

XIV SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

AVALIAÇÃO DAS ESTIMATIVAS DE PRECIPITAÇÃO POR RADAR METEOROLÓGICO

*Cayo Lopes Bezerra Chalegre*¹; *Ewerton Amorim Oliveira*²; *Geiza Thamirys Correia Gomes*³;
*Carlos Ruberto Fragoso Júnior*⁴ & *Christopher Freire Souza*⁵

RESUMO – A disponibilidade em tempo real e a alta resolução espaço-temporal das estimativas de precipitação fazem do radar meteorológico uma ferramenta promissora para mitigar problemas relacionadas à eventos extremos de cheia. No entanto, tais estimativas possuem uma importante fonte de incerteza e precisam ser devidamente analisadas. Neste contexto, este trabalho busca avaliar as incertezas associadas às estimativas de precipitação de um radar meteorológico, localizado no Nordeste do Brasil, considerando diferentes formas de estimativas de precipitação (e.g. produtos CAPPI e PPI, empregando diferentes relações refletividade-chuva [Z-R] e dupla polarização). Foi desenvolvido um código em Python para determinação de estatísticas de ocorrência de chuva fornecida pelo radar. As estimativas de chuva do radar foram comparadas com os dados observados em 4 (quatro) estações pluviométricas. De acordo com os parâmetros analisados (POD, FAR, BIAS_f, ETS e AR), os resultados mostram que as incertezas variam de acordo com o produto do radar, e também depende da distância entre a estação pluviométrica e o radar.

ABSTRACT – Real-time availability and high spatial-temporal resolution of precipitation estimates make meteorological radar a promising tool to mitigate problems related to extreme flood events. However, such estimates have an important source of uncertainty and need to be properly analyzed. In this context, this work seeks to evaluate the uncertainties associated with the precipitation estimates of a meteorological radar, located in Northeast Brazil, considering different forms of precipitation estimates (e.g. CAPPI and PPI products, using different rain-reflectivity [Z-R] and double polarization). A Python code was developed to determine the rainfall statistics provided by the radar. The radar rain estimates were compared with the data observed in 4 (four) rainfall stations. According to the parameters analyzed (POD, FAR, BIAS_f, ETS and AR), the results show that the uncertainties vary according to the radar product, and also depends on the distance between the rainy season and the radar.

Palavras-Chave – radar, CAPPI, PPI.

1) Discente do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Alagoas – UFAL, E-mail: cayolopesbc@gmail.com

2) Discente do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas – UFAL, E-mail: ewerton.amorim@live.com

3) Discente do Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento da Universidade Federal de Alagoas – UFAL, E-mail: geiza.gomes@ctec.ufal.br

4) Docente do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas – CTEC/UFAL, Campus A. C. Simões - Av. Lourival Melo Mota, s/n, Tabuleiro do Martins - Maceió - AL, CEP: 57072-970. E-mail: ruberto@ctec.ufal.br

5) Docente do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas – CTEC/UFAL, Campus A. C. Simões - Av. Lourival Melo Mota, s/n, Tabuleiro do Martins - Maceió - AL, CEP: 57072-970. E-mail: christopher.souza@ctec.ufal.br

1. INTRODUÇÃO

A estimativa de precipitação por radar meteorológico tem como atrativos a grande cobertura espacial, a alta resolução espaço-temporal dos dados e a disponibilidade da informação em tempo real.

Fatores importantes que dão origem a incerteza na estimativa de precipitação por radar são relacionados a distúrbios do processo de medição (e.g., estabilidade de calibração, atenuação do sinal) e limitações no procedimento de conversão dos valores de refletividade medidos pelo radar para precipitação no solo (e.g., adequação da distribuição do tamanho da gota (DTG), perfil vertical da refletividade). Isso provoca características tanto sistemáticas quanto aleatórias, bem como estruturas dependentes de incerteza inerentes ao campo de precipitação observado (Wilson e Brandes, 1979; Zawadzki, 1984).

