

Características da estação chuvosa em Moçambique e probabilidade de ocorrência de períodos secos

Characteristics of the rainy season in Mozambique and probability of dry spells occurrence

Odete Amélia de Amílcar Macie e Edmilson Dias de Freitas

odete.macie@gmail.com

Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas – Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil

Resumo

O presente estudo tem como objetivo determinar o início e fim da estação chuvosa em Moçambique e analisar a probabilidade de ocorrência de períodos secos significativos durante a mesma. Para tal foram usados dados de precipitação diária observada durante o período entre 1980 e 2012, em 22 estações do Instituto Nacional de Meteorologia de Moçambique (INAM), espalhadas pelo país. Agruparam-se as estações com mesmas características, em termos de regime intrasazonal de precipitação, usando a análise de Cluster, sendo encontradas três regiões homogêneas. A partir disso, os dados diários de precipitação foram transformados em pântadas e posteriormente determinaram-se os limiares que serviram de base para definir as condições secas ou úmidas. Os resultados mostram que as datas de início e fim da estação chuvosa em Moçambique variam de uma região para outra, podendo começar a partir do final de agosto até setembro (nas pântadas 48 a 50) e terminar entre abril e junho. A probabilidade de ocorrência de períodos secos tem aumentado durante as fases de transição da estação chuvosa para seca em todo o país.

Palavras-chave: Estação chuvosa, períodos secos, análise de clusters.

Abstract

The aim of this study is to determine the start and ending dates of the rainy season in Mozambique and analyze the probability of occurrence of significant dry periods, known as dry spells, during the rainy season. Daily precipitation data from 22 meteorological stations from the National Institute of Meteorology of Mozambique (INAM) distributed along the country were used for the period ranging from 1980 to 2012. The stations with the same characteristics in terms of intra seasonal regime of precipitation were clustered, by using the cluster's analysis, and three homogeneous regions were found. From there, daily precipitation data were transformed in pentads and after that, thresholds that served as base to define the dry and wet conditions were determined. The results show that the date of start and ending of the rainy season in Mozambique varies from region to region and it can begin at the end of August through September (pentads 48 and 50) and finish between April to June. The probability of occurrence of dry period has increased during the transition phases of the rainy season all over the country.

Keywords: Wet Season, dry periods, clusters analysis.

1 Introdução

A disponibilidade hídrica de uma região é uma das condições mais importantes, muitas vezes crucial, para a prática de qualquer atividade. Isto ocorre devido à maioria das atividades humanas exigirem a utilização de recursos hídricos para garantir a sua sustentabilidade. Dentre estas atividades, destacam-se a produção de energia elétrica, com o uso de hidroelétricas, a área de saneamento e, não menos importante, a área agrícola para a produção de alimentos e matéria prima. Entretanto, a mesma disponibilidade hídrica torna-se dependente das condições atmosféricas locais, regionais e até mesmo globais, que geram a precipitação. Dependendo da região, a precipitação pode ocorrer bem distribuída ao longo do ano, mas em outros casos é dividida em longos períodos, que são geralmente denominadas como estação seca e estação chuvosa.

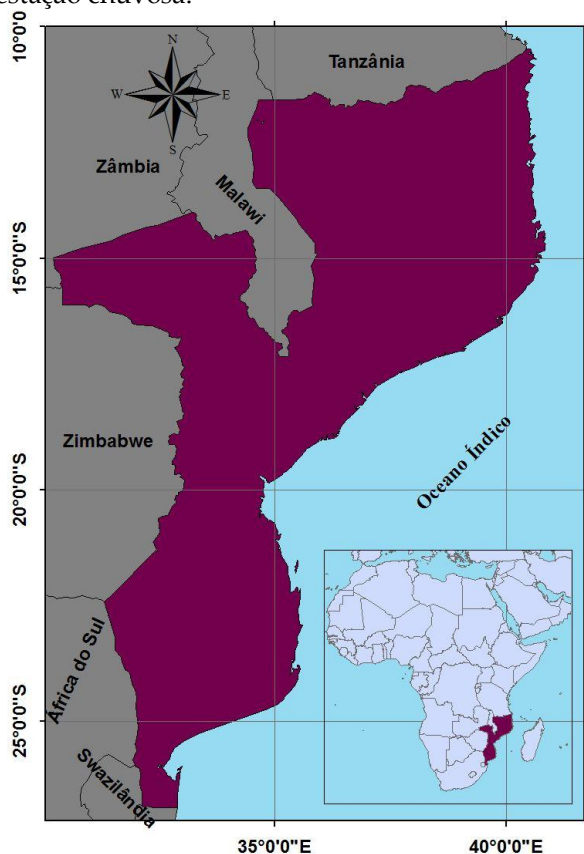


Figura 1: Localização da área de estudo.

