

Mapas de Contorno da Taxa de Chuva Utilizando os Históricos de Dados Acumulados de Precipitação no Estado do Maranhão Para Modelagem de Fenômenos Radiometeorológicos

M. R. B. Fialho¹, R. M. L. Silva¹, M.S. Pontes², C. H. R. Oliveira¹ e L. H. Gonsioroski¹

¹ Universidade Estadual do Maranhão – São Luis, Brasil

fmrccio@gmail.com

² CETUC/PUC-Rio – Rio de Janeiro, Brasil

mspontes@cetuc.puc-rio.br

Resumo— O modelo ITU-R para o cálculo da atenuação por chuva necessário em projetos de redes e sistemas de comunicação sem fio que operam acima de 10GHz tais como: radioenlace, sistemas de comunicação via satélite, etc.; considera a taxa de chuva que excede a 0,01% de um ano médio no percurso do enlace. A recomendação ITU-R 837.6 estima esta taxa em dado ponto a partir de um modelo que considera a precipitação média anual.

Neste trabalho, utiliza-se esse modelo para gerar mapas de contorno da taxa de chuva a partir dos dados de precipitação acumulada em 12 pontos de coleta no Estado do Maranhão.

Palavras-Chave— Propagação, métodos de predição, efeitos de precipitação, atenuação.

Abstract— The ITU -R model to calculate the attenuation by rain needed in network design and wireless communication systems operating above 10GHz such as radio link of satellite communication systems, etc.; considers the rain rate that exceeds 0.01% of an average year in the link path. The ITU-R recommendation 837.6 estimated this rate at a given point from a model that considers the average annual rainfall.

In this work, this is used to generate model rain rate contour maps from the accumulated rainfall data in 12 collection points in the state of Maranhão.

Keywords— propagation, prediction Method, precipitation effects, mitigation.

I. INTRODUÇÃO

O efeito da atenuação dos sinais nas Comunicações Sem Fio em frequências superiores a 10 GHz ocorrem principalmente em função da precipitação líquida (tratada a partir de agora como chuva). Sabe-se que a energia do sinal nestas frequências é atenuada pela absorção ou pelo espalhamento da energia da onda [1]. Esta atenuação deve ser prevista para o dimensionamento dos enlaces que operem a partir desta faixa de frequência.

Existem vários modelos para cálculo da atenuação por chuva e para isto, a estatística de taxa de chuva (em mm/h) é um dos

principais parâmetros utilizados. As estatísticas de taxas de chuva nestes estudos são obtidas através das medições de longo prazo em várias partes do globo em pontos específicos ou através da zonas climáticas derivadas indiretamente de informações climáticas gerais. No primeiro caso a baixa resolução espacial mostra-se uma desvantagem, visto que medições com integração usando intervalos de tempo de 1 minuto, especialmente no Brasil, são raros. No segundo caso a descontinuidade da informação gera pouca confiabilidade [2].

Outros modelos propõem o cálculo da taxa de chuva com integração usando intervalos de tempo de 1 minuto a partir de intervalos de integração maiores (15min, 30min ou 60min), conforme Chebil and Rahman[3], Singh[4] e Jung[5], quando tem-se acesso a dados consistidos com estes intervalos.

A recomendação [6], anexo 1, descrita com mais detalhes no item II deste artigo, apresenta um modelo para o cálculo da taxa de chuva que excede uma certa probabilidade de tempo (R_p) em uma dada localização do globo a partir do banco de dados de reanálise ERA-40 com mais de 40 anos de dados, disponibilizados pelo Centro de Previsão do Tempo Europeu (European Centre for Medium-range Weather Forecast - ECMWF). O ERA-40 possui a probabilidade de chuva em 6 horas para todo o globo P_{r6} . Os parâmetros deste modelo resultam em um mapa global com grids de 1125⁰ apresentados no anexo 2 da ITU-R[7] utilizando interpolação bi-linear proposta em [8].

