ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe

Aptidão climática do sorgo (*Sorghum bicolor*) para o estado da Paraíba, Brasil

Paulo Roberto Megna Francisco¹, Djail Santos²; Maria Marle Bandeira³;
Carlos Lamarque Guimarães⁴; Danilo Ericksen Costa Cabral⁵

¹Dr. em Eng. Agrícola, Pesquisador DCR CNPq/Fapesq, Universidade Federal da Paraíba, UFPB, Areia-PB, Autor correspondente: paulomegna@gmail.com.br

²Dr. em Ciência do Solo, Prof. Titular CCA, Universidade Federal da Paraíba, UFPB, Areia-PB, santosdj@cca.ufpb.br

³Ms. em Meteorologia, Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba, AESA, Campina Grande-PB, marle@aesa.pb.gov.br

⁴Dr. em Eng. Agrícola, Prof. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, IFPB, João Pessoa-PB, carlos.guimaraes@ifpb.edu.br

⁵Ms. em Meteorologia, Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba, AESA, Campina Grande-PB, danilo@aesa.pb.gov.br

Artigo recebido em 20/03/2016 e aceite em 03/08/2016.

RESUMO

Este trabalho objetivou elaborar o mapeamento da aptidão climática para a cultura agrícola do sorgo no Estado da Paraíba, considerando a variabilidade natural do regime de chuvas, estabelecida em três cenários pluviométricos. Foram utilizados dados pluviométricos mensais de séries com vinte anos ou mais de observações. Para cada posto pluviométrico, foi estabelecido o total de precipitação registrado nos três meses consecutivos mais chuvosos de cada ano hidrológico. Os dados foram ajustados utilizando-se a distribuição Gama incompleta e verificada a qualidade pelo teste de Kolmogorov-Smirnov ao nível de significância de 95%. No cálculo do balanço hídrico climatológico foram utilizados os dados obtidos para capacidade de campo de armazenamento de água no solo de 100mm. Foi elaborado o cálculo de área para os cenários pluviométricos seco, regular e chuvoso com probabilidade de chuvas de 25, 50 e 75%, respectivamente. Os dados foram espacializados e construídos mapas dos parâmetros climáticos utilizando Krigagem. Pode-se constatar que o uso do modelo probabilístico distribuição Gama incompleta e do teste de Kolmogorov-Smirnov apresentaram boa coerência nos dados trabalhados. Os elementos climáticos foram determinantes para o cálculo dos balanços hídricos e a definição dos cenários pluviométricos. Com o uso do método geoestatístico de interpolação de dados pela Krigagem foi possível mapear os cenários pluviométricos do sorgo apresentando resultados satisfatórios na Geoespacialização. As áreas com aptidão Inapta por deficiência hídrica acentuada ocorrem sobre o Planalto da Borborema nos cenários seco, regular e chuvoso. As áreas com aptidão Moderada por deficiência hídrica diminuíram em área conforme a probabilidade da precipitação aumentou nos cenários regular e chuvoso. A classe de aptidão Plena com período chuvoso prolongado para a cultura do sorgo ocorre no cenário chuvoso nos contrafortes do Planalto da Borborema e na depressão do Rio Piranhas. A classe de aptidão climática moderada por excesso hídrico ocorre em maior área no cenário chuvoso. A classe Plena ocorre em maior área no cenário regular.

Palavras-chave: Climatologia, aptidão agrícola, cenário pluviométrico, probabilidade.

Climatic aptitude for sorghum (*Sorghum bicolor*) in Paraíba state, Brasil

ABSTRACT

The objective of this work was mapping of climatic aptitude suitability for Sorghum in the Paraíba state of Brazil, considering the natural variability of rainfall, established in three rainfall scenarios. Monthly rainfall data series with twenty or more years of observations were used. For each rainfall station, it was established the total rainfall recorded in the three consecutive months rainiest of each hydrological year. Data adjustments were made using the incomplete Gamma distribution and checked for quality by the Kolmogorov-Smirnov test at 95% significance level. The calculation of the climatic water balance equation using the data obtained for water storage field capacity on the ground 100mm. It was prepared the area calculation for the rainfall scenarios drought, regular and rainy years, with rain probability of 25, 50 and 75%, respectively. Data were spatialized and climatic maps of climatic parameters have been made using the Krigagem. Can be observed that the use of probabilistic model incomplete Gamma distribution range and the Kolmogorov-Smirnov test showed good consistency in the raw data. Climatic elements were decisive for the calculation of water balance and the definition of rainfall scenarios. With the use of geostatistical method by Kriging interpolation data it was possible to map the rainfall sorghum scenarios showing satisfactory results in geospatialization. Areas with inept aptitude an accentuated water stress occur on the Plateau of Borborema in dry scenarios, regular and rainy. Areas with moderate aptitude by water stress decrease much in the area as the likelihood of precipitation increases in regular and rainy scenarios. Full aptitude class with prolonged rainy season for the sorghum crop occurs in the rainy scene in the foothills of the Borborema Plateau and depression of the Piranhas River. Class climate aptitude Moderated by water overflow occurs in most area in the rainy scenery. Full class occurs in larger area in regular scenario.

Keywords: Climatology, agricultural potential, rainfall scenario, rain probability.

Introdução

O sorgo é uma planta de origem tropical, de dias curtos e com altas taxas fotossintéticas, exigindo, por isso, um clima quente para poder expressar seu potencial de produção (MAPA, 2014). A cultura, com características xerófilas, é considerada tolerante a períodos secos, notadamente em regiões do Nordeste do Brasil (Tabosa et al., 2002).

