Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe

Estimativa da produtividade do milho nas diferentes mesorregiões do Estado de Alagoas

João Pedro Gonçalves Nobre¹, Hugo Carvalho de Almeida¹, Laurizio Emanuel Ribeiro¹, Fabrício Daniel dos Santos Silva², Rafaela Lisboa Costa³

¹Graduandos em Meteorologia, ICAT-UFAL, Av. L. M. Mota, S/N, CEP 57072-900, Maceió, Alagoas, (82) 3214-1365. joao.nobre@icat.ufal.br (autor correspondente), hugo_carvalho_al@hotmail.com, laurizio.r@gmail.com. ²Professor Dr. Adjunto, ICAT-UFAL, fabricao.santos@icat.ufal.br. ³Doutora em Geociências. Universidade de Brasília, Brasília-DF, (61) 98614-6782, rafaelalisboa@gmail.com.

Artigo recebido em 12/04/2017 e aceito em 05/08/2017

RESUMO

As atividades agrícolas no nordeste brasileiro se desenvolvem em sua grande maioria numa região marcada por forte deficiência hídrica, normalmente influenciada por fenômenos climatológicos, como ENOS, que impõe a esta região, fortes chuvas em períodos de La Niña e escassez nos meses de El Niño. O presente trabalho visa simular penalizações por deficiência hídrica a partir de dados obtidos pelas estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), dos municípios de Água Branca, Maceió, Palmeira dos Índios, Pão de Açúcar e Porto de Pedras, localizados no estado de Alagoas, para uma série climatológica compreendida entre 1961 a 2016. A estimativa da produtividade do milho foi obtida por meio de modelo agrometeorológico teórico que relaciona as perdas na produtividade e deficiência hídrica no decorrer das fases fenológicas da cultura. Procedimentos estatísticos foram adotados para uma melhor compreensão do comportamento dos resultados obtidos, tais como, histogramas de frequência das perdas para identificar a prevalência ou não da concentração destes valores em determinadas classes, gráficos do tipo boxplot para sintetizar em um único gráfico vários parâmetros estatísticos descritivos e o qq-plot, afim de se testar a normalidade da distribuição dos valores obtidos para as perdas. Uma análise comparativa entre as perdas da produtividade com as fases quentes e frias do fenômeno ENOS foi realizada, afim de se verificar o impacto deste fenômeno nos referentes períodos de plantio recomendados pelo Governo Federal para diferentes mesorregiões do estado de Alagoas.

Palavras-chave: ENOS, análise estatística, modelo agrometeorológico, perdas.

Productivity estimation of maize in different mesoregions from Alagoas state

ABSTRACT

The agricultural activities in the northeast of Brazil develop in a region with largest water deficiency. It influenced by climatic phenomena such as ENSO what promotes rains showers at La Niña period and scarcity rains at El Niño months. This work will simulate penalizations by water deficiency using meteorological stations datasets from National Institute of Meteorology (INMET) from Água Branca, Maceió, Palmeira dos Índios, Pão de Açúcar and Porto de Pedras, located in Alagoas State for a climatic series between 1961 and 2016. The maize productivity estimations they were obtained using a theoretical agrometeorological model. This model relates productivity and water deficiency in different phenological phases of the plant. Statistical procedures were adopted to understand the obtained results, for example, loss frequency histogram to identify the datasets concentration in classes, boxplot graph to summarize descriptive statistical parameters and the qq-plot to test the normality distribution on the loss values. A comparative analyze between productivity loss with warm and cold phases of the ENSO phenomenon was realized, to verify the impact of this phenomenon on different planting periods recommended by Federal Government on different mesoregions of Alagoas State.

Keywords: ENSO, statistical analyses, agrometeorological model, loss.

