



UTILIZAÇÃO DE PROJEÇÕES CLIMÁTICAS REGIONAIS PARA DETERMINAR EVENTOS DE SECA BASEADOS NO Z-INDEX

Diego Simões Fernandes¹
Alexandre Bryan Heinemann²

¹Sistema de Meteorologia e Hidrologia do Estado de Goiás (SIMEHGO)
Rua 82 s/nº, Palácio Pedro L. Teixeira, 2º Andar, Setor Sul, Goiânia (GO), Brasil - CEP 74088-900
diegosifer@cnpaf.embrapa.br

²Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (EMBRAPA-CNPAF)
Rodovia GO 462, km 12, Zona Rural, Santo Antônio de Goiás (GO), Brasil - CEP 75375-000
alexhb@cnpaf.embrapa.br

Abstract: The objective this study was to identify and characterize homogeneous environments based on the probability of drought/wet occurrence in central-northern Brazil. For that it was used the drought index denominated moisture anomaly Z-index (Z-index). The climate data used for Z-index was generated by a regional climate model, RegCM3, v.3, for the period from 1975 to 1989. Based on cluster analyze results it was identified 13 different homogeneous environments in the study area. These environments were characterized based on drought/wet probability, relative density of drought/wet occurrence, annual rainfall variability and drought probability occurrence during the rainy season (October to March). Mato Grosso State showed the highest number of environments and environment 11, located at southwest of this State showed the highest probability of drought occurrence, 9%. The environment 10, located at Goiás extreme east of State, showed the lowest median for the total annual rainfall. The normal or normality moisture is the c event with highest probability of occurrence in the study area.

Resumo: O objetivo desse estudo foi identificar e caracterizar ambientes homogêneos baseado na ocorrência de eventos seca/umidade na região centro-norte do Brasil. Para isso utilizou-se o índice quantitativo de seca conhecido como Anomalia de Umidade de Palmer (Z-index). Os dados climáticos utilizado por esse índice para quantificar os eventos seca/umidade foram simulados pelo modelo regional climático RegCM3 (*Regional Climate Model – version 3*), para o período de 1975 a 1989. Por meio de análise de agrupamento foram identificados 13 diferentes ambientes homogêneos na área de estudo. Esses diferentes ambientes homogêneos foram caracterizados por meio da probabilidade de ocorrência de eventos de seca/umidade, densidade relativa destes eventos, variabilidade da precipitação anual e a probabilidade de ocorrência de seca na época do período chuvoso (outubro a maio). O estado do Mato Grosso apresentou o maior número de ambientes homogêneos e a região sudoeste desse estado, ambiente 11, obteve-se a maior probabilidade de ocorrência de eventos extremamente seco, 9%. O ambiente 10, localizado no extremo leste de Goiás, teve a menor mediana para a precipitação anual. O evento climático com maior probabilidade de ocorrência na região de estudo é o próximo ao normal ou normalidade de umidade.

1- Introdução

O Brasil é afetado anualmente por diversos fenômenos climáticos, entre eles, a seca se destaca por ser um dos que mais causam prejuízos dentre os vários setores da atividade humana. Não existe uma definição universal para definir o fenômeno seca (Dracup et al, 1980; Redmond, 2002; Heim Junior, 2002), e isso faz depender principalmente da temática de abordagem. Essas abordagens podem estar relacionadas à precipitação, agricultura, hidrologia e a socioeconômica. Assim, vários autores (Wilhite & Glantz, 1987, Byun & Wilhite, 1999, McKee et al., 1993) definiram quatro tipos de secas: meteorológica, agrícola, hidrológica e a socioeconômica. Embora as secas estejam classificadas nestes quatro tipos, todas são originadas da deficiência de precipitação.

Esse fenômeno é regionalizado e consiste em situações de escassez de água por um período de longa duração, porém temporária, ocorrendo principalmente devido a um déficit entre a precipitação e evapotranspiração potencial, e os danos causados dependem de algumas características como a intensidade, duração, frequência e área afetada (Byun & Wilhite, 1999). O aumento da gravidade da seca ocorre devido à redução da quantidade de precipitação associado aos fatores climáticos como temperatura elevada, ventos fortes e baixa umidade do ar, além de condições locais de solo, como a capacidade reduzida para retenção de água e erosão. Isso dificulta a ação dos programas de melhoramento de grãos, que possuem como objetivo desenvolver genótipos adaptados aos diferentes ambientes de uma região.

A região composta pelos estados de Rondônia, Mato Grosso, Goiás e Tocantins, é considerada a principal região produtora de grãos no Brasil. Segundo o AGRIANUAL (2010), essa região foi responsável por 43, 24 e 12% da produção brasileira de soja, milho e arroz para as safras de 2009/10, 2009/10 e 2008/09, respectivamente. Portanto, existe a necessidade de um melhor entendimento dos riscos climáticos, como a ocorrência de secas para essa região. Por



meio do entendimento desse fenômeno é possível fornecer suporte as decisões estratégicas a serem tomadas no planejamento agrícola. Além disso, pode facilitar a cadeia produtora de grãos a se adaptar as prováveis mudanças climáticas.