De acordo com EMBRAPA (2012) os estados da região Nordeste, em função da irregularidade no regime de chuvas, o cultivo do sorgo é realizado durante a estação chuvosa, período curto e com distribuição irregular, caracterizado, ainda, por ocorrência de veranicos, com 15 a 20 dias sem chuvas. As condições climáticas durante o desenvolvimento e o crescimento da cultura são importantes para a qualidade do produto e produção final.

A cultura do sorgo exige em torno de 300 a 400mm de precipitação pluviométrica, distribuídos regularmente durante o seu ciclo de crescimento e desenvolvimento para que se alcancem níveis de produtividade satisfatórios, sem a necessidade de irrigação suplementar. A cultura tolera ocorrências de deficiência hídrica, inclusive pequenos veranicos, sendo considerada resistente à seca. As fases fenológicas críticas da cultura correspondem ao estágio de plântula e no florescimento, sendo importante nessas épocas um adequado nível de suprimento de água para uma boa produção (Tabosa et al., 2002; EMBRAPA, 2012).

De acordo com o Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2014) a temperatura do ar ótima para o desenvolvimento da cultura varia com a cultivar. A grande maioria dos materiais genéticos de sorgo requer temperaturas superiores a 21°C para um bom crescimento e desenvolvimento, não suportando, normalmente, temperaturas abaixo de 16°C, sendo que temperaturas superiores a 38°C também reduzem a produtividade. Apesar de resistente à seca, a ocorrência de déficits hídricos, principalmente na fase de florescimento e de enchimento de grãos, pode provocar redução acentuada na produção.

Por pertencer ao grupo de plantas C4, o sorgo suporta elevados níveis de radiação solar, respondendo com altas taxas fotossintéticas, minimizando a abertura dos estômatos e consequente perda d'água. Assim, o aumento da intensidade luminosa implica em maior produtividade, sempre que as demais condições sejam favoráveis (EMBRAPA, 2012).

Nas semeaduras tardias e nos cultivos após uma safra de verão a produtividade do sorgo é bastante afetada pelo regime de chuvas, pelas

limitações de radiação solar e pelas temperaturas baixas durante o final do ciclo (MAPA, 2014).

O estudo do comportamento espacial de um determinado elemento climático, como é o caso da precipitação, é fundamental para o mapeamento de áreas de aptidão para agricultura, bem como para o planejamento das atividades agrícolas (Silva et al., 2010).

O conhecimento da distribuição de chuvas e da duração do período da disponibilidade de água, com relação à fisiologia das culturas e condições de solo, é pré-requisito essencial para o planejamento e produtividade. O excesso ou a deficiência hídrica durante o desenvolvimento dos cultivos agrícolas podem acarretar prejuízos em termos de produtividade, sendo, portanto de grande importância os estudos voltados para a avaliação da influência dos regimes pluviométricos na produção agrícola (Azevedo e Lima, 2001).

De acordo com Botelho e Moraes (1999) a produção agrícola é função de elementos probabilísticos no sentido de que ela depende entre outros fatores das variáveis climáticas, tais como quantidade total de chuva, distribuição pluviométrica, temperatura e umidade relativa do ar. Conforme Arraes et al. (2009) a precipitação pluvial é um dos elementos essenciais nas atividades agrícolas, a partir do volume de chuva precipitado e da sua distribuição pode-se determinar quais os tipos de atividades agrícolas de certa localidade.

A incorporação de cenários pluviométricos (anos secos, regulares e chuvosos) a estudos dessa natureza é desejável, pois permite torná-los ajustados e adequados à variabilidade natural das precipitações e às expectativas pluviométricas dos modelos numéricos de previsão climatológica em uso no Brasil (Varejão-Silva e Barros, 2001).

De acordo com Vieira et al. (2010) a precipitação pluvial de determinado local pode ser estimada, dentre outras formas, em termos probabilísticos, mediante modelos teóricos de distribuição ajustados a uma série de dados. Moreira et al. (2010), relatam que diversos estudos indicam a distribuição gama, como o meio probabilístico mais confiável na determinação de totais mensais de precipitação.

Cargnelutti Filho et al. (2004) afirmam que testes de aderência, como o Kolmogorov-Smirnov, amplamente utilizado (Assis et al., 1996), servem para comparar as probabilidades empíricas de uma variável com as probabilidades teóricas estimadas pela função de distribuição em teste, verificando se os valores da amostra podem razoavelmente ser considerados como provenientes de uma população com aquela distribuição teórica.

A krigagem compreende um conjunto de técnicas geostatísticas de ajuste usadas para aproximar dados pelo princípio que: fixado um ponto no espaço, os pontos no seu entorno são mais relevantes do que os mais afastados. Isto pressupõe a existência de dependência entre os dados, exigindo saber até onde espacialmente esta correlação importa (Isaaks e Srivastava, 1989). A técnica consiste em estimar valores médios e também uma medida de acuracidade dessa estimativa. Seus pesos são calculados com base na distância entre a amostra e o ponto estimado; na continuidade espacial e no arranjo geométrico do conjunto (Bettini, 2007).

Conforme Jakob (2003), a krigagem é considerada uma boa metodologia de interpolação de dados. Ela utiliza o dado tabular e sua posição geográfica para calcular as interpolações. Ao utilizar o princípio da Primeira Lei de Geografia de Tobler, que diz que unidades de análise mais próximas entre si são mais parecidas do que

unidades mais afastadas, a krigagem utiliza funções matemáticas para acrescentar pesos maiores nas posições mais próximas aos pontos amostrais e pesos menores nas posições mais distantes, e criar assim os novos pontos interpolados com base nessas combinações lineares de dados.