Muitos estudos foram desenvolvidos para determinar as datas de início e fim da estação chuvosa em várias partes do mundo (Virmani,

1975, Kousky, 1988, Sansigolo, 1989, Freitas, 1998, Marengo et al., 2001, Garcia e Kayano, 2011, Angelo, 2011). Entretanto, Moçambique é um país cuja distribuição da precipitação ainda não foi bem estudada, sendo a ocorrência de eventos extremos, tais como secas prolongadas e enchentes durante o verão, responsáveis por consequências negativas para a sociedade, tais como o desalojamento de famílias, devido às enchentes, e a perda de vidas humanas e animais. O mesmo também se reflete em diversas áreas econômicas, como a agricultura, com perdas de safras por déficit hídrico ou por excesso de chuva por enchentes, a gestão hídrica e outras áreas dependentes do regime de precipitação. O regime de precipitação de Moçambique é influenciado por ciclones tropicais formados na bacia do sudoeste do oceano Índico durante o verão, sistemas de baixa pressão sobre o continente, frentes frias, Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), monção da Índia, Anticiclones dos oceanos Atlântico e Índico e El Niño/Oscilação Sul.

Este trabalho teve como objetivo estudar a variabilidade do regime de precipitação em Moçambique, definindo as datas de início e fim da estação chuvosa e a probabilidade de ocorrência de períodos secos dentro da estação chuvosa aplicando a metodologia usada por Freitas (1998) e Angelo (2011).

2 Dados e Metodologia

Os dados utilizados neste trabalho são de precipitação diária, disponíveis no período de 1980 a 2012, observados em 22 estações meteorológicas distribuídas em todo o país (Figura 1) e foram fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia de Moçambique (INAM). Esses dados foram transformados em séries com totais acumulados em cinco dias, ou seja, em pântadas, para trabalhar com um número reduzido de dados. Assim como em Freitas (1998), essas pântadas são calculadas sem sobreposição de datas, de 01 de janeiro a 31 de dezembro de cada ano, obtendo-se uma série temporal anual de comprimento igual a 73 pântadas. Para os anos bissextos, o dia 29 de fevereiro é

incluído na 12ª pântada, sendo que o valor da precipitação neste caso é o total acumulado em seis dias, assim como em Kousky (1988), Freitas (1998) e Angelo (2011). Para analisar a variabilidade intrasazonal foram determinadas regiões homogêneas de acordo com a variabilidade da precipitação usando o método de agrupamento através da análise de Cluster, através dos valores acumulados mensais de precipitação, baseados nos dados de precipitação diária observados. A análise de cluster consiste em colocar no mesmo grupo objetos que tenham características similares de acordo com o método pré-definido (Linden, 2009). Normalmente, o método é baseado numa função de similaridade, envolvendo duas amostras e retornando uma “distância” entre elas. Neste estudo foi usada a distância Euclidiana, que consiste em determinar a distância entre os pontos num espaço multidimensional. Para saber quando dois clusters são suficientemente similares para estarem no mesmo grupo, foi usada o método de Ward, que consiste em uma análise aproximada da variância para a determinação das distâncias entre os Clusters (Freitas, 1998, Angelo, 2011), conforme a Equação 1.

$$d_{(x,y)} = \sqrt{\sum_i^n (x_i - y_i)^2}. \quad (1)$$

Na equação 1, d representa a distância entre duas amostras/séries (x e y), i representa o índice de cada um dos pontos/instantes da série x ou y e n é o número total das amostras.

A Figura 2 ilustra os clusters obtidos, definidos pela distância escolhida para o corte (2250) considerada como a distância indicada pela linha vermelha. A análise de cluster feita nas 22 estações resultou em 3 grupos homogêneos que definem a divisão do país em 3 regiões, de acordo com as características da precipitação. A primeira região é composta pelas estações da zona norte e mais duas do centro do país, as quais são vizinhas das províncias do norte. A segunda região é composta pelas estações restantes da zona central e, por fim, a última região é composta por todas estações que fazem parte da região sul de Moçambique, como se pode verificar na Figura 3.

