

AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE POTENCIAL DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE DO BRASIL COM BASE NA ENTROPIA

RONI VALTER DE SOUZA GUEDES¹; FRANCISCO DE ASSIS S. DE SOUSA²

¹Meteorologista, M.Sc., Pós-Graduando, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosférica, UFCG/Campina Grande – PB, email: roniguedes84@yahoo.com.br

²Meteorologista, Prof. Associado D.Sc., Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, UFCG/Campina Grande – PB, email: fassis@dca.ufcg.edu.br

Apresentado no XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia - 22 a 25 de Setembro de 2009 – GranDarrell Minas Hotel, Eventos e Convenções - Belo Horizonte, MG

RESUMO: Com o uso da intensidade e ocorrência da chuva como variáveis representativas da disponibilidade potencial de recursos hídricos (DPRH), pode-se classificar a DPRH a partir da incerteza delas. Utilizando a entropia é possível representar várias características da chuva com base na intensidade de entropia (IE) e a densidade de entropia (DE). A partir da distribuição de IE e DE em mapa digital do Nordeste foi possível obter a DPRH de toda a região, de acordo com sua climatologia, que é função principalmente dos sistemas meteorológicos atuantes. A sub-região de melhor intensidade e distribuição foi o Litoral leste do NE com abundância e perenidade de chuvas, enquanto que a Região do Polígono das Secas foi a que apresentou a menor oferta, de água, com alta variabilidade e curta duração.

PALAVRAS-CHAVE: Entropia, agrupamento simples e climatologia do Nordeste.

ASSESSMENT OF POTENTIAL AVAILABILITY OF WATER RESOURCES OF THE NORTHEAST OF BRAZIL BASED ON ENTROPY

ABSTRACT: With the use of intensity and occurrence of rain as variables representing the water resources potential availability (WRPA), can be classify the WRPA from the uncertainty of them. Using the entropy is possible to represent various characteristics of rainfall based on the entropy intensity (EI) and the entropy density (ED). From the distribution of IE and DE in digital map of the Northeast could get the WRPA throughout the region, according to the climate, which is a function mainly of active weather systems. The subregion to better intensity and distribution was the east coast of NE with abundance and survival of rain, while the Polígono das Secas presented the lowest supply of water, with high variability and short duration.

KEYWORDS: Entropy, simple clustering and Northeast climatology.

INTRODUÇÃO: A chuva é a contribuição primária para o ciclo hidrológico, aqui é usada para representar a disponibilidade potencial de recursos hídricos (DPRH) de uma área. A incerteza da intensidade e ocorrência de chuva no tempo é uma restrição para o controle dos recursos hídricos e práticas de uso da água. O conhecimento da DPRH regional facilita o planejamento e a tomada de decisão de prioridades no desenvolvimento de grandes áreas e os limites de viabilidade de um projeto. A entropia mede a incerteza ou irregularidade de uma variável e pode ser calculada se a função distribuição de probabilidade (FDP) da variável aleatória conhecida, usando-se a teoria de informação da entropia (Shannon, 1948). Caracteristicamente o acréscimo da aleatoriedade de uma variável causa decréscimo no

coeficiente de assimetria da distribuição de probabilidade e, dessa forma conduz a amostra para o aumento da entropia. Al-Zahrani and Husain (1998) utilizaram a teoria da informação para aperfeiçoar e detectar irregularidades em uma rede hidrometeorológica, localizada no sudeste da Arábia Saudita. Kawachi et al. (2001) estimaram e construíram mapas de entropia e de isoentropia em todo o território japonês e obtiveram a DPRH em todo o país. Em todas as aplicações, contudo, a entropia é expressa no contexto de probabilidade de ocorrência da “intensidade de variáveis hidrológicas”. Maruyama e Kawachi (1998) e Kawachi et al. (2001) empregaram a informação da entropia para estimar o grau de incerteza da ocorrência de chuva no tempo, baseando-se na FDP dessa chuva, aleatoriamente dividida em tempos fragmentados. O objetivo deste trabalho é avaliar a disponibilidade potencial de recursos hídricos do Nordeste do Brasil com base na entropia.