A estimativa de precipitação por radar depende de uma conversão entre a refletividade medida (Z) e a taxa de precipitação (R). Calheiros e Zawadzki (1986) e Antonio (1995) discutem a necessidade de se estabelecer de uma equação Z - R local para estimativas de precipitação mais precisas.

Pessoa (2013) comenta que as estimativas do radar pioram à medida que o local onde se deseja quantificar a precipitação se distancia do radar. A fim de minimizar essas distorções com a distância alvo-radar, fatores de correção (F_c) geralmente são empregados nas estimativas de chuva (e.g. Cabral et al., 2016) ou novas relações Z - R são desenvolvidas para região de interesse, uma vez que as estimativas pela relação geral de Marshall-Palmer tendem a subestimar os valores de precipitação (e.g. Wahab et al., 2014; Tenório et al., 2010).

Desta forma, este trabalho tem como objetivo avaliar a performance das estimativas de chuva fornecida pelo radar considerando diferentes produtos e relações Z - R , visando uma futura aplicação dos dados do radar para previsão de eventos extremos de cheia de curto-prazo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para verificação da qualidade das estimativas de chuva pelo radar foi desenvolvido um código em linguagem Python no intuito de determinar as estatísticas de ocorrência de chuva. Os parâmetros analisados foram: POD, FAR, $BIAS_f$, ETS e AR.

Para tal análise, um evento de cheia na bacia do rio Mundaú foi selecionado, considerando o período compreendido entre 30/06/2015 a 08/07/2015.

2.1. Dados do radar

Foram utilizados os dados do radar meteorológico localizado no Campus A. C. Simões da Universidade Federal de Alagoas (coordenada 35.77°W e 9.55°S), o qual é gerenciado pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden). Este radar é de banda S, doppler e de dupla polarização. A resolução espacial é de 500 m, cobrindo a área da Bacia Hidrográfica do rio Mundaú, onde cada pixel da grade corresponde a uma estação virtual.

A Tabela 1 apresenta os produtos CAPPI e PPI avaliados neste estudo. Além do tipo de produto, foram avaliadas as estimativas de chuva considerando o emprego de diferentes relações Z-R: (a) equação Geral desenvolvida para Alagoas; (b) equação local desenvolvida por Tenório (2010); e (c) a equação de Marshall-Palmer (1948) desenvolvida para os EUA.

Optou-se em trabalhar com produtos CAPPI e PPI porque cada produto apresenta uma vantagem em relação ao outro. Por exemplo, o produto PPI é a forma mais próxima de como o radar coleta os dados, isto é, considerando um plano inclinado formado por um ângulo na horizontal. Em geral esse produto apresenta uma maior correspondência com os valores observados nas estações pluviométricas, por ser uma leitura mais próxima do solo. O produto CAPPI possui menos falhas, as quais são comuns no produto PPI (principalmente quanto mais afastado do radar).

Tabela 1 – Descrição dos dados

Produto	Equação Z-R	Variáveis	Nomenclatura (Modelo)
CAPPI	Geral de Alagoas	Refletividade horizontal - Zh (dBZ)	P1G
	Geral de Alagoas DPSRI (Dual Polarization Surface Rainfall Intensity)	Refletividade horizontal - Zh (dBZ)	P1R
		Refletividade diferencial - Zdr (dB)	
	Diferencial de deslocamento de fase - Kdp (°/km)		
Convectiva e Estratiforme de Alagoas	Refletividade horizontal - Zh (dBZ)	P1T	
PPI	Geral de Alagoas	Refletividade horizontal - Zh (dBZ)	PGE
	Marshall-Palmer	Refletividade horizontal - Zh (dBZ)	PMP

2.2. Dados observados

Para esse estudo foram utilizados dados observados de chuva de quatro estações pluviométricas operadas pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden). Tais estações foram selecionadas devido ao período de dados corresponder ao período do evento registrado pelo radar. A localização e o código das estações, bem como a localização do radar está apresentada na Figura 1.