Portanto, este trabalho objetiva elaborar o zoneamento de aptidão climática para a cultura agrícola do sorgo, considerando a variabilidade natural do regime pluviométrico, estabelecida em três cenários pluviométricos a partir da krigagem.

Material e métodos

O Estado da Paraíba localizado na região Nordeste do Brasil, apresenta uma área de 56.372 km², que corresponde a 0,662% do território nacional (Figura 1). Seu posicionamento encontra-se entre os paralelos 6°02'12" e 8°19'18"S, e entre os meridianos de 34°45'54" e 38°45'45"W (Francisco, 2010).

Figura 1. Localização da área de estudo. Fonte: Adaptado de IBGE (2009).

O relevo do Estado da Paraíba (Figura 2) apresenta-se de forma geral bastante diversificado, constituindo-se por formas de relevo diferentes trabalhadas por diferentes processos, atuando sob climas distintos e sobre rochas pouco ou muito diferenciadas. O uso atual e a cobertura vegetal

caracterizam-se por formações florestais definidas como caatinga arbustiva arbórea aberta, caatinga arbustiva arbórea fechada, caatinga arbórea fechada, tabuleiro costeiro, mangues, mata-úmida, mata semidecidual, mata atlântica e restinga (PARAÍBA, 2006).

O clima caracteriza-se por temperaturas médias elevadas (22 a 30°C) e uma amplitude térmica anual muito pequena, em função da baixa latitude e elevações (<700m) (Varejão-Silva et al., 1984) (Figura 3).

Conforme Sales e Ramos (2000), em todo o Nordeste brasileiro e no território paraibano, as variações de temperatura do ar dependem mais de condições topográficas locais do que daquelas decorrentes de variações latitudinais.

A precipitação varia de 400 a 800mm anuais, nas regiões interiores semiáridas, e no Litoral, mais

úmido, pode ultrapassar os 1.600mm (Varejão-Silva et al., 1984). De acordo com Francisco et al.

(2015) a distribuição da precipitação pluviométrica ocorre de forma irregular e com grande variação durante todo o ano e sua distribuição anual demonstra a alta variabilidade espacial de precipitação no setor central do Estado com

menores valores em torno de 300 a 500mm; no Sertão e Alto Sertão em torno de 700 a 900mm; no Brejo e Agreste de 700 a 1.200mm; e no Litoral em média de 1.200 a 1.600mm (Figura 4).

Figura 4. Pluviosidade anual média dos últimos 102 anos (mm). Fonte: Francisco et al. (2015).

Francisco et al. (2016) observaram que a evapotranspiração de referência anual (Figura 5) no Litoral ocorre uma média de aproximadamente 1.500 mm.ano⁻¹, na região do Brejo a evapotranspiração cai para 1.450 mm.ano⁻¹,

diminuindo significativamente no Agreste em torno de 1.150 mm.ano⁻¹, sendo as menores taxas ocorridas no Cariri/Curimataú e parte do Alto Sertão entre 1.000 a 1.100 mm.ano⁻¹, e tornando a crescer no Sertão e parte do Alto Sertão.

Figura 5. Evapotranspiração de referência anual do Estado da Paraíba. Fonte: Francisco et al. (2016).

Conforme Francisco et al. (2015), o Estado da Paraíba, de acordo com a classificação climática

de Köppen, apresenta quatro tipos diferentes de clima (Figura 6). O clima Aw, no litoral norte, que

caracteriza essa região como Tropical com estação seca no inverno. O clima Am, localizado na região litorânea norte e sul, característico de região monçônica, relacionado a regiões de alto volume anual de precipitação. Os tipos climáticos As que

dominam em sua maioria parte do Litoral, Brejo, Agreste em pequena faixa da região do Sertão e em toda área do Alto Sertão. O tipo climático Bsh é predominante da área do Cariri/Curimataú e boa parte do Sertão.

Figura 6. Mapa da classificação climática de Köppen no Estado da Paraíba. Fonte: Francisco et al. (2015).

Na metodologia de trabalho, para o cálculo da pluviosidade, utilizaram-se os dados obtidos por Francisco et al. (2015), onde os totais mensais de precipitações foram obtidos nos postos pluviométricos da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESAPB), em que foram selecionados postos que possuem vinte

ou mais anos de observações, conforme distribuição espacial demonstrada na Figura 7. Francisco et al. (2015), procedeu de uma análise no tocante à sua consistência, homogeneização e no preenchimento de falhas em cada série, e elaborou uma planilha eletrônica com os dados obtidos onde calculou as médias mensais e anuais.

Figura 7. Distribuição espacial dos postos pluviométricos da área de estudo. Fonte: Francisco et al. (2015).

Para o cálculo da temperatura média do ar, da evapotranspiração potencial, do balanço hídrico e do índice de umidade, foram utilizados os dados obtidos por Francisco et al. (2015). No cálculo da temperatura média do ar foram utilizados os dados estimados pelo *software* Estima_T (Cavalcanti et al., 2006) e espacializados pelo método estatístico de interpolação de krigagem.

Para o cálculo do balanço hídrico foram utilizados os dados obtidos para capacidade de campo de armazenamento de água no solo (CAD) de 100mm, onde o modelo utilizado foi o proposto por Thornthwaite (1948; 1955).