Depois de transformar a série original de dados em pântadas, foram determinadas as séries da precipitação médias suavizadas (figura 4) para cada região com finalidade de obter a distribuição Gama, na qual foram extraídos os limiares que permitem definir os períodos secos ou chuvosos, usando o mesmo procedimento do Freitas (1998) e Angelo (2011) que consiste em:

- Calcular as precipitações médias para cada pântada do ano, num total de 73 valores, ao longo dos 33 anos da série em estudo;
- em seguida obtém-se as medianas móveis de 5 elementos, a partir dos valores médios, o que significa que cada conjunto de 5 elementos foi colocado em ordem crescente e o terceiro maior valor deste conjunto é considerado como mediana;
- do mesmo modo, calcularam-se as medianas móveis de 3 elementos dessa nova série;
- finalmente, foi feita uma suavização da série através da aplicação do Filtro de Hann, com o objetivo de atenuar as oscilações de alta frequência da série de dados em estudo (equação 2):

$$P(k) = \frac{S(k-1)}{4} - \frac{S(k)}{2} + \frac{S(k+1)}{4} \quad (2)$$

Após a definição das regiões homogêneas e dos limiares para cada série foram determinadas as datas de início e fim da estação chuvosa de cada região. Existem vários métodos estudados por diferentes autores sobre o início e fim da estação chuvosa, como, por exemplo, o método usado por Virmani (1975) e Marengo et al. (2001), em que utilizaram a precipitação acumulada com base em um certo valor limiar. Alguns autores, além de usar um valor limiar da precipitação, preferiram escolher uma data do início das chuvas. Este foi o caso de Sansigolo (1989) que determinou o início da estação chuvosa como sendo o primeiro dia após 01 de setembro, com 20 mm acumulados em 1 ou 2 dias consecutivos e condicionados à não ocorrência de 10 dias secos nos 30 dias seguintes. O fim das chuvas também acontecia após uma data de referência (30 de janeiro), para São Paulo, usando dados diários o autor verificou que, em

média, a estação chuvosa começa entre os dias 27 de setembro e 12 de outubro (pêntadas 51 a 54) e termina no dia 04 de março (pêntada 13).

Sugahara (1991) e D'Almeida (1997), além de se basearem em um valor limite de precipitação, também definiram uma data de referência para o início da estação chuvosa: a partir da pêntada 37, que está dentro da estação seca. A pêntada de início seria a primeira na qual ocorresse precipitação média maior ou igual a 2 mm/dia (10 mm na pêntada), e que não fosse seguida por uma sequência de 3 pêntadas com precipitação média menor ou igual a 3 mm/dia. O fim da estação chuvosa foi determinado de maneira semelhante. No presente estudo, os critérios para as datas de início e fim da estação chuvosa foram

definidos como em Freitas (1998) e Angelo (2011) que optaram em usar o método similar ao de Sugahara (1991) e D'Almeida (1997). Entretanto, alteraram-se os critérios com relação às datas de referência, a partir da qual a estação chuvosa poderia começar ou terminar. Sendo assim, os critérios para a data de início neste estudo são:

- A primeira ocorrência, a partir de agosto, de pêntada com precipitação maior ou igual ao percentil 5 da distribuição Gama, obtido da ordenação das precipitações médias suavizadas;
- A condição (a) deve ser seguida pela ocorrência de um conjunto de três pêntadas consecutivas, cuja média das precipitações é maior que o valor correspondente ao percentil 15.