Introdução

O Nordeste do Brasil (NEB) tem uma economia agrícola afetada fortemente por adversidades climáticas, principalmente por secas associadas tanto a intensidade do fenômeno

oceânico-atmosférico Dipolo do Atlântico (Silva et al., 2013), como pelo fenômeno de grande escala El Niño, marcado por anomalias positivas das águas superficiais da bacia do Oceano Pacífico central (Rodrigues et al., 2015). O Nordeste ainda sofre influência de chuvas

associadas a mecanismos dinâmicos de grande escala, como da zona de convergência intertropical (Moura e Shukla, 1981; Hastenrath, 1984), penetração de sistemas oriundos de latitudes médias austrais (Kousky, 1979), vórtices ciclônicos de altos níveis (Kousky e Gan, 1981) e da oscilação de Madden-Julian (Kousky e Kayano, 1994).

Aliado ao fator climático, práticas agrícolas ultrapassadas e falta de crédito agrícola geram ainda mais problemas no que tange a produtividade agrícola do NEB (Silva, 1994), já que esta se baseia fortemente na agricultura de subsistência. No estado de Alagoas o cultivo do milho é realizado, predominantemente, em condições de sequeiro, muitas vezes não adequada e suficientemente longa para suprir as necessidades hídricas da cultura em todos os seus subperíodos de desenvolvimento (Chaves et al., 1982; Azevedo et al., 2004; Azevedo e Silva, 2007). De acordo com Berlato et al. (2005) a produtividade do milho na agricultura de sequeiro apresenta grande flutuabilidade interanual, em virtude da variabilidade da precipitação pluvial, onde a escassez da precipitação promove um menor grau de produtividade.

Baseando-se em dados pluviométricos das sub-regiões do semiárido brasileiro, a Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA) define o

período de plantio em Alagoas entre 01 de abril a 30 de junho, tendo como referências as datas de 20/04, 20/05 e 20/06 (<http://www.mda.gov.br/sitemda/secretaria/saf-garantia/sobre-o-programa>).

O objetivo deste trabalho foi por meio de um modelo agrometeorológico calibrado de acordo com as condições edafoclimáticas do semiárido nordestino, simular a produtividade do milho entre 1961 a 2016, obtendo um histórico de produtividade (perdas e produções significativas) comparados com os efeitos do El Niño e La Niña na região.

Material e métodos

Dados Meteorológicos

As simulações de penalização por deficiência hídrica foram realizadas com os dados meteorológicos diários de estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) no estado de Alagoas, do período compreendido entre 1961 e 2016, conforme ilustrado na Figura 1. As estações de Água Branca e Pão de Açúcar estão localizadas no sertão alagoano, Palmeira dos Índios no agreste alagoano, e Maceió e Porto de Pedras no leste alagoano. Os metadados das estações estão na Tabela 1.

Figura 1. Distribuição geográfica das 5 estações meteorológicas convencionais do INMET nas mesoregiões do Estado de Alagoas.

Tabela 1. Código, nome, latitude, longitude e altitude das 5 estações meteorológicas do INMET no Estado de Alagoas.

Código da Estação	Nome da Estação	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)
82989	Água Branca	-9,28	-37,90	605,3
82990	Pão de Açúcar	-9,75	-37,43	19,1
82992	Palmeira dos Índios	-9,45	-36,70	274,9
82994	Maceió	-9,70	-35,70	64,5
82996	Porto de Pedras	-9,18	-35,43	50,02

Modelo Agrometeorológico

O modelo de simulação para produtividade das culturas utilizado segue a base teórica proposta por Doorenbos e Kassan (1979), que estabelece relações entre perdas de produtividade e deficiência hídrica no decorrer das fases fenológicas da cultura. Este modelo é composto por dois módulos: um que estima a produtividade potencial da safra ou produtividade máxima, e outra que estima o decréscimo do potencial de produtividade em função do déficit hídrico. Estes modelos sugerem que o consumo hídrico seja expresso pela razão entre a Evapotranspiração Real (ETR) e a Evapotranspiração Potencial (ETP) ocorridos nos diferentes estágios fenológicos da cultura, quantificando assim o efeito da água disponível no solo sobre o decréscimo da produtividade final (Monteiro et al., 2013).