A determinação dos diferentes níveis de probabilidade de precipitação foi realizada com auxílio do modelo probabilístico de distribuição Gama incompleta (Thom, 1958). Sua função densidade de probabilidade é dada pela equação 1.

$$f(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad (1)$$

Em que: α = parâmetro de forma (adimensional); β = parâmetro de escala (mm); e = base do logaritmo neperiano; x = total de precipitação (mm) e; Γ = símbolos da função gama, definida conforme a equação 2.

$$\Gamma(\alpha + 1) = \sqrt{2\pi\alpha} \alpha^\alpha e^\alpha \left(1 + \frac{1}{12\alpha} + \frac{1}{288\alpha^2} - \frac{1}{51840\alpha^3} \right) \quad (2)$$

Um dos métodos frequentemente empregados é o método dos momentos, que iguala a média ($\bar{X}$) e a variância (S^2) da amostra a média e a variância da população, sendo determinado pelas equações 3 e 4 (Assis et al., 1996).

$$\bar{x} = \frac{\sum X^2}{n} \quad (3)$$

$$s^2 = \frac{\sum X^2}{n} - \bar{x}^2 \quad (4)$$

Em que: $\bar{X}$ = precipitação média do período (mm); S^2 = Variância (mm²).

Posteriormente, o ajuste das distribuições foram avaliados pelo teste Kolmogorov-Smirnov a 95% de significância. A estatística do teste é dada por D , representando a diferença máxima entre as funções acumuladas de probabilidade teórica ($F(x)$) e empírica ($F(a)$). O teste apresenta a seguinte equação 5:

$$D = \max |f(x) - f(a)| \quad (5)$$

A discriminação dos cenários pluviométricos seguiu a metodologia proposta por

Varejão e Barros (2001). Para cada posto pluviométrico, foi estabelecido o total de precipitação pluviométrica registrado nos três meses consecutivos mais chuvosos de cada ano hidrológico completo. Em seguida, a distribuição gama incompleta (Assis et al., 1996), seguindo a conceituação de Thom (1958), foi ajustada à série desses totais em cada posto, seguindo a metodologia indicada por Mielke (1976) e utilizada por EMBRAPA (2012).

A qualidade do ajustamento da curva teórica aos valores observados foi verificada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (Massey, 1980) ao nível de significância de 95%. Esses mesmos critérios foram aplicados em todas as séries pluviométricas. Como a curva de distribuição da chuva acumulada nos três meses consecutivos mais chuvosos é específica para cada posto, os valores correspondentes às probabilidades de 25, 50 e 75% também são específicos de cada posto (Varejão-Silva e Barros, 2001).

Os conjuntos dos anos secos, regulares e chuvosos de cada posto foram utilizados para obter as correspondentes médias mensais dos totais pluviométricos, necessárias para caracterizar os respectivos cenários. Os critérios para discriminar os anos hidrológicos de cada posto pluviométrico foram enquadrados em uma das categorias indicadas (Varejão Silva e Barros, 2001): a) Anos secos - aqueles em que o total de precipitação, acumulado nos três meses consecutivos mais chuvosos, for igual ou menor que o valor correspondente à probabilidade de 25%; b) Anos chuvosos - aqueles cujo total de precipitação, acumulado nos três meses consecutivos mais chuvosos, é superior ao valor correspondente à probabilidade de 75%; c) Anos regulares - todos aqueles anos não classificados nas duas categorias anteriores.

A aplicação dos critérios acima citados e a verificação do ajuste da função de distribuição de probabilidade gama incompleta aos dados de precipitação de todos os postos pluviométricos usados no estudo, com a consequente

caracterização dos cenários pluviométricos, foram processadas por meio do programa XLSTAT 2015.5.01 Free Trial. Para a verificação do ajuste dos dados de precipitação à função de distribuição de probabilidade gama, utilizou-se o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, ao nível de 95% de probabilidade (Assis et al., 1996).

Para o cálculo do balanço hídrico foram utilizados os dados obtidos para capacidade de campo de armazenamento de água no solo (CAD) de 100mm, em que o modelo utilizado foi o proposto por Thornthwaite (1948; 1955). Para avaliação de aptidão climática da cultura do sorgo, foram utilizados os critérios conforme a metodologia adaptada de EMBRAPA (2012), em que foram realizadas simulações de balanço hídrico sequencial que permitiu uma visão da influência da deficiência e do excesso hídrico do plantio à colheita, mediante aos parâmetros adotados. Para este trabalho foram elaborados os mapas de deficiência hídrica, excedente hídrico e o de relação entre a precipitação e a evapotranspiração potencial expressas em termos de um ou mais dos seguintes parâmetros mensais:

Pm/EPm - Relação entre a precipitação e a evapotranspiração potencial no mês m;

EXCm - Estimativa do excedente hídrico no mês m; e

DEFm - Estimativa da deficiência hídrica no mês m.

Os critérios utilizados para caracterizar os graus de aptidão climática do milho foram obtidos a partir do balanço hídrico climatológico mensal (Varejão Silva e Barros, 2001). Foram usados os índices: $j = 1, 2$ e 3 (cumulativo), para designar os três meses iniciais do ciclo; e $i = 1, 2$ ou 3 (não cumulativo) para indicar um dos três meses iniciais do ciclo; os outros dois meses foram representados por k . Por exemplo: se $i = 3$, então $k = 1$ e 2 . O último mês (secagem e colheita) foi representado pelo índice 4 . Foram adotados os parâmetros relacionados aos meses (1, 2, 3 e 4) de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1. Critérios utilizados na avaliação de aptidão climática da cultura do sorgo

Aptidão Climática	EXC (mm)	DEF (mm)	P/EP (mm)	PREC (mm)
C3-Moderada por excesso hídrico	≥ 300			≥ 600
C2-Plena com período chuvoso prolongado	$200 < EXC_j \leq 300$		$P_4/EP_4 \geq 1$	$500 < PREC \leq 600$
C1-Plena sem restrição	$0 < EXC_j \leq 200$	$DEF_i < 10$	$P_4/EP_4 < 1$	$400 < PREC \leq 500$
C4-Moderada por deficiência hídrica		$DEF_i < 20$	$P_4/EP_4 < 1$	$280 < PREC \leq 400$
C5-Inapta por deficiência hídrica acentuada		$DEF_i \geq 20$		< 280

Fonte: Adaptado de EMBRAPA (2012).