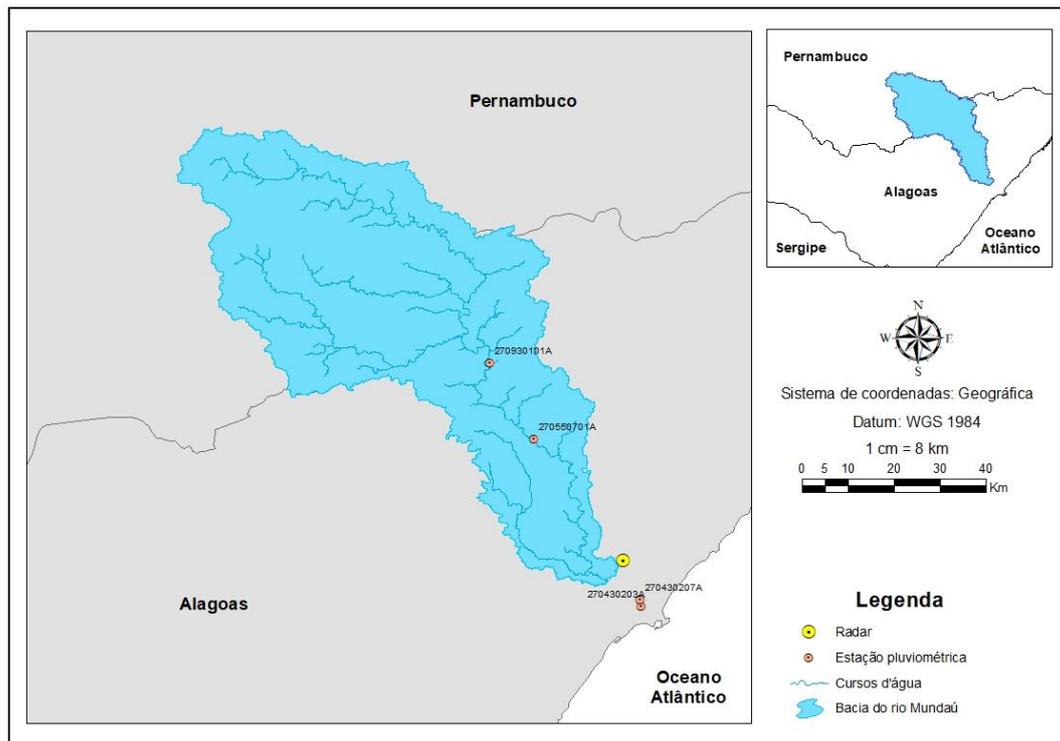


Figura 1 – Localização das estações e radar

2.3. Estatísticas de ocorrência de chuva estimada pelo radar

As incertezas das estimativas de chuva pelo radar foram avaliadas através de estatísticas que medem a ocorrência e a acurácia de chuva estimada em relação aos dados observados. Tais estatísticas são obtidas a partir dos valores de uma tabela de contingência (ver Tabela 2), a qual contém a frequência dos possíveis eventos para as quatro combinações de concordância entre os dados estimados por radar e observações de chuva (pluviômetros). Os possíveis eventos são classificados de acordo com as possíveis combinações para um determinado limiar, para este trabalho foi adotado 1 mm. Essas combinações encontram-se descritas abaixo:

- **correto positivo (a):** quando o radar e o pluviômetro registram a ocorrência de chuva na bacia igual ou maior do que o limiar determinado;
- **falso alarme (b):** quando o radar registra a ocorrência de chuva na bacia igual ou maior do que o limiar determinado, em discordância com o pluviômetro;
- **falha (c):** quando o radar não registra a ocorrência de chuva na bacia igual ou maior do que o limiar determinado, em discordância com o pluviômetro;
- **correto negativo (d):** quando o radar e o pluviômetro não registram a ocorrência de chuva na bacia igual ou maior do que o limiar determinado.

