Paraná. Curitiba: Imprensa Oficial do Paraná, 2002. 438p.

MAGALHÕES, M. N.; LIMA, A. C. P. de. Noções de Probabilidade e Estatística. 6 ed. rev., São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2008. 392p.

MOURA, A. D. Prospects for seasonal- to-interannual climate prediction and applications for sustainable development. World Meteorological Organization Bulletin. Geneva, v. 43, n. 3, p. 207-215, 1994.

NAGAROLLI, Mozart. Evolução climática do estado do Paraná: 1970–1999. 2007. 129 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. (NOAA). Cold and warm episodes by season. Disponível em: http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php. Acesso em 25 mar. 2018.

PLANALSUCAR. Cultura da cana-de-açúcar. Manual de orientação. Piracicaba, 1986. 56 p.

PHILANDER, S. G. El Niño, La Niña, and the southern oscillation. San Diego: Academic Press, 1990. 293p.

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

ROLIM, G. S.; SENTELHAS, P. C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente EXCEL para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 6, p.133, 1998.

ROPELEWSKI, C. F.; HALPERT, M. S. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño / Southren Oscillation. Monthly Weather Review, v.115, p. 1606-1626, 1987.

ROSSIN, B. G.; TOMMASELLI, J. T. G. Efeitos do clima sobre a produção da cana-de-açúcar na região de Presidente Prudente, SP. In: 12, ENCONTRO DE GEÓGRAFOS DA AMÉRICA LATINA, 3-7 abril, 2009, Montevideo. Anais eletrônicos... Montevideo, 2009. Disponível em: http://www.egal2009.easyplanners.info/area07/7079_Bruna_Bruna_Gomes_Rossin.pdf. Acesso em: 02 mar. 2011.

ROSSETTI, L.A. Reduzindo os riscos da agricultura e propiciando indicadores confiáveis para um desenvolvimento regional sustentável, Anais... Seminário Brasileiro de Zoneamento Agrícola, 1., 2002.

SANT'ANNA NETO, J. L. Variabilidade e tendência das chuvas no oeste paulista. Boletim Climatológico, da FCT/UNESP, Presidente Prudente, ano 1. n. 1, p. 44-56, mar. 1996.

SANTOS, M. J. Z. Mudanças climáticas e a relação com a produção agrícola. Boletim Climatológico, ano 1, n. 2, Presidente Prudente: FCT/UNESP, p.51-60, 1996.

SANTOS, M. J. Z. Variabilidade e tendência da chuva e sua relação com a produção agrícola na região de Ribeirão Preto (SP). Rio Claro, SP, 1992. 389 f. Tese (Livre Docência) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP. 1992.

SILVA, J. F. El Niño, o fenômeno climático do século. Brasília: [S.n.], 2000. p. 139.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). Guide to the global observing system. n. 488, Genebra, Suíça. 172p. 2010