O Estado do Maranhão dispõe de uma rede de coleta de dados meteorológicos com histórico das medições de precipitação acumulada conforme descrito mais detalhadamente na seção IV. Embora estes dados a longo prazo tenham medições com intervalos de integração relativamente altos para serem relevantes em estimar a taxa de chuva através da função densidade cumulativa, ou para a utilização dos modelos de conversão acima descritos, os dados de precipitação acumulada são úteis para predição da taxa de chuva com integração usando intervalos de tempo de 1 min. Pretende-se neste trabalho gerar mapas de contornos a partir do modelo 837.6 utilizando como base dados de precipitação acumulada de um ano médio a partir

M.R.B. Fialho, R.M.L. Silva, C.H.R. Oliveira, L.H. Gonsioroski, Dep. de Eng. da Computação, Universidade Estadual do Maranhão, São Luis-MA Brasil. M.S.Pontes, CETUC/PUC-Rio, Rio de Janeiro-RJ Brasil. E-mails: fmrccio@gmail.com, rogeriomls@gmail.com, carloshe@gmail.com, leonardo.gonsioroski@uema.br, mspontes@cetuc.puc-rio.br

dos dados das normais climatológicas INMET(1961-1990) e com as médias acumuladas do INMET(1991-2015), comparando os resultados o mapa obtido com a base de dados ERA-40. Na seção II deste trabalho expõe-se o Método de Cálculo de R_p presentes no anexo 1 da ITU-R 837.6. Na seção III descreve-se os dados de precipitação utilizados nesta análise. Nas seções IV e V apresentam-se, respectivamente, os resultados obtidos e as conclusões finais deste artigo.

II. CÁLCULO DE R_p , RECOMENDADO NA ITU-R 837-6

O modelo de cálculo de R_p , fornecido pela Rec. ITU-R 837.6, tem origem no Método de Salonen-Poiars Baptista (SBP) [4]. O modelo propõe a predição da estatística de taxa de chuva com intervalos de integração de 1 min para qualquer percentagem de tempo, caso as medições locais não estejam disponíveis. O modelo utiliza interpolação bi linear apresentada pela ITU-R[4] para obter o resultados de P_{r6} , M_t e β na coordenada geográfica de interesse.

Os parâmetros do modelo são:

P_{r6} : que corresponde a probabilidade de ocorrência de chuva por período de 6 horas.

M_t : é a precipitação média total acumulada.

β : razão entre M_c (componente proveniente da precipitação convectiva) e M_t .

(lat, lon) : correspondem a coordenada geográfica do ponto em estudo, sendo que lat é a latitude e lon a longitude da coordenada.

R_p : é a taxa de chuva (em mm/h) que excede dado percentual de tempo p de um ano médio. $R_{0.01}$ é a taxa de chuva excedida em 0,01 % do tempo de um ano médio, o que equivale a aproximadamente 53 minutos durante um ano.

O parâmetro M_t corresponde a soma de dois tipos de precipitação: a convectiva (M_c) e a estratiforme (M_s).

Onde:

$$M_c = \beta M_t \quad (1)$$

$$M_s = (1 - \beta) M_t$$

A equação do percentual de probabilidade de chuva em um ano médio é:

$$P_0(lat, lon) = P_{r6}(lat, lon) \left(1 - e^{-0.0079 \left(\frac{M_s(lat, lon)}{P_{r6}(lat, lon)} \right)} \right) \quad (2)$$

Considerando um resultado diferente de zero para $P_0(lat, lon)$, o valor de R_p será determinado pela equação:

$$R_p(lat, lon) = \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \quad (3)$$

Onde:

$$A = a b$$

$$B = a + c C \quad (4)$$

$$C = \ln \left(\frac{p}{P_0(lat, lon)} \right)$$

Sendo que:

$$a = 1.09, b = \frac{M_t(lat, lon)}{21797 P_0(lat, lon)} \text{ e } c = 26.02 b \quad (5)$$

Com este modelo e utilizando a base de dados reanálise ERA-40 é possível gerar mapas de contorno para todo o globo terrestre. A Fig. 1. apresenta o mapa de contorno que abrange a América do Sul disponibilizado pela rec. 837.6 [3] para $p = 0.01\%$.