A penalização final (Yd) é calculada escolhendo-se o passo de tempo diário, decendial ou mensal. Esse modelo é função da Evapotranspiração Potencial da Cultura (ETPc), da Evapotranspiração Real da Cultura (ETRc) e do coeficiente de penalização por déficit hídrico (ky), mostrados na equação 1.

$$Yd = \left(1 - \frac{ETRc}{ETPc}\right) \times ky \times 100 \quad (1)$$

No entanto, antes de chegar à etapa final para o cálculo da penalização por déficit hídrico, estágios anteriores tem que ser expostos, e são mostrados na sequência das equações 2 a 7. Nos cálculos, o desenvolvimento da cultura do milho é tabelado para um ciclo da cultura de 120 dias. Este ciclo contém os coeficientes da cultura (kc) e de penalização hídrica (ky), com valores diários. O cálculo da evapotranspiração da cultura (ETC) depende de um valor para o kc, e a ETRc depende de um coeficiente de umidade para o solo, o ks, calculado conforme o manual de irrigação de Salassier et al. (2008), abaixo.

$$ETC = ETP \times kc \quad (2)$$

$$ETRc = ks \times ETP \times kc \quad (3)$$

$$ks = \frac{\log(ARM + 1)}{\log(ARMc)} \quad (4)$$

$$CAD = \frac{kc}{kc_{max}} \times CAD_{max} \quad (5)$$

$$ARM = ARM_{ant} - ETRc + Prec \quad (6)$$

$$ARMc = (1 - p) \times CAD \quad (7)$$

em que: CAD = capacidade de campo; ARM = armazenamento de água no solo; ARMc = armazenamento crítico (a partir do qual a planta perde produtividade); ARMant = armazenamento anterior; p = fator de disponibilidade, tabelado pela *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO); ks = coeficiente de umidade; kc = coeficiente de cultura; kc_{max} = máximo coeficiente de cultura. O ARM nunca pode ser maior do que a CAD.

A CAD utilizada para os municípios de Água Branca, Pão de Açúcar e Palmeira dos Índios foi relativa a um solo de textura média entre argiloso e arenoso, de 60mm. Para as estações de Maceió e Porto de Pedras localizadas na faixa litorânea foi utilizada uma CAD de 43,2mm relativa a um solo de textura arenosa. A ETP foi calculada pelo método Penman-Monteith (FAO) de acordo com os procedimentos propostos por Allen et al. (1998), no Boletim 56 da FAO. Para estimativas da ETP por este método, são necessários dados de temperatura do ar, umidade relativa, radiação e velocidade do vento diárias. A ETP é obtida pela equação 8 a seguir, em mm/dia.

$$ETP = \frac{\left(\frac{1}{\lambda} \times \Delta \times (Rn - G) + f \times \frac{900}{(Tmed + 273) \times Vvel2m \times (es - ea)}\right)}{(\Delta + f \times (1 + 0,34 \times Vvel2m))} \quad (8)$$

As séries de produtividade foram então compostas pela ponderação entre as três datas de plantio propostas pelo MDA para o Estado de Alagoas: 20/04 (25%), 20/05 (50%) e 20/06 (25%). Estima-se que entre as três datas, 25% dos produtores tentem a produção na primeira data, 50% na segunda data e 25% na terceira data.

Análises Estatísticas

Com os dados de produtividade estimadas pelo modelo, trabalhou-se com os valores da perda da produtividade, ou seja, 100% menos o valor da produtividade relativa. Para avaliar a série histórica destas perdas, foram gerados gráficos de linha a fim de melhor evidenciar a variabilidade anual, além de identificar extremos. Foram plotados histogramas de frequência das perdas para identificar a prevalência ou não da concentração destes valores em determinadas classes, também foram gerados gráficos do tipo boxplot, que tem o poder de sintetizar vários parâmetros estatísticos descritivos, e finalmente, para testar a normalidade da distribuição dos dados de perdas, foram confeccionados diagramas do tipo qq-plot. O gráfico qq-plot é utilizado para

determinar se dois conjuntos de dados pertencem a mesma distribuição de probabilidades. Em tais gráficos os pontos são formados pelos quantis amostrais e se no resultado os pontos alinham-se numa reta de inclinação 1, as distribuições das duas amostras podem ser consideradas as mesmas.