A espacialização dos dados foi obtida através da utilização do programa Surfer 9.0 e recortado os limites do Estado utilizando arquivo digital de IBGE (2009).

Resultados e discussão

Tabela 2. Parâmetros da distribuição gama para a precipitação pluviométrica anual de alguns municípios

Município	Média	Desv Pad	Distorção	Ln Médio	Constante U	Beta (β)	Alfa (α)
Aguair	860,5750	363,3801	0,497823	5,573700	1,183900770	2,186700	154,0681
Coremas	865,5250	332,3458	0,545924	6,681566	0,081770078	6,277062	137,8870
Mataraca	1.521,8140	544,4303	0,105620	7,249015	0,078643364	6,520328	233,3953
Remígio	578,4383	337,7566	0,573568	6,137642	0,222689528	2,401127	240,9028
Seridó	359,3130	256,8963	0,385089	5,202969	0,681224516	0,873945	411,1390
Santa Luzia	538,2770	252,5137	0,528811	6,171716	0,116657065	4,446713	121,0505

Pode-se observar na Tabela 2 que os valores do parâmetro β não ultrapassaram o valor 7 em nenhum dos municípios, nas variáveis analisadas, possibilitando nesse caso a utilização na distribuição gama para o cálculo da estimativa das precipitações. Conforme Arraes et al. (2009) e de acordo com Thom (1958), para valores superiores a 100 não se utiliza a distribuição gama incompleta.

Observa-se que os valores de α para precipitação pluviométrica são maiores no

Pelos resultados obtidos por este trabalho pode-se observar na Tabela 2 os valores estatísticos calculados pela distribuição Gama dos dados pluviométricos das médias anuais de 102 anos de alguns municípios do Estado da Paraíba.

município de Seridó. Este comportamento mostra o menor grau de assimetria na função gama para este município. De acordo com Arraes et al. (2009) os valores do parâmetro α indica a medida de assimetria dos dados analisados, ou seja, quanto maior o valor de α menor o grau de assimetria.

Na Tabela 3 observam-se os resultados estimados e calculados do teste estatístico Gama incompleta e do teste Kolmogorov-Smirnov para os postos representativos do estado.

Tabela 3. Estatísticas estimadas dos dados e calculadas utilizando os parâmetros estimados da distribuição Gama incompleta e resultados do Teste de Kolmogorov-Smirnov

Posto/ Município	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Teste Kolmogorov-Smirnov
Alhandra	359,500	1621,500	865,573	296,124	Aceita
Areia	224,000	1112,500	584,049	170,990	Aceita
Campina Grande	142,900	679,200	329,173	115,411	Aceita
Cabaceiras	0,000	410,800	121,650	76,350	Aceita
Patos	2,800	1113,500	486,335	207,809	Aceita
Sousa	19,000	1039,200	512,500	211,665	Aceita

Pode-se observar que o posto do município de Cabaceiras teve o valor mínimo e o posto de Alhandra apresentou o valor de 359,5mm. Tanto para Cabaceiras, considerado o município que menos chove diante de mais de 5 mil municípios brasileiros, como para o posto de Alhandra, o que mais chove no Estado da Paraíba, os resultados da análise foram aceitos pelo teste Kolmogorov-Smirnov. Os valores máximos variaram de 410,8mm em Cabaceiras a 1621,5mm em Alhandra. Observa-se na Tabela 3 que o desvio padrão teve valor mínimo de 76,35 em Cabaceiras e valor máximo de 296,124 em Alhandra.

Na Tabela 4 observam-se os valores estatísticos calculados pelo método da krigagem para os 3 cenários, seco, regular e chuvoso.

Observam-se valores máximos no cenário seco de 760mm e aumentando para 831mm no cenário regular, e atingindo o valor máximo de 1.060mm no cenário chuvoso. Nos resultados observa-se que o desvio padrão da distribuição das chuvas varia entre 142,83mm no cenário seco, 368,95mm no cenário regular e 496,11mm no cenário chuvoso. Pode-se observar que o coeficiente de variação apresentou uma menor variação entre os resultados.

Tabela 4. Estatísticas calculadas utilizando a krigagem dos cenários pluviométricos dos anos secos, regulares e chuvosos

Variação (mm)	Cenário		
	Seco	Regular	Chuvoso
Mínimo	32,00	60,00	94,00
Mediana	290,00	409,00	540,00
Máxima	760,00	831,00	1.060,00
Média	269,54	49,82	75,96
Desvio Padrão	142,83	368,95	496,11
Coefficiente de Variação	0,52	0,49	0,46

No mapa de aptidão climática para a cultura do sorgo (Figura 8), cenário seco com 25% de probabilidade, observa-se o predomínio da classe de aptidão Inapta por deficiência hídrica acentuada

(C5) em 52,87% da área, representando 29.801,84 km², abrangendo parte da região do Agreste, Cariri, Curimataú e do Sertão.

Figura 8. Aptidão climática no cenário seco para a cultura do sorgo.