Uma ferramenta muito útil de obter as características de umidade de uma região são os índices de seca. Dentre as diversas metodologias, o Índice de Anomalia Umidade de Palmer (Z-index - Palmer, 1965) se destaca por integrar em seu cálculo o balanço hídrico, possibilitando assim, a quantificação de seca agrícola. O objetivo desse trabalho foi caracterizar e identificar ambientes homogêneos baseados na ocorrência de eventos de seca na região centro-norte do Brasil. A análise foi aplicada utilizando projeções climáticas regionais com o modelo RegCM3 para o período de 1975-1989.

2- Dados e metodologias

O estudo foi baseado na região compreendida dos estados de Rondônia, Mato Grosso, Goiás e Tocantins, ocupando uma área aproximada de 1.758.600 km² do território brasileiro. De acordo com Nimer (1989), essa região está caracterizada pela transição entre o clima quente de latitudes baixas e o clima mesotérmico do tipo temperado, de latitudes médias. A região também é considerada homogênea quanto à duração e posicionamento dos períodos secos e chuvosos (Keller Filho et al. 2005).

Os dados diários climáticos utilizados foram a precipitação e temperatura máxima e mínima. Os dados foram simulados pelo modelo regional climático RegCM3 (*Regional Climate Model – version 3*; Pal et al., 2007) para o período de 1975 a 1989. Esse modelo é compressível, hidrostático, e em coordenada vertical sigma-pressão, cuja solução das equações utiliza o método de diferenças finitas (Reboita et al., 2009). O RegCM3 resolve os processos de interação solo-planta-atmosfera, precipitação, radiação e de troca turbulenta entre a superfície-atmosfera segundo parametrizações descritas em Pal et al. (2007). Nas simulações analisadas neste estudo, o RegCM3 foi integrado com resolução horizontal de 60 km e 18 níveis verticais e Kruger (2009) validou a climatologia simulada comparando-a com a observada do CMAP (*Climate Prediction Center – Merged Analysis of Precipitation*), CRU (*Climate Research Unit*) e NCEP (*National Center of Environmental Prediction*). É importante destacar, que as simulações do RegCM3 utilizaram como condições inicial e de fronteira as projeções climáticas do modelo global HadAM3 (Johns et al., 2001) para o período 1975-1989.

A região do estudo foi dividida em 158 quadrículas (Figura 1a). As variáveis climáticas precipitação, temperatura máxima e mínima em cada quadrícula da Figura 1a, representam a média de 9 pontos de grade no domínio do modelo RegCM3, conforme ilustra a Figura 1b.

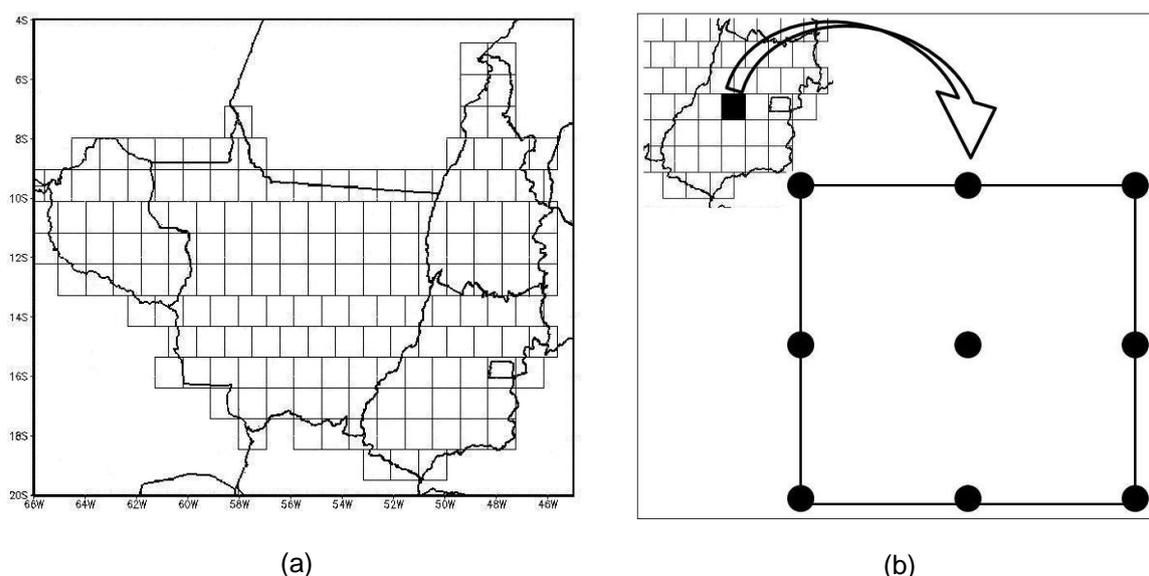


Figura 1. (a) Mapa da área de estudo ilustrando as 158 quadrículas, (b) ilustração dos 9 pontos de grade de cada quadrícula.

O cálculo dos valores do Z-index para as 158 quadrículas foram obtidos pela equação 1 e seguem a classificação descrita na Tabela 1.



$$Z = \frac{P_i - \bar{P}_i}{K_i} \quad (1)$$

em que: P_i é a soma da precipitação pluvial mensal para um determinado mês e ano, \bar{P}_i é o valor de precipitação pluvial esperada para prover uma região sob condições hídricas normais para um determinado mês, K_i é a constante de padronização para um determinado mês, obtido mensalmente.