Relação da Produtividade com ENOS

Por fim, de posse das séries históricas das perdas de produtividade, verificou-se a possível influência das fases quente e fria do fenômeno ENOS, ou seja, qual o grau de comprometimento médio das safras em anos de El Niño e La Niña, em relação a três trimestres: Janeiro-Fevereiro-Março (JFM), anterior as datas de plantio, Abril-Maio-Junho (AMJ), que engloba as três datas de plantio, e Julho-Agosto-Setembro (JAS), período que marca a fase intermediária e final do desenvolvimento da cultura. Para tanto foi analisado o Niño Oceanic Index (ION), ou índice oceânico de Niño, cujo os valores trimestrais (Huang et al., 2014, 2015) são obtidos a partir do desvio em relação a média das temperaturas da superfície do mar na área classificada como Niño 3.4.

Resultados e discussão

Análise Climatológica

A precipitação e a ETP são as duas principais entradas do modelo agrometeorológico usadas nesta pesquisa para estimativa da produtividade. A Figura 2 mostra as normais climatológicas do período 1981-2010 das precipitações mensais e trimestrais. Nos cinco municípios estudados percebe-se que o regime de chuvas se concentra de abril a julho, com o trimestre mais chuvoso sendo Maio-Junho-Julho (MJJ). Mesmo estando na mesma mesorregião do sertão alagoano, a quantidade de precipitação difere entre Água Branca e Pão de Açúcar. Enquanto em Água Branca o acumulado do trimestre MJJ é da ordem de 450mm, em Pão de Açúcar este acumulado médio trimestral é de apenas 250mm, caracterizando-o como o mais seco entre os municípios estudados. Palmeira dos Índios, no agreste alagoano, tem no trimestre mais chuvoso MJJ média de 400mm. Maceió e Porto de

Pedras, no leste alagoano, destacam-se como os municípios mais chuvosos, com médias no trimestre MJJ em torno de 850 e 800mm, respectivamente.

A Figura 3, similar a Figura 2, mostra a normal climatológica mensal da ETP dos cinco municípios. Os valores da ETP são uma resposta à demanda atmosférica por água, logo os valores mínimos médios mensais nos municípios ocorrem nos meses de junho e julho, como resposta ao período do ano onde as temperaturas apresentam os menores valores anuais, assim como a menor quantidade de radiação solar direta que atinge a superfície e os valores mais elevados da umidade relativa, já que estes dois meses fazem parte do trimestre mais chuvoso do Estado: MJJ. Em Água Branca, os valores médios mensais da ETP neste trimestre se situam abaixo dos 3,5mm/dia; em Pão de Açúcar é da ordem de 4,5mm/dia, em Palmeira dos Índios em torno de 4,0mm/dia. Nas cidades litorâneas, Maceió e Porto de Pedras, 4,2 e 4,6mm/dia. Entre todas, Pão de Açúcar apresenta os maiores valores em média.

Análises Estatísticas das Perdas de Produtividade

Diante dos valores climatológicos apresentados, é natural inferir que os municípios do sertão alagoano apresentem as maiores taxas de perdas na produtividade relativa de milho, do que os municípios do leste alagoano. No entanto, para discernir sobre tais afirmações, um conjunto de análises estatísticas são apresentadas e discutidas a seguir.

A Figura 4 mostra o gráfico de linhas referente as perdas relativas percentuais de produtividade do milho em cada uma das cinco cidades, seguindo a mesma sequência das Figuras 2 e 3. Em todas as cidades é notável a alta variabilidade anual entre os valores de perdas. Em Água Branca, o valor mínimo de perda foi observado no ano de 2009, ano subsequente a um La Niña de intensidade moderada, e o valor máximo de perda estimado pelo modelo foi no ano de 1983, após um El Niño de intensidade muito forte estabelecido do trimestre Março-Abril-Maio de 1982 a Maio-Junho-Julho de 1983. O período de 2005 a 2010 foi marcado por baixas perdas de produtividade em Água Branca.

Figura 2. Normal climatológica mensal e trimestral da precipitação de Água Branca, Pão de Açúcar, Palmeira dos Índios, Maceió e Porto de pedras, respectivamente.

Figura 3. Normal climatológica mensal da ETP em Água Branca, Pão de Açúcar, Palmeira dos Índios, Maceió e Porto de pedras, respectivamente.