MATERIAL E MÉTODOS: Os dados utilizados foram cedidos pela Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da UFCG. Aqui os totais mensais precipitados de 874 postos pluviométricos da região Nordeste do Brasil foram considerados. Pluviômetros com amostras de dados inferiores a 25 anos de observações ficaram de fora deste estudo. Dados adicionais foram obtidos em Vose et al. (1992).

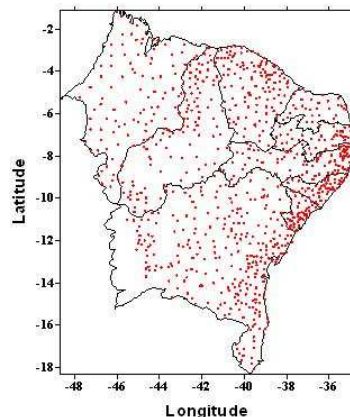


Figura 1 – Distribuição espacial dos postos pluviométricos utilizados

Neste estudo, primeiro o total de chuva durante um mês é considerado como uma variável aleatória, a relação entre a intensidade e sua probabilidade de ocorrência em determinado período de tempo é computada por formulação baseada na entropia, que será denominada “intensidade de entropia (IE)”. Segundo, os totais mensais precipitados durante um ano são considerados como outra variável aleatória. Essas intensidades relativas de chuvas durante um ano refletem o caráter probabilístico de ocorrência da chuva no ano. Sendo consideradas as taxas de distribuição da chuva durante todos os meses do ano, a entropia assim calculada é chamada de “distribuição de entropia (DE)”. Para determinar a DPRH de uma área, usando IE e DE, é necessário distribuí-las espacialmente de forma significativa. Para isto foi empregado o método do agrupamento simples, que foi aplicado para delimitar atributos regionais da DPRH. Kagan, et al., 1973, afirmam que quando a entropia de uma variável aleatória é maximizada sob a restrição de que a variância e a média são conhecidas para uma série de valores da variável, a FDP para essa série reduz-se a distribuição Normal. Ou seja, o uso da variância é limitado para o caso de a distribuição ser a Normal. Enquanto que o método da entropia é aplicável a qualquer distribuição sendo ela conhecida ou desconhecida a priori. Shannon (1948) definiu a entropia H para uma série de p_1, p_2, \dots, p_n probabilidades como:

$$H = -\sum_{i=1}^n P_i \log p_i \quad (1)$$

As probabilidades p_i para cada pluviômetro serão expressas de forma discreta levando em conta todos os valores de chuvas mensais disponíveis e suas ocorrências de probabilidades.

Calcularam-se as entropias IE usando a equação (2) em termos das frequências relativas.

$$IE = -\sum_{i=1}^n (f_i / N) \log_2 (f_i / N) \quad (2)$$

em que n é o número de classes e f_i é a frequência para classe i. Aqui, a unidade da IE é “bit” com o logarítmico na base 2. IE, definida em uma faixa semi-infinita de $0 < IE < \infty$ é uma medida para medir a intensidade aleatória da chuva mensal. Intensidade menos aleatória é medida por IE menor, indicando uma distribuição de frequência de ocorrências de chuvas mensal mais assimétrica. De forma contrária, intensidades mais aleatórias resultam em IE maior, estendendo-se sobre uma faixa maior de chuvas mensais. Porém, pode ser notado que a FDP das intensidades das chuvas é sempre definida sobre uma abscissa positiva, incluindo sua origem zero, devido a não-negatividade da chuva. É fácil verificar que um acréscimo em IE resulta em acréscimo no valor esperado da chuva mensal. A chuva agregada durante o ano R pode ser expressa pela soma de r_i , com $i=1$ até 12:

$$R = \sum_{i=1}^{12} r_i \quad (3)$$

em que os valores de r_i podem ser zero para alguns dias e diferentes de zero para outros. Cada um desses r_i representará uma série de precipitação e assim pode-se encontrar a frequência relativa da precipitação (p_i) que será obtida dividindo-se r_i pelo tamanho total da amostra (R). Agora se empregando a teoria da informação de Shannon, podemos encontrar DE:

$$DE = -\sum_{i=1}^n P_i \log_2 p_i = -\sum_{i=1}^{12} (r_i / R) \log_2 (r_i / R) \quad (4)$$