Os valores de \bar{P}_i foram obtidos pela equação 2.

$$\bar{P}_i = \alpha \bar{ETP} + \beta \bar{PR} + \gamma \bar{PRO} + \delta \bar{PL} \quad (2)$$

em que: α , β , γ e δ são definidos mensalmente, num período de calibração, ETP é a evapotranspiração potencial, PR é a recarga potencial de umidade do solo, PRO é o escoamento superficial potencial e PL é a perda potencial de umidade do solo.

O cálculo dos parâmetros α , β , γ e δ são descritos nas equações 3, 4, 5 e 6, respectivamente.

$$\alpha = \frac{\bar{ETR}}{\bar{ET}} \quad (3)$$

$$\beta = \frac{\bar{R}}{\bar{PR}} \quad (4)$$

$$\gamma = \frac{\bar{RO}}{\bar{PRO}} \quad (5)$$

$$\delta = \frac{\bar{L}}{\bar{PL}} \quad (6)$$

em que: ETR é a evapotranspiração real, R é a recarga, RO é o escoamento superficial e L é a perda de umidade do solo.

As constantes de padronização, denominada K_i , são definidas mensalmente, em função de um período de calibração e seus valores são obtidos pela equação 7.

$$K_i = \frac{\bar{P}_i - \bar{P}_i}{\bar{P}_i - \bar{P}_i} \quad (7)$$

em que: \bar{K}_i é obtido pela equação 8.

$$\bar{K}_i = \frac{\bar{P}_i - \bar{P}_i}{\bar{P}_i - \bar{P}_i} \quad (8)$$

em que: T_i é a razão entre a demanda e o suprimento de umidade e é obtido pela equação 9.

$$T_i = \frac{\bar{ETP}}{\bar{R}} \quad (9)$$

Para o cálculo do balanço hídrico utilizado nesse índice aplicou-se o método de Thornthwaite & Matter (1955) e consideraram-se as características hídricas de um Latossolo, que tem alta representatividade na região de estudo, com uma capacidade de armazenamento de água no solo igual a 100 mm, e profundidade efetiva de 1 m (Schaffert, 2000). Os valores do Z-index foram calculados utilizando-se a escala mensal.



Tabela 1. Classificação da umidade com base nos valores do Z-index.

Classe	Z-index
Extremamente úmido	≥ 3.00
Muito úmido	2.00 a 2.99
Moderadamente úmido	1.00 a 1.99
Pouco úmido	0.50 a 0.99
Próximo ao normal	0.49 a -0.49
Pouco seco	-0.50 a -0.99
Moderadamente seco	-1.00 a -1.99
Muito seco	-2.00 a -2.99
Extremamente seco	≤ -3.00

Para a identificação dos ambientes homogêneos na área de estudo, foi estabelecida uma matriz constituída da latitude, longitude das 158 quadrículas (representando as linhas) e os valores mensais do Z-index para o período de 1975 a 1989 (representando as colunas). A essa matriz aplicou-se o método de agrupamento hierárquico e de aglomeração, baseado na distância euclidiana como medida de dissimilaridade e soma dos quadrados como critério de fusão (Ward, 1963). Esse método foi aplicado devido a sua simplicidade e ótimo desempenho para uma grande quantidade de dados climáticos (Lund et al., 2009). Vários autores (Baldo et al., 2000; Munõz-Diaz & Rodrigo, 2003; Unal et al., 2003) utilizaram essa metodologia para determinar ambientes climatologicamente homogêneos.

Para a caracterização dos ambientes homogêneos utilizou-se a densidade relativa dos eventos de seca/umidade, probabilidade de ocorrência de seca/umidade e análise da distribuição da precipitação. Devido ao fato do ciclo das principais culturas de grãos cultivadas na Região Central do Brasil ocorrer entre outubro a março, calculou-se também a probabilidade de ocorrência de seca somente para esse período.

3- Resultados

A partir do resultado da análise de agrupamento, obteve-se um dendograma baseado em uma distância euclidiana igual a 40. Assim, foi possível classificar 13 ambientes homogêneos conforme ilustrados na Figura 2. O número de quadrículas incluídas em cada ambiente homogêneo variou de 9 (ambientes 2, 9 e 10) a 23 (ambiente 4). Dentre os 4 estados, o Mato Grosso foi o que apresentou a maior quantidade de ambientes homogêneos, 10, seguidos dos estados de Rondônia e Goiás, 4, e Tocantins obteve somente 2 ambientes homogêneos, conforme Figura 3.