Figura 4. Variabilidade anual das perdas de produtividade relativas estimadas pelo modelo agrometeorológico em Água Branca, Pão de Açúcar, Palmeira dos Índios, Maceió e Porto de pedras, respectivamente.

Porto de Pedras é a cidade entre as analisadas que apresenta os maiores percentuais de perdas, acima de 40%, atingindo, até mesmo, valores próximos de 100% de perda. O ano com menor perda foi 1977, um ano com anomalias de TSM negativas na área do Niño3.4, mas que não chegou a se configurar em um evento La Niña, já o de maior perda foi 1983. Em Palmeira dos Índios as perdas variaram desde 23,6% em 1966 até 96,3% em 1983. O período de 2004 a 2009, assim como em Água Branca, apresentou baixos valores de perdas.

Maceió e Porto de Pedras apresentam os menores valores de perdas entre as cidades estudadas, em torno de 28,4% e 48%, valores esperados uma vez que a mesorregião onde se localiza estas cidades (zona da mata), é fortemente influenciada pela ação de sistemas meteorológicos como; a perturbação ondulatória dos alísios (POA), que se configura sobre o estado de Alagoas na forma de cavados sinóticos responsáveis pela formação de nebulosidade e precipitação.

A Figura 5 mostra os histogramas das perdas de produtividade para as cidades. Nota-se configurações diferentes entre Água Branca e Pão de Açúcar, que pertencem a uma mesma mesorregião. Em Pão de Açúcar as perdas são mais concentradas entre as classes de 70 a 100%, enquanto Água Branca apresenta uma distribuição mais uniforme, embora com maior concentração nas classes entre 50 e 80% de perdas. Palmeira dos Índios apresenta comportamento relativamente similar a Água Branca, com pico de perdas nas classes de 50 a 70%.

Maceió e Porto de Pedras também apresentam histogramas com diferentes padrões pertencendo a mesma mesorregião. Em Maceió as perdas são menores e mais concentradas nas

classes de 20 a 50%, com pico na classe de 20 a 30% de perdas. Porto de Pedras apresenta perdas mais concentradas nas classes de 30 a 60%, com pico nas classes de 30 a 50% de perdas.

A Figura 6 mostra mais uma vez a similaridade entre os valores médios observados das perdas em Água Branca e Palmeira dos Índios, com os percentis inferior (25%) e superior (75%) muito próximos, além do valor médio e dos mínimos e máximos observados. Pão de Açúcar se destaca pelos elevados valores dos seus percentis e do valor médio das perdas relativas. O contrário percebe-se em Maceió com os baixos valores dos percentis, entre 25 e 40%, menores que Porto de Pedras com percentis entre 35 e 55% e valor médio percentual de perdas maior que o de Maceió. Na Figura 7, são mostrados diagramas qq-plot que sugerem o grau de normalidade dos quantis teóricos estimados em relação aos quantis da amostra observada. Se a configuração dos pontos no gráfico se aproxima de uma reta a suposição de normalidade é sustentável, podendo ser colocada sob suspeita se a maior parte dos pontos se desviarem do comportamento linear. Os gráficos qq-plot de todas as estações mostram que os quantis empíricos teóricos calculados e para as observações geram retas muito próximas da reta diagonal, o que indica uma distribuição quantílica quase perfeita. Em muitos casos, os valores extremos aparecem destacados principalmente nas extremidades da linha, e devido a ineficácia de suas previsões, ditam o desvio destas retas empíricas, mas sem colocar sob suspeita a hipótese de normalidade das distribuições dos percentis calculados. O caso mais assintótico é observado para as perdas de produtividade em Pão de Açúcar, cujas perdas são na maior parte concentradas em valores a partir de 70%.

Figura 5. Histograma das perdas de produtividade, para a mesma sequencia das cidades da Figura 4.

Figura 6. Plotagens box e whisker das perdas. As caixas denotam a mediana de 50% dos valores entre os percentis de 25 e 75%, com a linha vertical compreendida entre os valores máximos e mínimos, para a mesma sequencia das cidades da Figura 4.