em que a unidade de DE é a mesma da IE. A IE, previamente definida, é exclusivamente estimada no respectivo pluviômetro ou localidade, enquanto DE definida para um ano é estimada para cada um dos anos considerado para os respectivos pluviômetros. Os valores de DE obtidos para os pluviômetros são representados pela média desses valores. DE estima a aleatoriedade interanual (ou igualdade temporal) de eventos de chuvas mensais no tempo. Por definição, a equação (4) explica que quando o total de chuva anual é uniformemente distribuído para cada um dos 12 meses, com probabilidade igual a $1/12$, DE assume seu valor máximo ($H = \log_2 12$). O valor mínimo DE ($H=0$) ocorre quando a distribuição é feita para apenas um dos 12 meses com uma probabilidade igual a um. Isso indica que DE assume valores na faixa finita de $0 - \log_2 12$. Quanto maior o valor de DE tanto maior será a DPRH no tempo, com menor variabilidade mensal ou sazonal da chuva. Baseado nas equações (2) e (4), duas séries de valores IE e DE podem ser estimadas para todas as localidades. Duas outras IE* e DE* podem também ser obtidas com base nas duas primeiras, respectivamente. A padronização dessas séries ajusta suas diferentes propriedades estocásticas, de modo que o valor da média é igual a zero e o do desvio-padrão igual a um. Desse modo, a DPRH pode ser avaliada em sentido relativo para a área de estudo. Doravante, as anotações IE e DE serão usadas para entropias padronizadas. Um diagrama de dispersão será esboçado para ilustrar o local-dependência da relação entre IE e DE. As coordenadas de um ponto neste diagrama caracterizam a DPRH no local correspondente ao pluviômetro. A metodologia supracitada foi aplicada à Região Nordeste do Brasil que é subdividida em cinco sub-regiões: Zona da Mata, Agreste, Sertão, Polígono das Secas e Meio-Norte.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Analisando o mapa da IE (Figura 2) nota-se que os maiores valores estão localizados no litoral leste e no oeste do Maranhão. Já os menores valores de IE estão localizados na região semi-árida, compreendidos desde o sul e centro da Bahia até o litoral norte do Rio Grande do Norte, Ceará e Piauí. Valores baixos de IE indicam menor aleatoriedade da intensidade das chuvas. Esse fato conduz a uma distribuição simétrica de frequência de chuvas mensais. As maiores IE dos totais mensais precipitados podem se

estender por meses, variando de um local para outro. Observa-se que as áreas com alta IE podem ser influenciadas pelos sistemas meteorológicos atuantes nessas regiões, como Ondas de Leste, Brisas Marítimas e ZCIT. Nota-se ainda que na direção do interior da região semi-árida, ausência alta variabilidade na intensidade das chuvas, os valores de IE são menores.