A caracterização dos diferentes ambientes homogêneos identificados na região de estudo foi feita utilizando a probabilidade de ocorrência dos eventos de seca/umidade classificados conforme a Tabela 1. A Figura 4 ilustra que as maiores probabilidades ocorreram para os eventos de normalidade. Nesse caso, os valores de probabilidade variaram de 20 a 35%. Dentre todos os ambientes, os ambientes 1, 4 e 5, localizados no estado de Tocantins, noroeste de Goiás e centro-nordeste de Mato Grosso, respectivamente, apresentaram as maiores probabilidades para a ocorrência do evento normal. Esses três ambientes também apresentaram uma densidade relativa similar em relação aos eventos de seca/umidade, ilustrada na Figura 5a. Dentre esses ambientes, o ambiente 5 apresentou o maior valor de mediana para a precipitação, 1260 mm, seguidos pelos ambientes 4 e 1, 1105 e 1405 mm, respectivamente. Conforme ilustra a Figura 6, esses ambientes apresentam alta variabilidade para a precipitação anual, ou seja, um maior intervalo interquartil. Keller Filho et al. (2005) também classificaram o estado do Tocantins em duas regiões homogêneas em função da pluviometria. Já os ambientes 3 e 8 apresentaram os menores valores de probabilidades para a ocorrência de evento normal, Figura 5. O ambiente 3 está localizado no norte de Rondônia e o ambiente 8 no sudoeste desse estado, conforme Figura 3. Conforme ilustrado na Figura 5c, ambos ambientes apresentaram uma densidade relativa similar em relação aos eventos de seca/umidade. O ambiente 3 apresentou o maior valor de mediana para a precipitação, 1363 mm, e a menor variabilidade na precipitação anual, ou seja, uma menor distância interquartil. Isso pode estar relacionado ao fato deste ambiente possuir duas estações climáticas muito bem definidas, seca e úmida. Já o ambiente 8, conforme ilustra a Figura 6, apresentou uma mediana para a precipitação anual igual a 1139 mm.

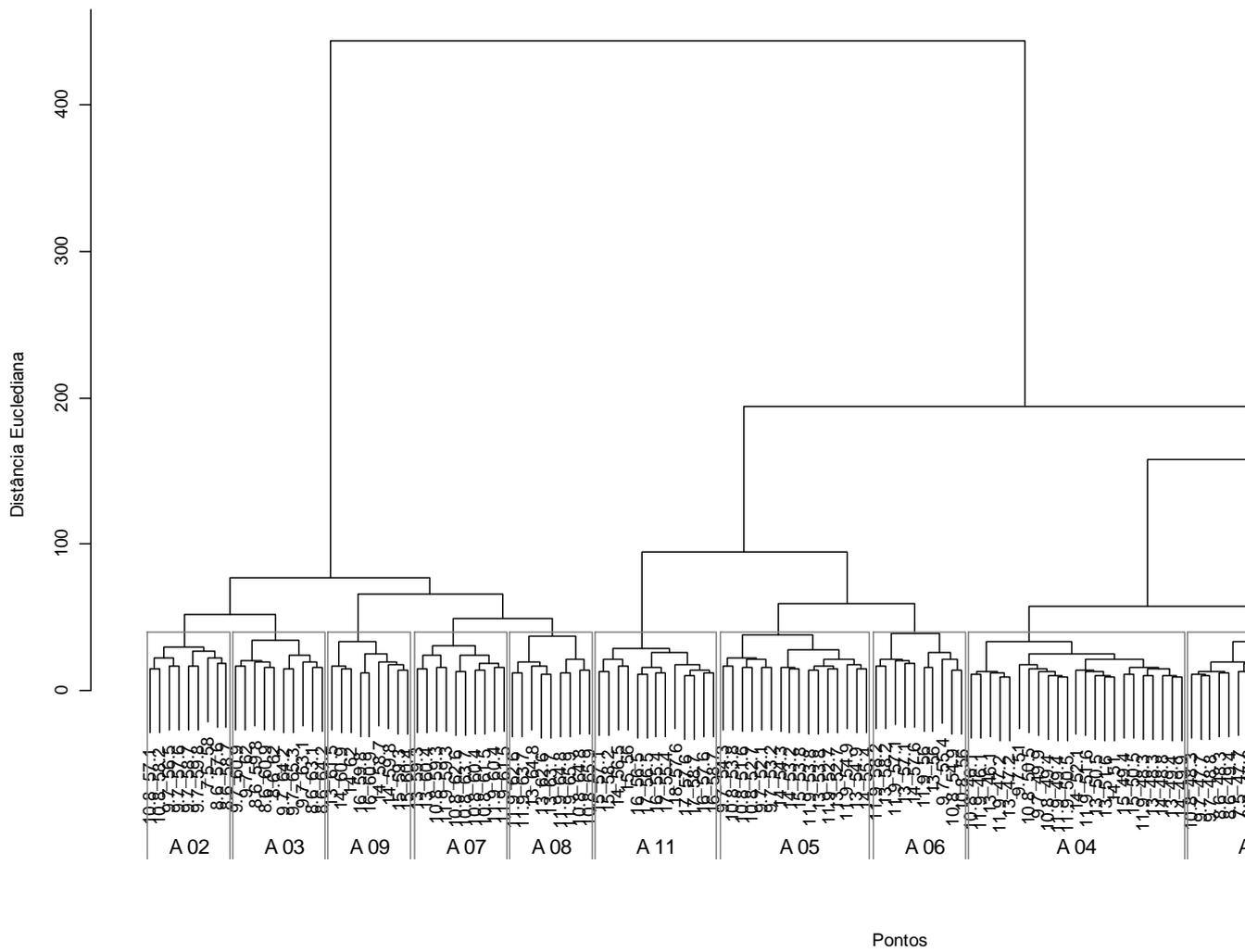


Figura 2. Dendrograma resultante da análise de agrupamento ilustrando os 13 ambientes homogêneos na área de