Figura 7. Diagramas quantil-quantil das perdas de produtividade, para a mesma sequencia das cidades da Figura 4.

Avaliação das Datas de Plantio

O valor final da perda de produtividade estimada é obtido da ponderação das perdas estimadas em três diferentes datas, referentes ao período de plantio recomendado pelo Governo Federal.

A Tabela 2 mostra os valores de perdas entre as datas indicadas e a perda final ponderada. Os resultados indicam que em três dos cinco

municípios: Água Branca, Pão de Açúcar e Porto de Pedras, a última data recomendada para o plantio, 20/06, gera o valor mais elevado de perdas. A data mais propícia a menor perda em todos os municípios é a primeira data recomendada ao plantio: 20/04. Em Palmeira dos Índios e Maceió, a data mais propícia a perdas é a segunda data recomendada para plantio: 20/05.

Tabela 2. Perdas de produtividade estimadas para as três datas recomendadas ao plantio e perda ponderada final por município. Os valores são relativos à média do período 1961-2016.

Nome da Estação	Perda média na 1ª data (20/04)	Perda média na 2ª data (20/05)	Perda média na 3ª data (20/06)	Perda Média Ponderada
Água Branca	48%	49%	65%	53%
Pão de Açúcar	75%	76%	85%	78%
P. dos Índios	48%	76%	68%	50%
Maceió	31%	76%	51%	30%
Porto de Pedras	39%	46%	63%	49%

Diante destes resultados torna-se evidente que deve-se buscar outras datas alternativas para o plantio, principalmente em relação a terceira data recomendada para plantio, que pode elevar substancialmente a perda ponderada estimada final.

Verificação da Influência de Eventos El Niño e La Niña nas Perdas de Produtividade

Para verificar a possível influência de eventos El Niño ou La Niña na intensificação ou suavização das perdas relativas de produtividade, foram analisados os trimestres JFM (anterior ao período de semeadura), AMJ (durante a fase de plantio e início do desenvolvimento da cultura) e JAS (desenvolvimento e fase final do ciclo da cultura). Cada ano, de 1961 a 2016, teve estes do trimestres classificados quanto a respectiva fase

fenômeno atuante, de acordo com a tabela de classificação trimestral do fenômeno ENOS.

Em seguida foram filtrados os trimestres que estavam sob a vigência de determinado fenômeno. A perda relativa estimada para tais anos dos respectivos trimestres foi filtrada e obteve-se a média das perdas relativas aos anos com El Niño de forma geral, assim como relativo a intensidade de cada fase, seja forte, moderada ou fraca.

A Tabela 3 mostra as perdas relativas médias obtidas em relação ao fenômeno El Niño em geral e de acordo com a intensidade, para cada trimestre de cada ano que esteve sob a atuação deste fenômeno oceano-atmosférico de grande escala. A Tabela 4 mostra o mesmo, só que para o fenômeno La Niña.

Tabela 3. Perdas de produtividade estimadas para anos de El Niño, e para El Niño Fraco, Moderado e Forte. Os valores são relativos à média dos anos do período 1961-2016 que estiveram sob atuação de El Niño.

Trimestre JFM	El Niño	El Niño Fraco	El Niño Moderado	El Niño Forte
Água Branca	54,9%	70,7%	54,2%	40,0%
Pão de Açúcar	77,4%	87,6%	78,7%	65,5%
P. dos Índios	52,9%	61,1%	51,9%	45,8%
Maceió	36,3%	57,0%	25,2%	28,9%
Porto de Pedras	47,1%	56,0%	41,3%	45,2%
Trimestre AMJ	El Niño	El Niño Fraco	El Niño Moderado	El Niño Forte
Água Branca	62,6%	62,0%	69,7%	57,2%
Pão de Açúcar	84,1%	83,9%	86,4%	82,4%
P. dos Índios	66,9%	74,1%	61,3%	54,7%

Maceió	36,5%	41,6%	27,6%	60,2%
Porto de Pedras	59,9%	65,5%	47,8%	58,1%
Trimestre JAS	El Niño	El Niño Fraco	El Niño Moderado	El Niño Forte
Água Branca	58,2%	70,7%	52,2%	41,7%
Pão de Açúcar	81,1%	87,6%	77,9%	73,0%
P. dos Índios	53,7%	61,1%	49,7%	44,9%
Maceió	41,6%	57,0%	24,4%	45,6%
Porto de Pedras	48,4%	56,0%	39,6%	51,4%

Tabela 4. Mesmo que a Tabela 3, mas para La Niña.