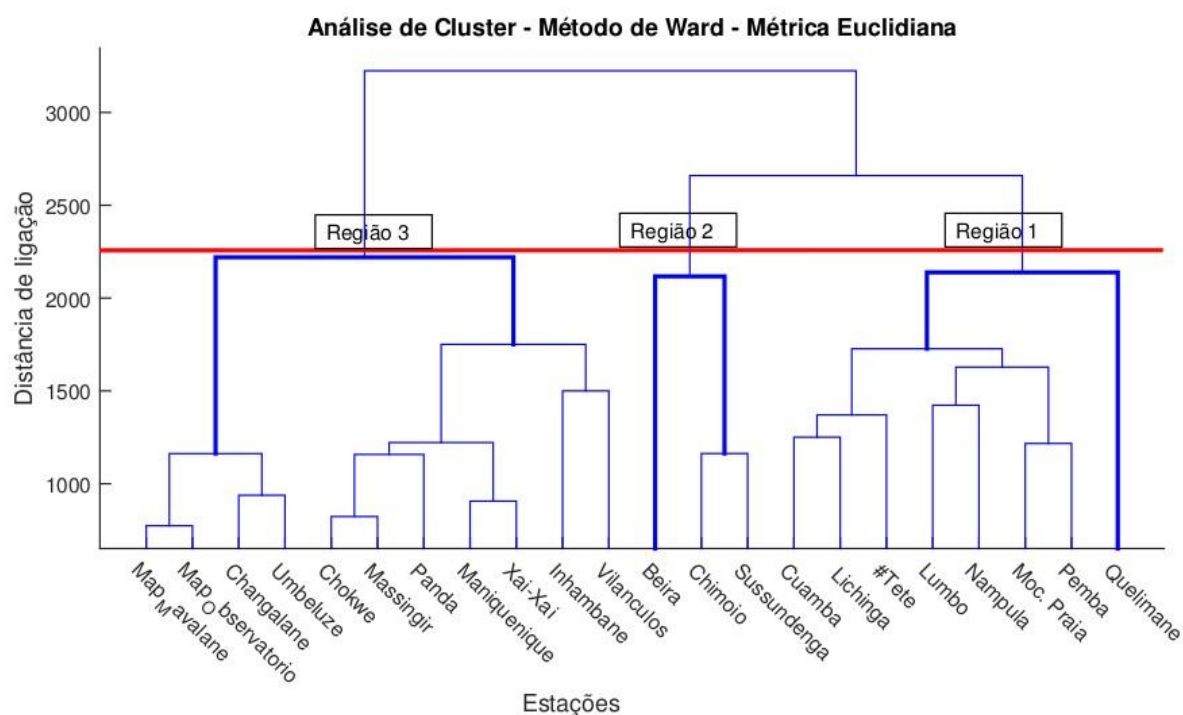


Figura 2: Dendrograma com as 3 regiões homogêneas quanto ao regime de precipitação, obtido com a técnica das distâncias euclidianas e com o método de Ward.

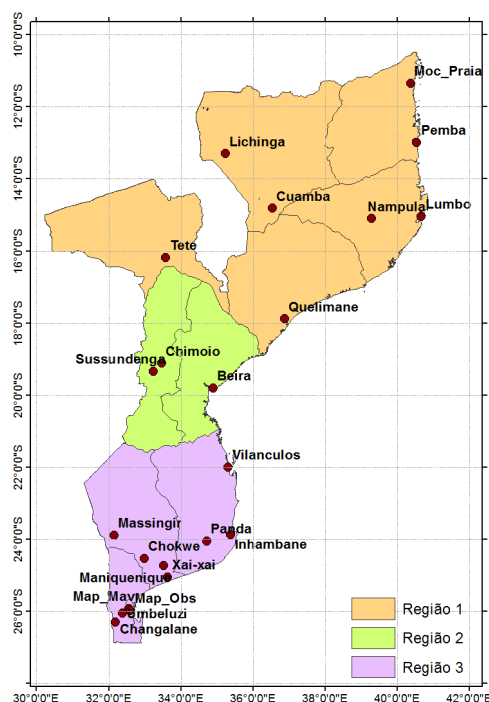


Figura 3: Regiões homogêneas e suas respectivas estações meteorológicas.

Para a data de fim da estação chuvosa, os critérios são:

a) A primeira ocorrência, a partir de março, de um conjunto de três pântadas consecutivas cuja média das precipitações é menor ou igual ao valor correspondente ao percentil 15. Nesse caso, a primeira das três pântadas será o final da estação chuvosa;

b) A condição (a) deve ser seguida por um conjunto de três pântadas consecutivas cuja média das precipitações é menor que o valor correspondente ao percentil 5. Para determinar a probabilidade de ocorrência de período seco foi usada como limiar o valor do percentil 5 para cada região, onde se considerou que toda a pântada com precipitação inferior ao percentil 5 é considerada como pântada seca.