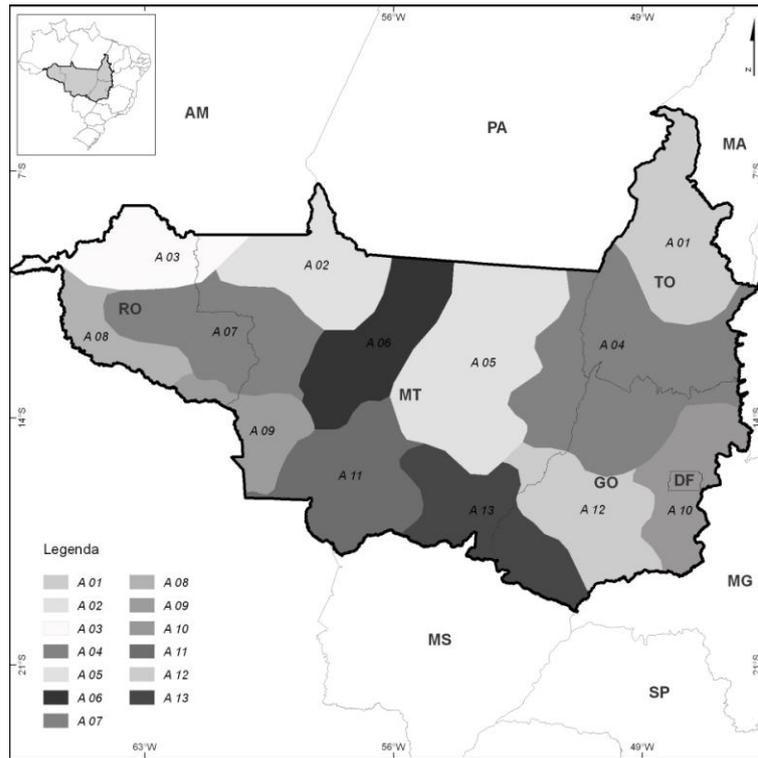


Figura 3. Distribuição espacial dos 13 ambientes homogêneos identificados na área de estudo.

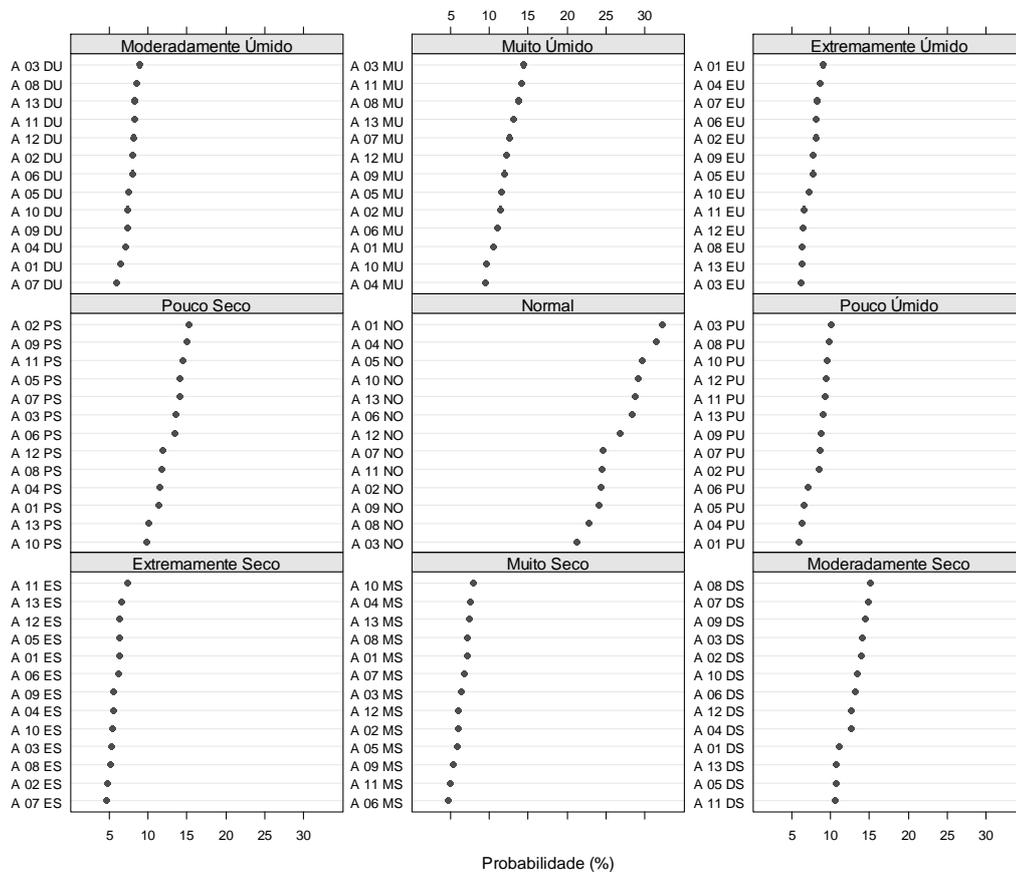


Figura 4. Probabilidades de ocorrência de eventos seca/úmido nos ambientes homogêneos, considerando a classificação da Tabela 1.