Trimestre JFM	La Niña	La Niña Fraco	La Niña Moderado	La Niña Forte
Água Branca	48,4%	62,5%	42,3%	45,7%
Pão de Açúcar	75,9%	83,5%	77,8%	71,5%
P. dos Índios	48,6%	60,2%	51,6%	49,0%
Maceió	31,7%	39,7%	37,7%	24,9%
Porto de Pedras	52,2%	54,8%	43,3%	56,2%
Trimestre AMJ	La Niña	La Niña Fraco	La Niña Moderado	La Niña Forte
Água Branca	46,7%	44,7%	46,0%	48,8%
Pão de Açúcar	75,6%	77,6%	78,4%	72,0%
P. dos Índios	50,2%	46,2%	55,7%	53,1%
Maceió	30,5%	33,9%	39,3%	21,3%
Porto de Pedras	46,4%	40,4%	45,5%	51,7%
Trimestre JAS	La Niña	La Niña Fraco	La Niña Moderado	La Niña Forte
Água Branca	50,4%	62,5%	42,5%	51,0%
Pão de Açúcar	78,6%	83,5%	76,9%	77,3%
P. dos Índios	48,5%	60,2%	48,7%	50,9%
Maceió	35,3%	39,7%	34,5%	33,7%
Porto de Pedras	47,2%	54,8%	41,2%	48,6%

Em Água Branca, em média anos de El Niño apresentam maiores valores de perdas relativas do que em anos de La Niña, analisando os três trimestres. Esta diferença é mais evidente ao se analisar exclusivamente o trimestre AMJ, com anos de El Niño apresentando em média 62,6% de perda versus 46,7% em anos de La Niña. Em Pão de Açúcar, anos de El Niño implicam em taxas maiores de perda do que ano com La Niña, analisando-se os três trimestres, também com maior sinal na análise do trimestre AMJ, com 84,1% de perdas em anos de El Niño versus 75,6% em anos de La Niña. Em Palmeira dos Índios e Maceió ocorre o mesmo efeito, com o trimestre AMJ apresentando a maior diferença para as perdas verificadas em anos de El Niño e La Niña. Apenas em Porto de Pedras, para o trimestre JFM, há maior perda relativa em anos de La Niña do que para anos de El Niño. Observando-se os trimestres AMJ e JAS, volta-se

a ter maiores taxas de perda de produtividade em anos de El Niño do que de La Niña.

Quanto a intensidade do fenômeno, as perdas de produtividade tendem a ser incrementadas em anos de El Niño forte. O mesmo não ocorre para anos de La Niña forte, onde esperava-se haver uma redução maior nas perdas relativas verificadas, ocorrendo muitas vezes o contrário, em cada trimestre analisado.

Os resultados indicam que é mais perceptível a influência do fenômeno ENOS na perda de produtividade do milho no Estado de Alagoas analisando o trimestre AMJ. A fase do ENOS em vigência no trimestre anterior ao plantio, JFM, muitas vezes dá lugar a uma fase neutra ou até mesmo mudança de fase já no trimestre AMJ. Em média a fase verificada no trimestre AMJ perdura até o trimestre JAS. Porém este último trimestre, por coincidir com a fase final do período chuvoso, por si só é determinante

para que sejam observadas perdas significativas de produtividade.

Conclusões

A perda de produtividade média do milho cultivado em condições de sequeiro em Alagoas é da ordem de 53% em Água Branca, 78% em Pão de Açúcar, 50% em Palmeira dos Índios, 30% em Maceió e 49% em Porto de Pedras.

Entre as três datas de plantio recomendadas para o Estado de Alagoas, 20/04, 20/05 e 20/06, a primeira data propicia menor probabilidade de perda, enquanto a última data propicia maiores probabilidades de perda. Este resultado é coerente com a duração do regime chuvoso em todo o Estado, que tem seu trimestre mais chuvoso em MJJ.