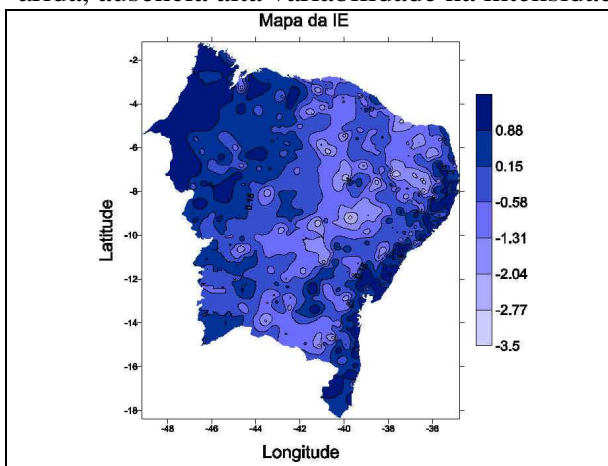


Figura 2 - Mapa da Intensidade de Entropia

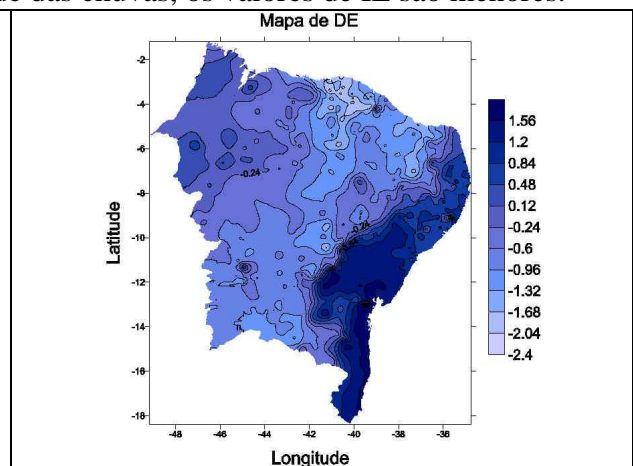


Figura 3 - Mapa da Distribuição de Entropia

Quanto a DE, Figura 3, os totais mensais precipitados apresentam valores altos e indicam que o tempo da DPRH é maior. Ou seja, as áreas com DE maior apresentam menor variabilidade da chuva mensal ou sazonal. Pode ser visto que os maiores valores da entropia de distribuição estão no litoral leste com destaque para o sul da Bahia, justificando a maior DPRH que era esperada. Além dessa área, tem-se melhores condições para aproveitamento da água no lado no oeste do estado do Maranhão. Essa distribuição nas regiões citadas se explica pelos maiores valores de precipitação e pela melhor frequência de sistemas meteorológicos atuantes, como estes sistemas perdem força em direção ao interior do continente, a região central apresenta valores inferiores das demais. Assim, pode-se dizer que há uma região de alta variabilidade de chuva na parte central e litoral norte (CE e RN), enquanto que o litoral leste e oeste do MA a variabilidade é baixa, com chuvas mais concentradas e frequentes.

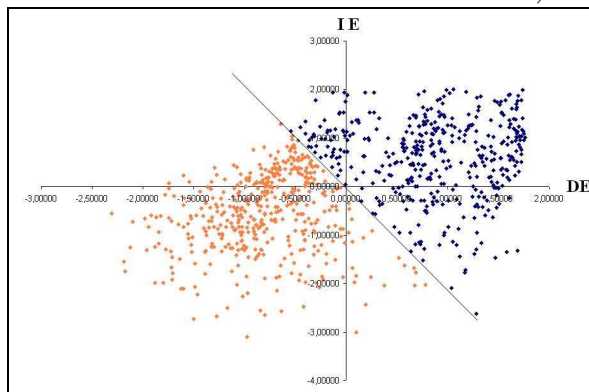


Figura 4 - Dispersão padronizada binária

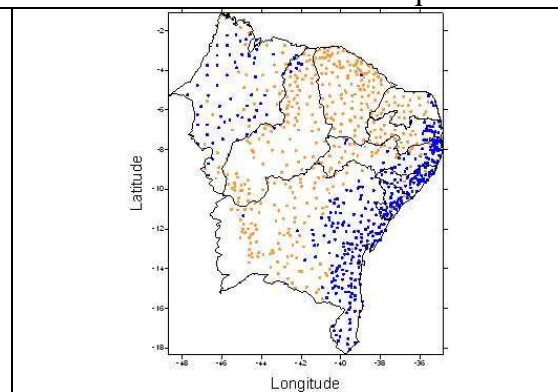


Figura 5 - DPRH no Nordeste do Brasil

A Figura 4 exibe a dispersão padronizada binária dos valores de IE e DE. Segundo o método a DPRH apresenta-se da seguinte forma: as áreas em cor azul são locais de chuvas abundantes, com boa distribuição e relativa concentração temporal. Já as áreas em cor laranja são locais com alta variabilidade de chuvas, pois IE e $DE < 0$. As áreas ou pontos na cor laranja representam, ainda, chuvas de curta duração ou concentradas no tempo. Assim, afirmar-se que a cor laranja é representativa de áreas pobres de DPRH. A Figura 5 mostra a distribuição geográfica da DPRH. Note que desde o sul da Bahia até o norte do Rio Grande do Norte, a DPRH é muito boa. No Maranhão ocorrem pontos de DPRH classificada como muito boa. As chuvas do Estado do Maranhão são fortemente influenciadas pelo transporte de umidade da Floresta Amazônica e pela descida da ZCIT. Observa-se ainda a ocorrência de pontos isolados

nos interiores da BA, PE e CE de boa DPRH, onde as superfícies possuem características físicas diferentes. A Figura 6 exibe a dispersão padronizada de IE e DE, com base na partição quartenária. A Figura 7 aloca esses pontos geograficamente para constituir áreas ou pontos isolados e classificá-las com base na DPRH. Novamente, a cor azul predomina, desde o sul da Bahia até o leste do Rio Grande do Norte, mas com estreitamento dessa faixa, do litoral para o interior. Nessa zona a DPRH na área é muito boa. A fronteira da Região Semi-árida, em verde claro, caracteriza-se, agora, com uma DPRH não tão boa quanto na divisão binária.