Os eventos extremamente seco/úmido apresentaram baixos valores de probabilidade de ocorrência, variando de 4,5 a 9,0%, conforme ilustra a Figura 4. O ambiente 11, localizado no sudoeste do estado de Mato Grosso, apresentou a maior probabilidade de ocorrência do evento extremamente seco. Para esse ambiente, os valores obtidos pelo Z-index concentram-se próximo da classificação pouco seco. O valor da mediana para a precipitação anual nesse ambiente é de 1265 mm. O ambiente 01 apresentou a maior probabilidade de ocorrência de eventos extremamente úmidos. Esse ambiente, já caracterizado acima, também apresentou a maior probabilidade de ocorrência de eventos normais.

Para todos os ambientes homogêneos identificados nesse estudo, há uma maior probabilidade de ocorrência de eventos úmidos do que seco, conforme ilustra a Figura 4. O ambiente 03 apresentou a maior probabilidade de ocorrência de evento muito úmido. Isso corrobora o fato desse ambiente possuir duas estações muito bem definidas, conforme supracitado. O ambiente 10 apresentou a maior probabilidade de ocorrência de eventos muito seco. Esse ambiente está localizado no leste do estado de Goiás e apresentou o menor valor para a mediana da precipitação anual (956 mm) (Figura 6).

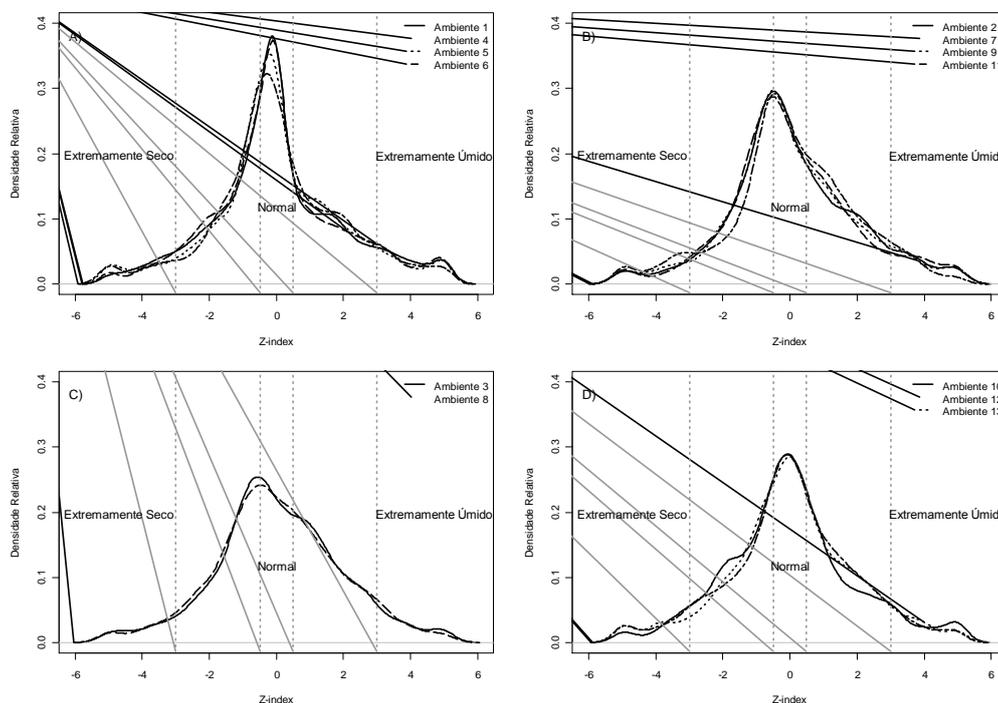


Figura 5. Densidade Relativa dos valores obtidos pelo Z-index para os ambientes homogêneos identificados na área de estudo.

Para os eventos moderadamente seco/úmido observou-se uma tendência contrária a ocorrida para os eventos muito seco/úmido. Ou seja, para todos os ambientes, há uma maior probabilidade de ocorrência para eventos moderadamente seco do que moderadamente úmido. Os ambientes 08 e 03 apresentaram os maiores valores para a ocorrência dos eventos moderadamente seco e úmido, respectivamente.

Os eventos pouco seco/úmido apresentaram a mesma tendência que os eventos moderadamente seco/úmido. O ambiente 02 apresentou o maior valor de probabilidade para a ocorrência do evento pouco seco. Este ambiente está localizado no noroeste de Mato Grosso e os valores obtidos pelo Z-index concentram-se próximo da classificação pouco seco (Figura 5b). Esse ambiente é o que apresentou o maior valor de mediana para a precipitação anual (1377 mm). Já o ambiente 03 apresentou o maior valor de probabilidade para a ocorrência do evento pouco úmido.