Tabela 5. Classes de aptidão climática para cultura do sorgo

Legenda	Aptidão climática	Cenário pluviométrico					
		Seco		Regular		Chuvoso	
		km ²	%	km ²	%	km ²	%
C1	Plena	2.625,34	4,65	16.859,34	29,91	4.911,60	8,71
C2	Plena com período chuvoso prolongado	1.464,30	2,60	6.240,24	11,07	9.578,46	16,70
C3	Moderada por excesso hídrico	225,21	0,40	2.342,71	4,16	18.345,58	32,64
C4	Moderada por deficiência hídrica	22.255,31	39,48	8.876,29	15,75	5.314,68	9,43
C5	Inapta por deficiência hídrica acentuada	29.801,84	52,87	22.052,92	39,11	18.221,68	32,52

A planta de sorgo se adapta a uma gama de ambientes, principalmente sob condições de deficiência hídrica, desfavoráveis à maioria dos outros cereais (Tardin et al., 2010). De acordo com Tabosa et al. (2002) vale salientar que a cultura do

sorgo é recomendada para o semiárido por se comportar como estratégica e alternativa, em face de suas características xerofílicas, o que provavelmente confere ao sorgo características de resistência ao estresse hídrico.

Observa-se que a classe de aptidão Moderada por deficiência hídrica (C4) ocorre em 39,48%, ocupando 22.255,31 km² da área do Estado (Tabela 5). Estas áreas ocorrem na região do Sertão do Estado e em parte do Agreste e Brejo. EMBRAPA (2012) evidencia que a cultura do sorgo é resistente a deficiência hídrica, mesmo nos anos considerados secos. Conforme Santos e Tardin (2010), a planta de sorgo se adapta a vários ambientes, principalmente a condições hídricas desfavoráveis e, portanto, a cultura é apta a se desenvolver em regiões em que a distribuição de chuvas é irregular.

No mapa de aptidão climática para a cultura do sorgo (Figura 8), observa-se que apresenta pequena área mapeada para a aptidão climática Moderada por excesso hídrico (C3), localizada no

Litoral com 225,21 km², representando 0,40% da área total. A classe de aptidão climática Plena com período chuvoso prolongado (C2) apresenta 1.464,30 km² representando 2,60% da área total, ocorre em quase toda a faixa Litorânea. A classe de aptidão Plena (C1), com 2.625,34 km² representando 4,65% da área total, ocorre nas regiões do Litoral e do Agreste.

No mapa de aptidão climática para a cultura do sorgo (Figura 9), cenário regular com 50% de probabilidade, observa-se o predomínio da classe de aptidão Inapta por deficiência hídrica acentuada (C5) em 39,12% da área, representando 22.052,92 km², (Tabela 5) abrangendo o Cariri e Curimataú, pequena área ao norte do Sertão com divisa com o Estado do Rio Grande do Norte.

Figura 9. Aptidão climática no cenário regular para a cultura do sorgo.

Observa-se que a classe de aptidão Moderada por deficiência hídrica (C4) ocorre em 15,75%, ocupando 8.876,79 km² da área do Estado (Tabela 5). Estas áreas ocorrem na região do Sertão do Estado entre o Planalto da Borborema e a depressão do Sertão e nos contrafortes em divisa com Pernambuco e na região ao norte com divisa com o Rio Grande do Norte; e em parte do Agreste ao sul e Brejo ao norte.

No mapa de aptidão climática para a cultura do sorgo (Figura 9), observa-se que apresenta área mapeada para a aptidão climática Moderada por excesso hídrico (C3) com 2.342,71 km², representando 4,16% da área total localizada

somente na região do Litoral do Estado, que de acordo com EMBRAPA (2012) pode apresentar condições pouco favoráveis devido ao excesso hídrico nessa região. Observa-se que a classe de aptidão climática Plena com período chuvoso prolongado (C2) com 6.240,24 km² representando 11,07% da área total, ocorre na faixa Litorânea entre as classes C3 e C1; e na região central do Sertão Paraibano. A classe de aptidão Plena (C1), com 16.859,34 km² representando 29,91% da área total, ocorre em faixa da região do Litoral e Agreste e na região do Brejo; e em quase todo o Sertão Paraibano.

No mapa de aptidão climática para a cultura do sorgo (Figura 10), cenário chuvoso com 75% de probabilidade, observa-se o predomínio da classe de aptidão Inapta por deficiência hídrica acentuada (C5) em 32,32% da área representando 18.221,68 km², (Tabela 5) sob o Planalto da Borborema nas regiões do Cariri e Curimataú.

De acordo com Landau e Sans (2010) embora seja uma cultura resistente a estresse hídrico, o sorgo também sofre efeito do déficit

hídrico, chegando a reduzir consideravelmente a produtividade quando submetido a estresse. O déficit hídrico tem influência direta na taxa fotossintética, a qual está associada diretamente com a produção de grãos. A perda de produtividade em função da exposição da cultura a déficit hídrico varia principalmente em função do estágio fenológico das plantas, do tempo de duração do estresse e do genótipo das plantas.

Figura 10. Aptidão climática no cenário chuvoso para a cultura do sorgo.

Observa-se que a classe de aptidão Moderada por deficiência hídrica (C4) ocorre em 9,43%, ocupando 5.314,68 km² da área do Estado (Tabela 5). Estas áreas ocorrem entre a região do Sertão do Estado, em áreas de divisa entre o planalto da Borborema; ao leste entre a região do Brejo e o Agreste nos contrafortes da Serra da Borborema.

No mapa de aptidão climática para a cultura do sorgo (Figura 10), observa-se que apresenta área mapeada para a aptidão climática Moderada por excesso hídrico (C3) com 18.345,58 km² representando 32,54% da área total localizada entre toda a região do Litoral do Estado e em pequena área de maiores altitudes próximo ao município de Areia região do Brejo; e ao oeste em toda a região Central do Sertão. No cenário chuvoso aumentam as áreas que podem apresentar problemas devido ao excesso de umidade.