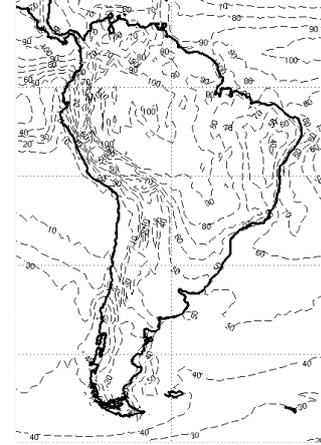


Fig. 1. Taxa de chuva (mm/h) que excede a 0.01% de um ano médio.

III. METODOLOGIA PROPOSTA

O método proposto consiste em utilizar a precipitação acumulada das coletas de dados em substituição aos dados M_t da base ERA-40 nas equações (1) e (5). Estes dados serão interpolados a partir das coordenadas geográficas das medições, gerando mapas de estatísticas de chuvas utilizando o modelo descrito acima para o recorte do Estado do Maranhão. Em seguida, utilizam-se estas coordenadas para gerar um mapa utilizando os dados de reanálise ERA-40.

Foram gerados mapas a partir de dados do INMET utilizando as Normais Climatológicas de 1961 a 1990 e os dados mais recentes de 1991 a 2015. Segundo a OMM (Organização Meteorológica Mundial), as Normais Climatológicas compreendem períodos de 30 anos de dados [7]. O período de 1991 a 2015, embora possa ser analisado para estudos específicos, só comporão as Normais em 2020. Os dados de precipitação média acumulada destas bases foram utilizadas no lugar M_t no modelo descrito no item II. A partir da precipitação total, calculou-se os componentes convectivos e estratiformes por meio das equações (1). Em seguida o percentual de probabilidade de chuva em um ano médio P_0 é calculado a partir da equação (2). A partir destes dados foram gerados os seguintes mapas:

- Mapa de Contorno utilizando banco reanálise ERA-40;
- Mapa de Contorno utilizando M_t das Normais Climatológicas e banco reanálise ERA-40;
- Mapa de Contorno utilizando M_t de Precipitações acumuladas das estações INMET (1991-2015) e banco reanálise ERA-40;

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A. Dados de Precipitação Utilizados.

Para o presente estudo utilizamos as seguintes bases de dados meteorológicos do território do Maranhão:

- Normais Climatológicas do Brasil (1961 -1990) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), que contemplam para o Estado do Maranhão 12 estações meteorológicas com informações sobre precipitação acumulada mensal e anual, número de dias com precipitação maior ou igual a 1 mm[9];
- Dados de Precipitação anual e de 12 horas, extraídas das 12 estações do INMET entre 1991 e 2015;
- Banco de dados de reanálise atmosférica ERA-40

B. Mapas de Contorno Gerados.

A fig. 2(a) apresenta o mapa de $R_{0,01}$ a partir dos valores de M_t da base de dados de reanálise atmosférica ERA-40 (Mapa 01). A fig. 2(b), o mapa (Mapa 02) foi gerado substituindo os valores de precipitação acumulada a partir dos dados consolidados de um total de 12 estações das Normais Climatológicas. Finalmente, a fig. 2(c) resulta da utilização dos dados de precipitação média anual de 1991 a 2015 (Mapa 03).

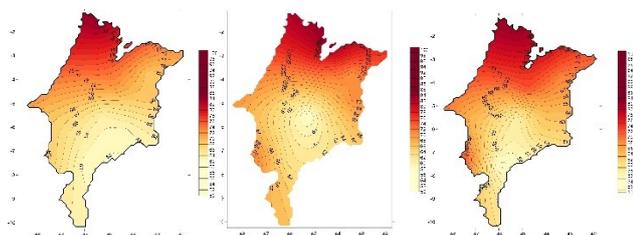


Fig. 2. (a) $R_{0,01}$ a partir de M_t da base ERA-40. (b) $R_{0,01}$ a partir de M_t das Normais Climatológicas. (c) $R_{0,01}$ a partir de M_t das Precipitações Anuais Médias (1991-2015).