Para determinar a probabilidade de ocorrência de períodos secos, foi usada a série pentadal de cada região, usada para determinar o início e fim da estação chuvosa, e foram consideradas pântadas secas, todas as pântadas com valor de precipitação inferior ao limiar P5 correspondente a cada região definida anteriormente. Em seguida foi calculada a probabilidade de ocorrência de 1, 2, 3 e 6 pântadas secas consecutivas em 30 dias,

começando por uma pântada qualquer do ano, usando a equação 3.

$$P_n = \frac{N_{ns}}{n_p * N} \quad (3)$$

Onde, P_n é a probabilidade de ocorrência de 1, 2, 3 e 6 pântadas secas consecutivas em 30 dias começando a contagem a partir da pântada n ; n define a pântada do início da contagem e toma valores entre 1 e 73; N_{ns} é o número total de ocorrência de ns pântadas secas; ns define as pântadas secas seguidas em questão; ele toma valores (1, 2, 3 e 6); n_p é o número de possibilidade de ocorrência de ns consecutivas em 6 pântadas (30 dias) e N é o número de anos da série em estudo.

3 Resultados

De acordo com a Tabela 1 é possível notar que as datas de início e fim da estação chuvosa variam de região para região, sendo que há casos em que a estação chuvosa inicia bem cedo e outros casos tem início tardio. O mesmo acontece com o fim estação chuvosa. De modo geral, observa-se que para todas as regiões há sempre um ou mais casos de interrupções da estação chuvosa, sendo esta condição favorável a quebras de produtividade ou mesmo de toda a safra, dependendo da sensibilidade de algumas culturas que dependem puramente do regime de precipitação (Sivakumar, 1992), principalmente nas fases mais críticas de desenvolvimento. Foram observadas interrupções na maioria dos anos, sendo na região 1 nos anos 1980, 1984, 1987, 1988, 1989, 1993, 1994, 1997 (duas interrupções) e 1994, e na região 2 nos anos 1980, 1981 (duas interrupções), 1983, 1984, 1987, 1990 (duas interrupções), entre 1993 e 2000, e entre 2002 e 2004 e, por fim, a região 3, nos anos 1982, 1994, 2001, apresentaram 2 interrupções no mesmo ano e uma interrupção nos anos 1980/1981, 1985, entre 1990 e 1998, 2001, 2002 e 2005. Notou-se também uma certa influência dos fenômenos El Niño e La Niña na variabilidade do período chuvoso em todas as regiões. De todas as regiões a que apresentou menos interrupções foi a região 1, com 9 interrupções, seguida da região 3 com 16 e por fim a região 2 com 18

interupções. Em termos médios a estação chuvosa começa na pântada 54 com o desvio de 5 pântadas e termina na pântada 24 com o desvio de 4 pântadas na região 1. Na região 2 começa na pântada 49 com desvio de 8 pântadas e termina na pântada 26 com desvio de 4 pântadas. Finalmente, a região 3 que teve o

seu início na pântada 50 com o desvio de 8 pântadas e o fim na pântada 24 com desvio de 3 pântadas. Em todo caso as regiões 1, 2 e 3 tiveram o seu início da estação chuvosa no final do mês de agosto ou final de setembro, e seu término no final de abril e início de maio.

Tabela 1: Datas de início e fim da estação chuvosa para as três regiões homogêneas quanto ao regime intrasazonal de precipitação e os seus respectivos limiares (percentis).

Regiões Homogêneas	Início	1ª Interrupção	2ª Interrupção	Fim	Percentis (mm)
Região 1	54 ± 5	$55,0 \pm 4,4$	$61,0 \pm 2,0$	24 ± 4	P5 = 1,0; P15 = 2,0
Região 2	49 ± 8	$51,0 \pm 6,5$	$55,2 \pm 2,8$	26 ± 3	P5 = 3,0; P15 = 3,5
Região 3	50 ± 8	$51,0 \pm 5,8$	$58,8 \pm 3,0$	24 ± 3	P5 = 2,6; P15 = 3,7