O fenômeno ENOS tem efeitos na perda de produtividade do milho. O trimestre que mostra mais claramente sua influência nas perdas é AMJ. Em média, anos de El Niño apresentam maiores perdas do que anos de La Niña, incrementadas em anos de El Niño forte.

Referências

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Rome.
- Azevedo, P.V., Silva, F.D.S., Bezerra, J.R.C., 2004. Zoneamento da época de semeadura para o algodoeiro no Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Agrometeorologia* 12, 379-386.
- Azevedo, P.V., Silva, F.D.S., 2007. Risco climático para o cultivo do algodoeiro na região Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia* 22, 408-416.
- Berlato, M.A., Farenzena, H., Fontana, D.C., 2005. Associação entre El Niño Oscilação Sul e a produtividade do milho no Estado do Rio Grande do Sul. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 40, 423-432.
- Chaves, I.B., Freire, O., Amorim Neto, M.S., 1982. Característica da precipitação e riscos de erosão na região tropical semiárida brasileira. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 20, 991-998.
- Doorenbos, J., Kassam, A. H., 1979. Yield response to water. Roma, Irrigation and Drainage Paper 33, FAO, 179p.
- Hastenrath, S., 1984. Interannual variability and annual cycle: mechanisms of circulation and climate in the tropical Atlantic. *Monthly Weather Review* 112, 1097-1107.
- Huang, B., Banzon, V.F., Freeman, E., Lawrimore, J., Liu, W., Peterson, T.C., Smith, T., Thorne, P.W., Woodruff, S.D., Zhang, H.M., 2014. Extended Reconstructed Sea Surface Temperature version 4 (ERSST.v4): Part I. Upgrades and intercomparisons. *Journal of Climate* 28, 911-930.
- Huang, B., Thorne, P.W., Smith, T., Liu, W., Lawrimore, J., Banzon, V.F., Zhang, H., Peterson, T.C., Menne, M., 2015. Further Exploring and Quantifying Uncertainties for Extended Reconstructed Sea Surface Temperature (ERSST) Version 4 (v4). *Journal of Climate* 29, 3119-3142.
- Resolução Nº2 de 24 de agosto de 2016. Disponível: <<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?jornal=1&pagina=4&data=25/08/2016>>. Acesso: 26 abr. 2017.
- Kousky, V.E., 1979. Frontal influences on Northeast Brazil. *Monthly Weather Review* 107, 1140-1153.
- Kousky, V.E., Gan, M.A., 1981. Upper Tropospheric Cyclonic Vortices in the Tropical South Atlantic. *Tellus* 33, 538-551.
- Kousky, V.E., Kayano, M.T., 1994. Principal modes of outgoing longwave radiation and 250mb circulation for the South American sector. *Journal of Climate*, v. 7, p. 1131-1143.
- Monteiro, J.E.B.A., Azevedo, L.C., Assad, E.D., Sentelhas, P.C., 2013. Rice yield estimation based on weather conditions and on technological level of production systems in Brazil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 48, 123-131.
- Moura, A.D., Shukla, J., 1981. On the dynamics of droughts in northeast Brazil: Observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. *Journal of the Atmospheric Science* 38, 2653-2675.
- Rodrigues, R. R., Haarsma, R. J., Campos, E. J. D., Ambrizzi, T., 2015. The impacts of inter-El Niño variability on the Tropical Atlantic and Northeast Brazil climate. *Journal of Climate* 24, 3402-3422.
- Salassier, B., Soares, A.A., Mantovani, E. C., 2008. Manual de Irrigação. Editora UFV, 625p, 8.ed.
- Silva, B.B., 1994. Estresse hídrico em algodoeiro herbáceo irrigado evidenciado pela termometria infravermelha. Tese (Doutorado). Campina Grande, UFPB.
- Silva, V.B.S., Kousky, V.E., Silva, F.D. S., Salvador, M. A., Aravequia, J.A., 2013. The 2012 severe drought over Northeast Brazil. *Bulletin of the American Meteorological Society* 94, p. 162.