Comparando os três mapas da fig 2, é possível observar que nas estações de Zé Doca e Carolina ocorreram sensível aumento na taxa de chuva quando utiliza-se dados do INMET dos 25 anos mais recentes. Nos demais pontos de coleta houve um decréscimo destes valores. Percebe-se, que os maiores decréscimos foram apresentados em Municípios com grande aumento do crescimento demográfico ou de atividades agrícolas, como em São Luís (2,69 mm/h), Caxias (5,2 mm/h) e Balsas (5 mm/h), conforme a TABELA I.

Quando os mapas 03 e 02 são comparados ao modelo utilizando o reanálise ERA-40, nota-se que este último banco subestima as intensidades de chuva para a grande São Luís, mesmo quando comparado aos dados de precipitação dos últimos 25 anos (fig. 3). Os resultados indicam uma tendência da variação da intensidade de chuva em função da diminuição da precipitação média acumulada mesmo quando se utiliza a mesma probabilidade de chuva em 6 horas (2).

Localidade	Mapa 01	Mapa 02	Mapa 03
São Luís	77,57	84,51	81,82
Turiação	84,48	83,11	82,22
Chapadinha	68,46	70,58	68,79
Zé Doca	77,58	77,38	78,08
Caxias	68,48	70,33	65,13
Imperatriz	68,61	66,64	65,41
B.do Corda	63,94	57,47	57,33

Colinas	63,01	62,75	61,89
Carolina	68,19	71,32	71,48
Balsas	62,56	59,71	54,71
Alto Parnaíba	62,56	62,67	58,48

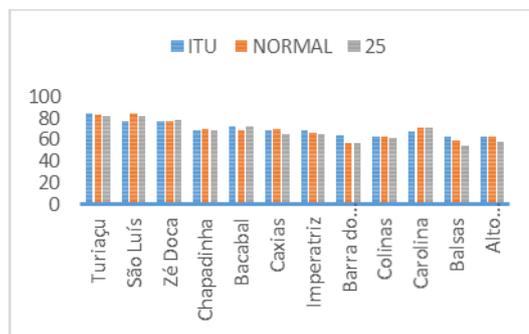


Fig. 3. Taxa de chuva para $R_{0,01}$ (mm/h) x bases de dados (reanálise ERA-40, INMET (1961-1990) e INMET(1991-2015).

C. Cálculo do erro.

O erro percentual pode ser calculado a partir da seguinte equação:

$$\varepsilon (\%) = \frac{(R_{est} - R_{med})}{R_{med}} \times 100 \tag{6}$$

Onde R_{est} representa os valores considerados estimados da base de dados ERA-40 e R_{med} são os valores calculados a partir dos dados medidos de precipitação do INMET (Normais e 25 anos). O resultado pode ser observado na TABELA II.

Localidade	ITU-NORMAL	ITU-25 ANOS
São Luís	8,94	5,47
Turiação	-1,62	-2,67
Chapadinha	3,10	0,49
Zé Doca	0,32	1,30
Caxias	2,69	-4,89
Imperatriz	-2,87	-4,66
B.do Corda	-10,11	-10,33
Colinas	-0,41	-1,76
Carolina	4,59	4,82
Balsas	-4,56	-12,55
Alto Parnaíba	0,17	-6,52

O erro quadrático médio (EQM) das Normais e dos últimos 25 anos, em relação a precipitação do banco reanálise ERA40 e calculados a partir da TABELA II são, respectivamente, 10,98% e 14,98%. O acréscimo de 4% entre ambos os períodos indica maior variação da intensidade de chuva em razão da variação de precipitação acumulada medida, supondo que a percentagem de chuva convectiva em relação a precipitação acumulada total permaneça a mesma. Esta suposição deve ser aceita pois os dados disponíveis referem-se a precipitação total, sem informações sobre o valor de β para estas medições.