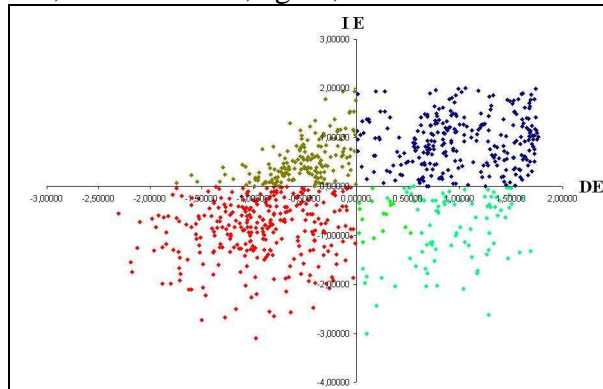


Figura 6 - Dispersão padronizada quartenária

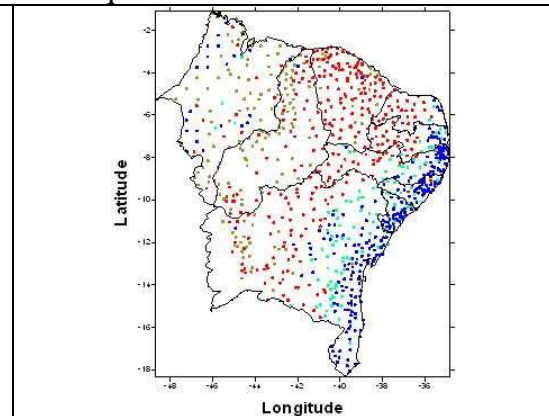


Figura 7 - DPRH no Nordeste do Brasil

Pontos isolados podem ser vistos no Agreste da Paraíba, no interior de Pernambuco, mais precisamente, na Chapada do Araripe e interior do Maranhão. Em quase toda Região Semi-árida predomina a cor vermelha que significa baixa oferta e alta variabilidade da chuva, alguns pontos isolados podem ser notados no Maranhão.

CONCLUSÕES E SUGESTÕES: O litoral é uma região propícia ao cultivo de muitas culturas por ser a região com maior intensidade e melhor distribuição de chuvas. O MA possui uma boa DPRH e suas terras podem ser aproveitadas de acordo com a estação do ano. Aqui, destaca-se a perfeita adequação da metodologia aplicada a área de estudo, mostrando uma configuração esperada. Os resultados obtidos estão de acordo com as condições climáticas e sistemas meteorológicos atuantes em cada sub-região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL-ZAHRANI, M.; HUSAIN T. An algorithm for designing a precipitation network in the south-western region of Saudi Arabia. *Journal of Hydrology*, pp. 205-216, 1998.
- KAGAN, A.M.; LINNIK, YU.V.; RAO, C.R. *Characterization Problems in Mathematical Statistics*. Wiley, New York, pp. 408-410. 1973.
- KAWACHI, T.; MARUYAMA, T.; SINGH, V.P. Rainfall entropy for delineation of water resources zones in Japan. *Journal of Hydrology*, nº 246, pp. 36-44. 2001.
- MARUYAMA, T.; KAWACHI, T. Evaluation of rainfall characteristics using entropy. *Journal of Rainwater Catchment systems* 4 (1), 7-10. 1998.
- SHANNON, C.E. A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal* XXVII, 379-423; 623-656. 1948.
- SINGH, V.P. The use of entropy in hydrology and water resources. *Hydrological Processes*, nº 11, 587-626. 1997.
- VOSE, R.S.; SCHMOYER, R. L.; STEURER, P. M.; PETERSON, T. C.; HEIM, R.; KARL, T. R.; EISCHEID, J. K. *The Global Historical Climatology Network: long-term monthly temperature, precipitation, sea level pressure, and station pressure*. ORNL/CDIAC-53, NDP-041., Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee. Cf, 1992.