Os ambientes que tiveram as menores medianas para os valores de precipitação anual foram 10, 01, 04 e 12 (Figura 6). Dentre esses ambientes, o ambiente 01 e 04 e os 10 e 12 apresentam densidades relativas para a ocorrência de eventos climáticos similares (Figura 5a e d). Na região de estudo, a principal época de cultivo concentra-se nos meses de outubro a março, denominado época das águas. Assim, para essa época a probabilidade de ocorrência de eventos



de seca para os diferentes ambientes variou de 39 a 48%, conforme ilustra a Figura 7. Os ambientes 01, 04 e 05 apresentaram as maiores probabilidades de ocorrência de seca.

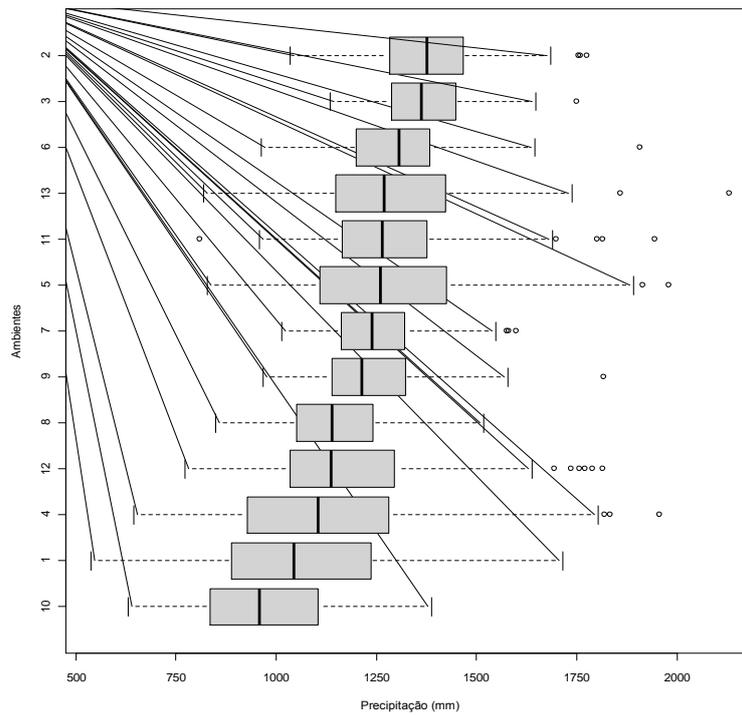


Figura 6. Variabilidade dos valores de precipitação pluvial anual para os 13 ambientes homogêneos identificados na área de estudo.

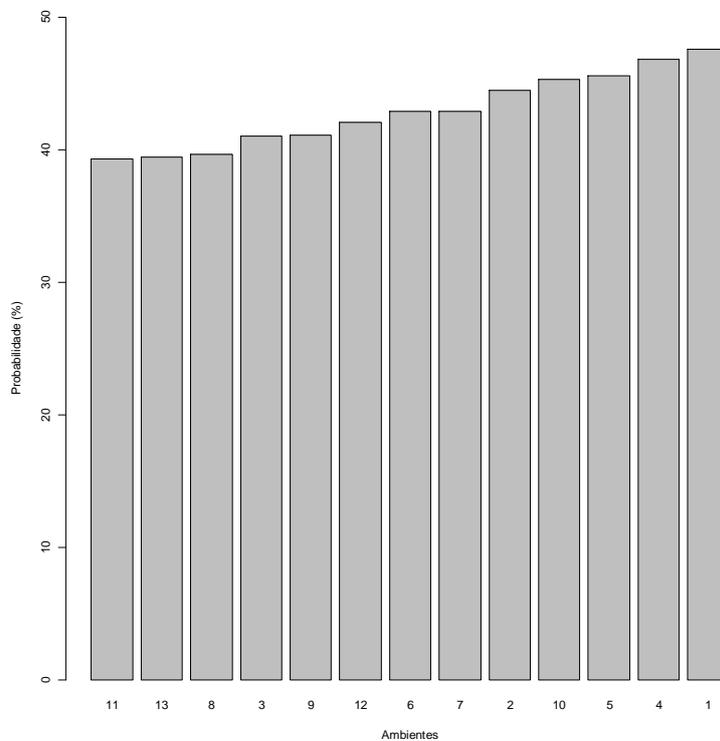


Figura 7. Probabilidades de ocorrência de eventos de seca em meses úmidos (outubro a março) nos diferentes ambientes homogêneos



Na região abordada por esse estudo, séries de dados climáticos são escassas tanto temporalmente como espacialmente. Heinemann et al. (2008) ressaltaram que a escassez desses dados limita a utilização de novas ferramentas, como modelos de simulação do crescimento, desenvolvimento e rendimento de culturas, para a elaboração de estratégias agrícolas. Assim, deve-se enfatizar a aplicabilidade de séries históricas simuladas por modelos regionais climáticos no planejamento agrícola. Por meio dessa série pode-se identificar e caracterizar diferentes ambientes homogêneos em eventos climáticos de seca/umidade. A identificação e caracterização desses ambientes irão servir de base para programas de melhoramento vegetal para alocação de ensaios regionais e cultivares que melhor se adaptam nesses ambientes.