Observa-se que a classe de aptidão climática Plena com período chuvoso prolongado (C2) com

9.578,46 km² representando 16,7% da área total, ocorre na faixa Litorânea entre as classes C3 e C1 na região do Agreste e Brejo em pequenas áreas; e na região do Sertão Paraibano ocorrendo entre os contrafortes do Planalto da Borborema e ao norte fazendo divisa com o Estado do Rio Grande do Norte.

A classe de aptidão Plena (C1), com 4.911,60 km² representando 8,71% da área total, tem o mesmo comportamento da classe de aptidão Plena, ocorrendo entre as classes C2 e C4.

De acordo com Landau e Martins Netto (2015), apesar do aumento considerável de área plantada com sorgo granífero nas últimas décadas, dada a tolerância da cultura ao estresse hídrico, é provável que ainda existam regiões com potencial de expansão de sorgo granífero. É o caso dos resultados encontrados neste trabalho.

Landau e Martins Netto (2015) recomendam que para estimular o desenvolvimento sustentável do plantio de sorgo nas áreas identificadas neste

trabalho, assim como nas áreas plantadas atualmente, precisará levar em conta diversos aspectos relacionados com o plantio da cultura, no intuito de maximizar vantagens e minimizar prejuízos futuros, considerando estratégias para minimizar o uso indiscriminado de agrotóxicos, controlar a erosão do solo, estimular a rotação de culturas, além de promover a adoção de práticas tecnicamente apropriadas, ambientalmente corretas, economicamente viáveis e socialmente aceitáveis, e que contribuam para a manutenção da sustentabilidade.

Conclusão

O uso do modelo probabilístico distribuição Gama incompleta e do teste de Kolmogorov-Smirnov apresentaram boa coerência nos dados trabalhados.

Os elementos climáticos foram determinantes para o cálculo dos balanços hídricos e a definição dos cenários pluviométricos.

Com o uso do método geoestatístico de interpolação de dados pela Krigagem foi possível mapear os cenários pluviométricos do sorgo apresentando resultados satisfatórios na geoespacialização.

As áreas com aptidão Inapta por deficiência hídrica acentuada ocorrem sobre o Planalto da Borborema nos cenários seco, regular e chuvoso.

As áreas com aptidão Moderada por deficiência hídrica diminuem muito em área conforme a probabilidade da precipitação aumenta nos cenários regular e chuvoso.

A classe de aptidão Plena com período chuvoso prolongado para a cultura do sorgo ocorre no cenário chuvoso nos contrafortes do Planalto da Borborema e na depressão do Rio Piranhas.

A classe de aptidão climática Moderada por excesso hídrico ocorre em maior área no cenário chuvoso.

A classe Plena ocorre em maior área no cenário regular.

Agradecimentos

Ao CNPq/Fapesq pela bolsa de pesquisa ao primeiro autor.

Referências

Arraes, F.D.D.; Lopes, F.B.; Souza, F. de; Oliveira, J.B. de. 2009. Estimativa do balanço hídrico para as condições climáticas Iguatu, Ceará, usando modelo estocástico. *Brasileira de Agricultura Irrigada* 3, 78–87.

Assis, F.N.; Arruda, H.V. de; Pereira, A.R. 1996. Aplicações de estatística à climatologia: teoria e prática. UFPel, Pelotas, 161p.

Azevedo, D.M.P. de; Lima, E.F. 2001. O agronegócio da mamona no Brasil. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, cap.3, 63-76.

Bettini, C. 2007. Conceitos básicos de geoestatística. In: Meirelles, M.S.P.; Câmara, G.; Almeida, C.M. (Ed.). *Geomática: modelos e aplicações ambientais*. Brasília: Embrapa, 193-234.

Botelho, V.A.V.A.; Morais, A.R. 1999. Estimativas dos parâmetros da distribuição gama de dados pluviométricos do município de Lavras, estado de Minas Gerais. *Ciência e Agrotecnologia* 23, 697-706.

Cargnelutti Filho, A.; Matzenauer, R.; Trindade, J.K. da. 2004. Ajustes de funções de distribuição de probabilidade à radiação solar global no Estado do Rio Grande do Sul. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 39, 1157-1166.

Cavalcanti, E.P.; Silva, V. de P.R.; Sousa, F. de A.S. 2006. Programa computacional para a estimativa da temperatura do ar para a Região Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 10, 140-147.

EMBRAPA. 2012. Aptidão climática do Estado de Alagoas para culturas agrícolas. Relatório Técnico. Convênios SEAGRI-AL/Embrapa Solos n.10200.04/0126-6 e 10200.09/0134-5. Recife: Embrapa Solos, 86p.

Francisco, P.R.M. 2010. Classificação e mapeamento das terras para mecanização do Estado da Paraíba utilizando sistemas de informações geográficas. 122f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água). Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba. Areia.

Francisco, P.R.M.; Medeiros, R.M. de; Santos, D.; Matos, R.M. de. 2015. Classificação Climática de Köppen e Thornthwaite para o Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física* 8, 1006-1016.

Francisco, P.R.M.; Medeiros, R.M.de; Matos, R. M. de; Santos, D. Sousa, T.P. de. 2015b. Análise e mapeamento da evaporação para o estado da Paraíba. *Agropecuária Científica no Semi-Árido* 11,111-121.

Francisco, P.R.M.; Pereira, F.C.; Bandeira, M.M.; Medeiros, R.M. de Silva, M.J. da; Silva, V. do N. 2013. Mapeamento pedoclimático da cultura da mamona no estado da Paraíba. *Revista de Geografia* 30, 132-145.