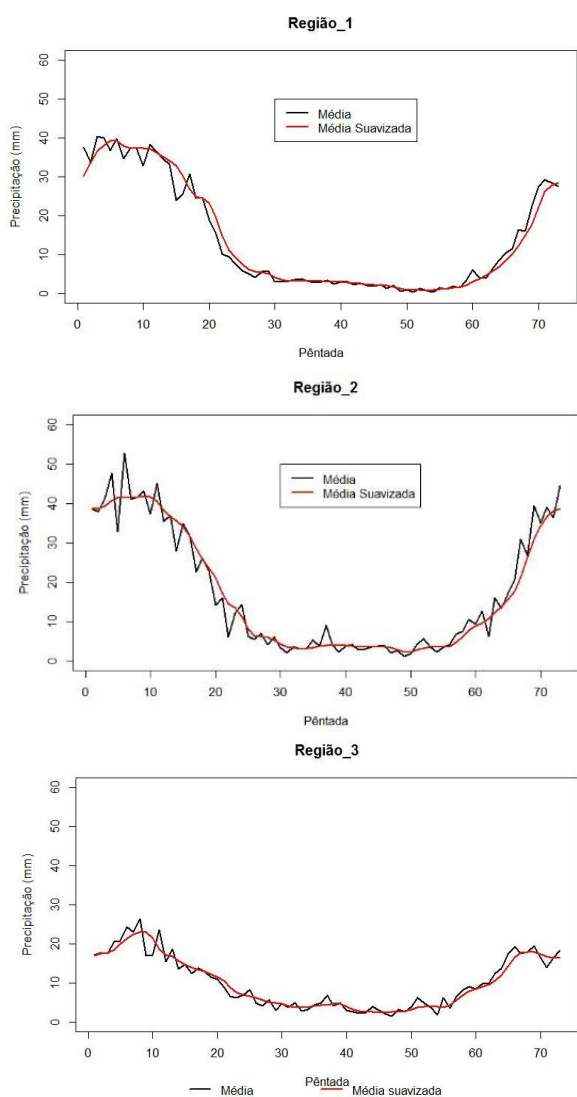


Figura 4: Comparação entre as séries médias e as séries suavizadas obtidas para cada região homogêneas.

A Figura 5 ilustra as probabilidades de ocorrência de n pântadas secas seguidas para uma pântada qualquer do ano nas regiões homogêneas anteriormente definidas. De modo geral, pode-se notar um comportamento similar entre as regiões quanto à distribuição das probabilidades. Obviamente, a maior probabilidade em todos os casos é da ocorrência de uma pântada seca (5 dias secos) e a menor é da ocorrência de 6 pântadas secas (30 dias secos) durante todo ano, verificando-se os máximos de probabilidade no inverno. O máximo de probabilidade na região 1 é observado entre as pântadas 48 e 52, com o valor de cerca de 80% para probabilidade de ocorrência de 1 pântada seca, 59% para 2 pântadas secas consecutivas, 53% para 3 pântadas secas consecutivas e de 25% para 6 pântadas secas consecutivas. As regiões 2 e 3 apresentaram a mesma característica de probabilidade, sendo verificado para ambos os casos, picos de probabilidades durante o outono e outro pico no final do inverno, comportamento este que não se verificou para região 1. Em termos de valores máximos de probabilidades na região 2, estes variaram entre 22 a 75% entre as pântadas 40 e 49. Para a região 3 oscilaram entre 80 a 31% entre as pântadas 43 a 55.

4 Conclusões

As datas do início e fim da estação chuvosa variam de acordo com a região. A estação chuvosa em Moçambique começa mais cedo nas regiões sul e centro, entre as pântadas 49 e 50 (finais de agosto início de setembro) e mais tarde na região norte, onde iniciam na pântada 54 (finais de setembro a início de outubro).

As probabilidades das regiões homogêneas ilustram claramente que a região 1 é menos

vulnerável a períodos secos entre os meses de janeiro a abril e de outubro a dezembro, com probabilidades que variam de 0 a 20% de probabilidade de ocorrência de pântadas secas. Esta situação é bem diferente nas outras regiões, pois as mesmas superam esse intervalo chegando até aos 30% de probabilidade de ocorrência de pântadas secas. Finalmente, é notório que a região 3 é a região mais propensa a ocorrência de períodos secos, conforme pode ser visto na figura 5.