4- Conclusões:

Por meio dos resultados pode-se concluir que para a região estudada foram identificados treze diferentes ambientes homogêneos. O evento climático com maior probabilidade de ocorrência é o próximo ao normal ou normalidade de umidade. É importante ressaltar que séries de dados climáticos simuladas por modelos regionais são muito úteis para identificação de ambientes homogêneos em regiões escassas de dados climáticos observados.

5- Agradecimentos:

Os autores agradecem a Dra. Rosmeri Porfírio Rocha e ao Msc. Luiz Fernando Kruger do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo, pelas projeções do modelo climático regional RegCM3.

6- Referências Bibliográficas

AGRIANUAL 2010: ANUÁRIO DA AGRICULTURA BRASILEIRA. São Paulo: Instituto FNP, 2010. 520p.

BALDO, M.C.; ANDRADE, A.R. de; MARTINS, M. de L.O.F; NERY, J.T. Análise de precipitação pluvial do Estado de Santa Catarina associada com a anomalia da temperatura da superfície do oceano Pacífico. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.8, p.283-293, 2000.

BYUN, H.R.; WILHITE, D.A. Objective quantification of drought severity and duration. **Journal of Climate**, v 12, p. 2747-2756, 1999.

DRACUP, J. A.; LEE, K. S. & PAULSON, G. On the statistical characteristics of drought events. **Water Resources Research**, Washington, v. 16, n. 2, p. 289-296, 1980.

HEIM JUNIOR, R.R. A review of twentieth century drought indices used in the United States. **Bulletin of the American Meteorology Society**, v. 83, n.8, p.1149-1163, 2002, Boston.
HEINEMANN, A.B.; DINGKUHN, M.; LUQUET, D.; COMBRES, J.C.; CHAPMAN, S. Characterization of drought stress environments for upland rice and maize in central Brazil. **Euphytica**, v.162, p.395-410, 2008.

JOHNS, T.C.; GREGORY, J.M.; INGRAM, W.J.; JOHNSON, C.E.; JONES, A.; MITCHELL, J.F.B.; ROBERTS, D.L.; SEXTON, D.M.H.; STEVENSON, D.S.; TETT, S.F.B.; WOODAGE, M.J. Anthropogenic climate change for 1860 to 2100 simulated with the HadCM3 model under updated emission scenarios. Hadley Centre, 2001. 62p. (Technical Note No. 22)

KELLER FILHO, T.; ASSAD, E.D.; LIMA, P.R.S. de R. Regiões pluviometricamente homogêneas no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, p.311-322, 2005.

KRUGER, L.F. **Projeções climáticas das ciclogêneses no Atlântico Sul utilizando os modelos HadAM3 e RegCM3**. 2009. 105p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

LUND, R.; LI, B. Revisiting climate region definitions via clustering. **Journal of Climate**, v.22, p.1787-1800, 2009.



MCKEE, T.B.; DOESKEN, N.J.; KLEIST, J. The relationship of drought frequency and duration to the time scales. CONFERENCE ON APPLIED CLIMATOLOGY, 8, 1993, Anaheim. **Anais**. Boston: Preprints, 1993. p.179-184.

MUÑOZ-DIAZ, D.; RODRIGO, F.S. The North Atlantic oscillation and winter rainfall over the Siberian Peninsula as captured by cluster analysis. **Geophysical Research Abstracts**, v.5, p.865-885, 2003.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2.ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1989. 421p.

PAL, J.S.; GIORGI, F.; BI, X.; ET AL. The ITCP RegCM3 and RegCNET: Regional Climate Modeling for the Developing World. **Bulletin American Meteorological Society**, v.88, p.1395-1409, 2007.

PALMER, W.C. **Meteorological drought**. Washington: U.S. Weather Bureau, 1965. 58 p. (Research Paper, 45).

REBOITA, M.S.; ROCHA, R.P. da; AMBRIZZI, T.; SUGAHARA, S. South Atlantic Ocean cyclogenesis climatology simulated by regional climate model (RegCM3). **Climatic Dynamics**, 2009. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/content/a1hk527684043206/fulltext.pdf>>. Acesso em: 11 ago. 2010. DOI: 10.1007/s00382-009-0668-7.

REDMOND, K. T. The depiction of drought: a commentary. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.83, p.1143-1147, 2002.

SCHAFFERT, R.E.; ALVES, V.M.C.; PARENTONI, S.N.; RAGHOTHAMA, K.G. Genetic control of phosphorus uptake and utilization efficiency in maize and sorghum under marginal soil conditions. In: RIBAUT, J.M.; POLAND, D. (Ed.). **Molecular approaches for the genetic improvement of cereals for stable production in water-limited environments: a strategic planning workshop held at CIMMYT**. Mexico: CIMMYT, 2000. p.79-85.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. The water balance. **Climatology**, v.8, p.1-40, 1955.
UNAL, Y.; KINDAP, T.; KARACA, M. Redefining the climate zones of Turkey using cluster analysis. **International Journal of Climatology**, v.23, p.1045-1055, 2003.

WARD, J.H. Hierarchical grouping to optimize an objective function. **Journal of the American Statistical Association**, v.58, p.236-244, 1963.

WILHITE, D.A. & GLANTZ, M.H. Understanding the Drought Phenomenon: The role of definitions, Planning for Drought. **Westview Press**, p.11-27, 1987.