Francisco; P.R.M.; Medeiros; R.M. de; Matos, R.M. de; Bandeira, M. M.; Santos; D. 2015a. Análise e Mapeamento dos Índices de Umidade, Hídrico e Aridez através do BHC para o Estado

- da Paraíba. Revista Brasileira de Geografia Física 8, 1093-1108.
- Francisco; P.R.M.; Mello, V. da S.; Bandeira, M.M.; Macedo, F.L. de; Santos; D. 2016. Discriminação de cenários pluviométricos do Estado da Paraíba utilizando distribuição Gama incompleta e teste Kolmogorov-Smirnov. Revista Brasileira de Geografia Física 9, 1206-1216.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2009. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 12 de março de 2011.
- Isaaks, E.H.; Srivastava, R.M. 1989. An introduction to applied geostatistics. New York: Oxford University Press, 561p.
- Jakob, A.A.E. 2003. Análise sócio demográfica da constituição do espaço urbano da Região Metropolitana da Baixada Santista no período 1960-2000. Tese (Doutorado em Demografia). Programa de Pós-Graduação em Demografia. Instituto de Filosofia e Ciências Humanas. Universidade Estadual de Campinas. Campinas.
- Landau, E.C.; Martins Netto, D.A. 2015. Expansão Potencial da Produção de Sorgo Granífero no Brasil no Sistema de Rotação com Soja Considerando o Zoneamento de Risco Climático 2015/16. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. 27p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento/Embrapa Milho e Sorgo).
- Landau, E.C.; Sans, L.M.A. 2010. Cultivo do Sorgo. Clima. Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de Produção, 2. Versão Eletrônica, 6ª edição. Set./2010. Disponível em: http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo_6_ed/cultivares.htm. Acesso em: 17 de março de 2016.
- MAPA. 2014. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Sistema Integrado de Legislação. BINAGRI SISLEGIS. Portaria 233/2014 de 24/11/2014. Disponível em: <http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/acao/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalMapa&chave=304999056>. Acesso em: 16 de março de 2016.
- Massey Jr, F.J. 1980. The Kolmogorov-Smirnov test of goodness of fit. Journal of American Statistical Association 46, 68-78.
- Mielke, P.W. 1976. Simple iterative procedures for two-parameter gamma distribution maximum likelihood estimates. Journal of App. Meteorology 15, 181-183.
- Moreira, P.S.P.; Dallacort, R.; Magalhães, R.A.; Inoue, M.H.; Stieler, M.C.; Silva, D.J. da; Martins, J.A. 2010. Distribuição e probabilidade de ocorrência de chuvas no município de nova Maringá-MT. Revista de Ciências Agro-Ambientais 8, 9-20.
- PARAÍBA. 2006. Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente. Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba, AESA. PERH-PB: Plano Estadual de Recursos Hídricos: Resumo Executivo e Atlas. Brasília, DF, 112p.
- Santos, F.G. dos; Tardin, F.D. 2010. Cultivo do Sorgo. Cultivares. Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de Produção, 2. Versão Eletrônica 6ª edição. Set./2010. Disponível em: http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo_3_ed/cultivares.htm. Acesso em: 17 de março de 2016.
- Silva, R.M. da; Silva, L.P.; Montenegro, S.M.G.L.; Santos, C.A.G. 2010. Análise da variabilidade espaço-temporal e identificação do padrão da precipitação na Bacia do Rio Tapacurá, Pernambuco. Sociedade & Natureza 22, 357-372.
- Tabosa, J.N. Reis, O.V. dos; Brito, A.R.M.B.; Monteiro, M.C.D.; Simplício, J.B.; Oliveira, J.A.C. de; Silva, F.G. DA; Neto, A.D.A.; Dias, F.M.; Lira, M.A.; Filho, J.J.T.; Nascimento, M.M.A. do; Lima, L.E. de; Carvalho, H.W.L. de; Oliveira, L.R. de. 2002. Comportamento de cultivares de sorgo forrageiro em diferentes ambientes agroecológicos dos Estados de Pernambuco e Alagoas. Revista Brasileira de Milho e Sorgo 1, 47-58.
- Tardin, F.D.; Rodrigues, J.A.S.; Coelho, R.R. 2010. Cultivo do Sorgo. Cultivares. Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de Produção, 2. Versão Eletrônica 6ª edição. Set./2010. Disponível em: http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo_6_ed/cultivares.htm. Acesso em: 17 de março de 2016.
- Thom, H.C.S. 1958. A note on the gama distribution. Monthly Weather Review 86, 117-122.
- Thornthwaite, C.W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. Geographic Review 38, 55-94.
- Thornthwaite, C.W.; Mather, J.R. 1955. The water balance. Publications in Climatology. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 104p.
- Varejão-Silva M.A.; Braga, C.C.; Aguiar M.J.N.; Nietzsche M.H.; Silva, B.B. 1984. Atlas Climatológico do Estado da Paraíba. UFPB, Campina Grande.
- Varejão-Silva, M.A.; Barros, A.H.C. 2001. Zoneamento de aptidão climática do Estado de Pernambuco para três distintos cenários pluviométricos. Recife: COTEC/DATA AGROS/SPRRA-PE, 38p. (Relatório Técnico).

Vieira, J.P.G.; Souza, M.J.H. de; Teixeira, J.M.;
Carvalho, F.P. de. 2010. Estudo da precipitação
mensal durante a estação chuvosa em

Diamantina, Minas Gerais. Revista Brasileira
de Engenharia Agrícola e Ambiental 14, 762-
767.