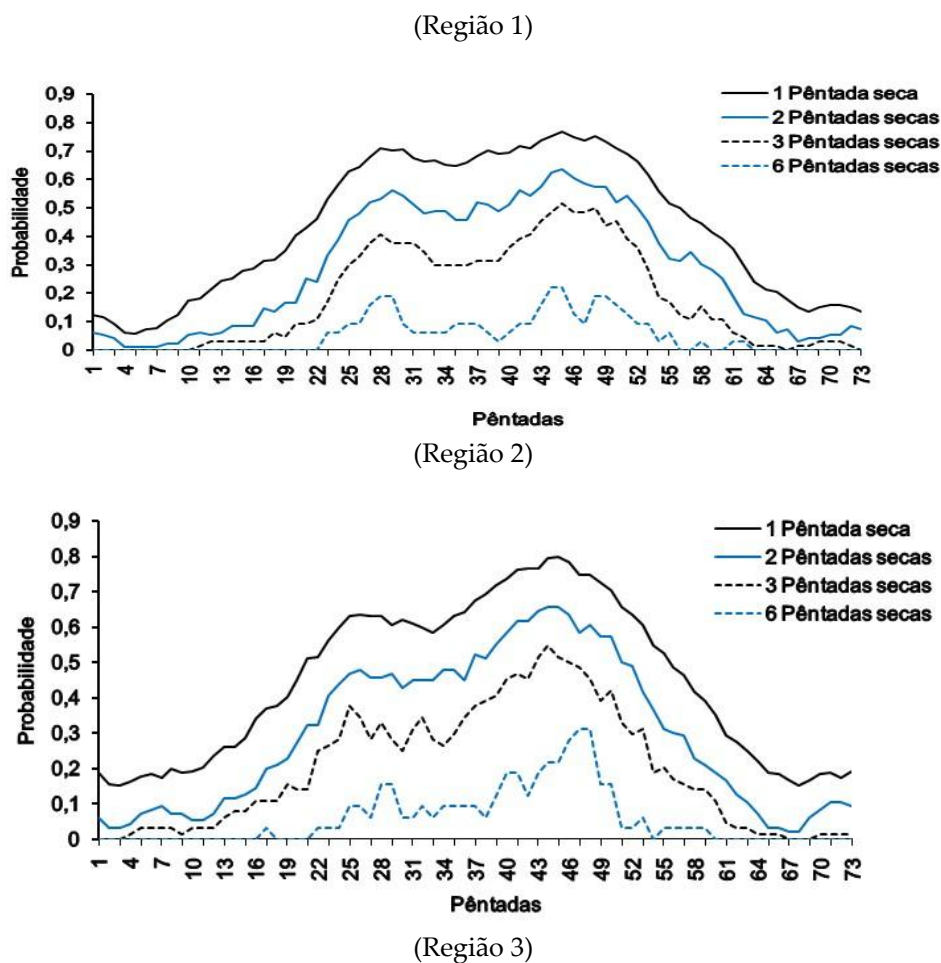


Figura 5: Probabilidade de ocorrência de 1, 2, 3 e 6 pântadas secas consecutivas em 30 dias seguintes a uma determinada pântada em cada região.

Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES pela bolsa de estudos da primeira autora e pelos recursos financeiros concedidos através do PROEX para a divulgação desta pesquisa. Também, ao

Instituto Nacional de Meteorologia de Moçambique (INAM) pelos dados fornecidos.

Referências

Angelo, A. (2011). Determinação da probabilidade de ocorrência de períodos secos nas zonas produtoras de cana-de-açúcar no estado de São Paulo. Dissertação de Mestrado em Meteorologia, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

D'Almeida, C. (1997). Oscilações intrasazonais de precipitação na estação chuvosa em São Paulo e condições atmosféricas associadas. Dissertação de Mestrado, Instituto Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo, São Paulo

Freitas, E. D. (1998). Variabilidade sazonal e intrasazonal da precipitação no estado do Paraná. Dissertação de Mestrado, Instituto Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 133p.

Garcia, S. R., Kayano, M. T. (2011). Moisture and heat budgets associated with the South American monsoon system and the Atlantic ITCZ. *International Journal of Climatology*, 31(14), 2154–2167.

Kousky, V. E. (1988). Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South American sector. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 3(1), 217–231.

Linden, R. (2009). Técnicas de agrupamento. *Revista de Sistemas de Informação da FSMA*, (4), 18–36.

Marengo, J. A., Liebmann, B., Kousky, V. E., Filizola, N. P., Wainer, I. C. (2001). Onset and end of the rainy season in the Brazilian Amazon basin. *Journal of Climate*, 14(5), 833–852.

Sansigolo, A. (1989). Variabilidade interanual da estação chuvosa em São Paulo. *Climanálise*, 4(9).

Sivakumar, M. (1992). Empirical analysis of dry spells for agricultural applications in West Africa. *Journal of Climate*, 5(5), 532–539.

Sugahara, S. (1991). Flutuações interanuais, sazonais e intrasazonais de precipitação no estado de São Paulo. Tese de Doutorado, Instituto Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Virmani, S. (1975). The Agricultural Climate of the Hyderabad Region in Relation to Crop Planning (a Sample Analysis). ICRISAT

~~~~~