V. CONCLUSÕES

Este artigo propõe um método para gerar mapas de contorno utilizando dados de taxa de chuva a partir dos históricos de precipitação acumulada de diversos pontos de coleta no Estado do Maranhão. Para o cálculo utilizou-se a recomendação ITU-R 837.6, que propõe o cálculo da probabilidade de chuva em 1 minuto a partir de um banco com estimativas de probabilidade de chuva em 06 horas. Utilizou-se como base de dados o reanálise ERA-40, as Normais Climatológicas (INMET-1961 a 1990) e os dados de precipitação dos últimos 25 anos dos mesmos pontos de coleta (INMET-1991 a 2015). Os valores resultaram em mapas com sensível diferença na distribuição espacial da taxa chuva a 0,01 para o território. Considerando que o fenômeno da precipitação possui distribuição espacial e temporal relativamente complexa de serem previstas os mapas de contorno e a utilização de dados de precipitação pontuais podem contribuir para a melhoria na predição de chuvas intensas que possam causar interrupção de sinais de comunicação que utilizam frequências sensíveis a esse fenômeno. Modelos como o apresentado por Casillas[10] utilizam dados de precipitação de estações meteorológicas em tempo quase real para calcular a atenuação por chuva em diversas faixas de frequência e gerar mapa de contorno.

Apesar da recomendação em utilizar dados históricos de longos períodos, para o cálculo da atenuação, sugere-se a aplicação deste modelo para gerar mapas com as informações de precipitações acumuladas por pequenos períodos de anos recentes, visando relacionar os impactos dos baixos índices pluviométricos na atenuação por chuva. De fato, alguns trabalhos como RANATUNGA[11] propuseram adequações nos modelos de predição e perceberam baixa correlação entre a precipitação acumulada e a intensidade de chuva que excede a 0.01% do ano, mas em regiões com escassos dados de atenuação medidos, como a região norte e nordeste do Brasil, este modelo atende a estudos preliminares deste tema, principalmente em regiões densamente povoadas que passam por intenso processo de urbanização como a cidade de São Luís.

VI. REFERÊNCIAS

- [1] MIYOSHI, Edson Mitsugo; SANCHES, Carlos Alberto. Projeto de Sistemas de Rádio. 4. ed. São Paulo: Érica, 2008. 534 f.
- [2] E. T. Salonen and J. P. V. Poiars Baptista, "A new global rainfall rate model," Antennas and Propagation, Tenth International Conference on (Conf. Publ. No. 436), Edinburgh, 1997, pp. 182-185 vol.2.
- [3] Chebil and T.A Rahman, "Rain rate statistical conversion for the prediction of rain attenuation in Malaysia," IEEE Electron, Lett., vol. 35, no. 12, pp. 1019-1021, Jun.1999.
- [4] Singh, M. S., K. Tanaka, and M. Lida, "Conversion of 60-, 30-, 10- and 5-minute rain rates to 1-minute rates in tropical rain rate measurement," ETRI Journal, Vol. 29, No. 4, August2007.
- [5] Jung, M.-W., Han, I.-T., Choi, M.-Y., Lee, J.-H., and Pack, J.-K.: "Study on the empirical prediction of 1-min rain rate distribution from various Integration time data". Korea-Japan Microwave Conf., 2007, November 2007, p. 89–92
- [6] International Telecommunications Union, Radiocommunication section (ITU-R), Recommendation 837-6: 'Characteristics of Precipitation for Propagation Modelling', Geneva, 2012.
- [7] ORGANIZAÇÃO METEOROLÓGICA MUNDIAL. Calculation of Monthly and annual 30-year standard normals. Geneva, 1989. (WMO.

Technical document, n. 341; WCDP, n .10)

- [8] International Telecommunications Union, Radiocommunication section (ITU-R), Recommendation 1144-6: 'Guide to the application of the propagation methods of Radiocommunication', Geneva, 2012.
- [9] INMET-Instituto Nacional de Meteorologia, "Normais Climatológicas" e "Planilhas de Dados".
- [10] C. Velasco-Casillas, F. Toledo-Flores, J. L. Cuevas-Ruiz, A. Aragón-Zavala and J. A. Delgado-Penin, "Automatic Generation of Rain-Attenuation Maps According to the Rain-Rate Provided by Instant Data of Meteorological Stations in Mexico," Electronics, Communications and Computers, 2008. CONIELECOMP 2008, 18th International Conference on, Puebla, 2008, pp. 65-69.
- [11] RANATUNGA, Channa. Introducing an effect of climate change into global models of rain fade on telecommunications links. Kingston upon Hull: University of Hull, 2014.