A seguir será apresentado a formulação de cada estatística utilizada neste trabalho.

Tabela 2 - Tabela de contingência utilizada para o cálculo das estatísticas de ocorrência

		Observações da superfície		Total
		Sim	Não	
Estimativas por radar	Sim	a	b	$a + b$
	Não	c	d	$c + d$
Total		$a + c$	$b + d$	$n = a + b + c + d$

2.3.1. Probabilidade de detecção (POD)

A taxa de acerto ou probabilidade de detecção (POD) representa a fração de dados observados que foram corretamente identificados pela estimativa de chuva por radar, sendo representado pela relação abaixo:

$$POD = \frac{a}{a + c} \quad (1)$$

Com isso, o valor de POD varia entre 0 e 1, e para uma perfeita detecção o valor de POD deve ser igual a 1.

2.3.2. Razão de falso alarme (FAR)

A razão de falso alarme (FAR) representa a fração de dados observados sem chuva que não foram corretamente identificados pela estimativa de chuva por radar, ou seja, o radar detecta chuva, porém o dado observado em superfície não. Sendo representado pela relação abaixo:

$$FAR = \frac{b}{a + b} \quad (2)$$

Com isso, o valor de FAR varia entre 0 e 1, obtendo-se valor igual à 0 para uma perfeita estimativa.

2.3.3. Viés de frequência (BIAS_f)

O escore de viés ou viés da frequência (BIAS_f) mede a relação entre as frequências de valores estimados para as frequências de valores observados. Indicando a subestimativa ou superestimativa da quantidade de eventos chuvosos que são corretamente identificados pela estimativa por radar. Sendo representado pela relação abaixo:

$$BIAS_f = \frac{a + b}{a + c} \quad (3)$$

Para uma perfeita detecção desses eventos chuvosos, o valor de $BIAS_f$ é igual a 1. Se o radar detecta um número menor de eventos chuvosos, então o valor do $BIAS_f$ é menor do que 1, indicando a ocorrência de subestimativa. Da mesma maneira, se o radar detecta um número maior de eventos chuvosos, o valor do $BIAS_f$ é maior do que 1, indicando a ocorrência de superestimativa.

2.3.4. *Escore de destreza de Gilbert (ETS)*

O escore de destreza de Gilbert ou escore de destreza equitativa (ETS) mede a fração de eventos observados que foram corretamente estimados, ajustados com relação a acertos associados com possibilidades randômicas. Isso ocorre por meio da consideração de um termo que penaliza os acertos positivos (a) com relação à ocorrência de falsos alarmes (b) e falhas (c), sendo representado pela relação abaixo:

$$ETS = \frac{a - \frac{(a + c)(a + b)}{n}}{a - \frac{(a + c)(a + b)}{n} + b + c} \quad (4)$$

Com isso, o escore perfeito para ETS é obtido quando o mesmo é igual à 1. Já para o pior escore, o mesmo ocorre quando menor ou igual a 0.

2.3.5. *Razão de acurácia (AR)*

A fração correta ou razão de acurácia (AR) mede a fração de eventos estimados corretamente, independentemente se foram corretos positivos (a) ou negativos (d), com relação ao total de eventos (n), sendo representado pela relação abaixo:

$$AR = \frac{a + d}{n} \quad (5)$$

Com isso, a razão varia entre 0 e 1, com perfeita detecção igual a 1.

3. RESULTADOS

Os gráficos de precipitação acumulada, apresentados na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, mostram que os modelos do produto CAPPI representam melhor o comportamento dos dados observados. Além disso, para as estações 27090101A e 270550701A, os modelos de origem PPI superestimam a chuva, apresentando valores bem acima dos dados observados.

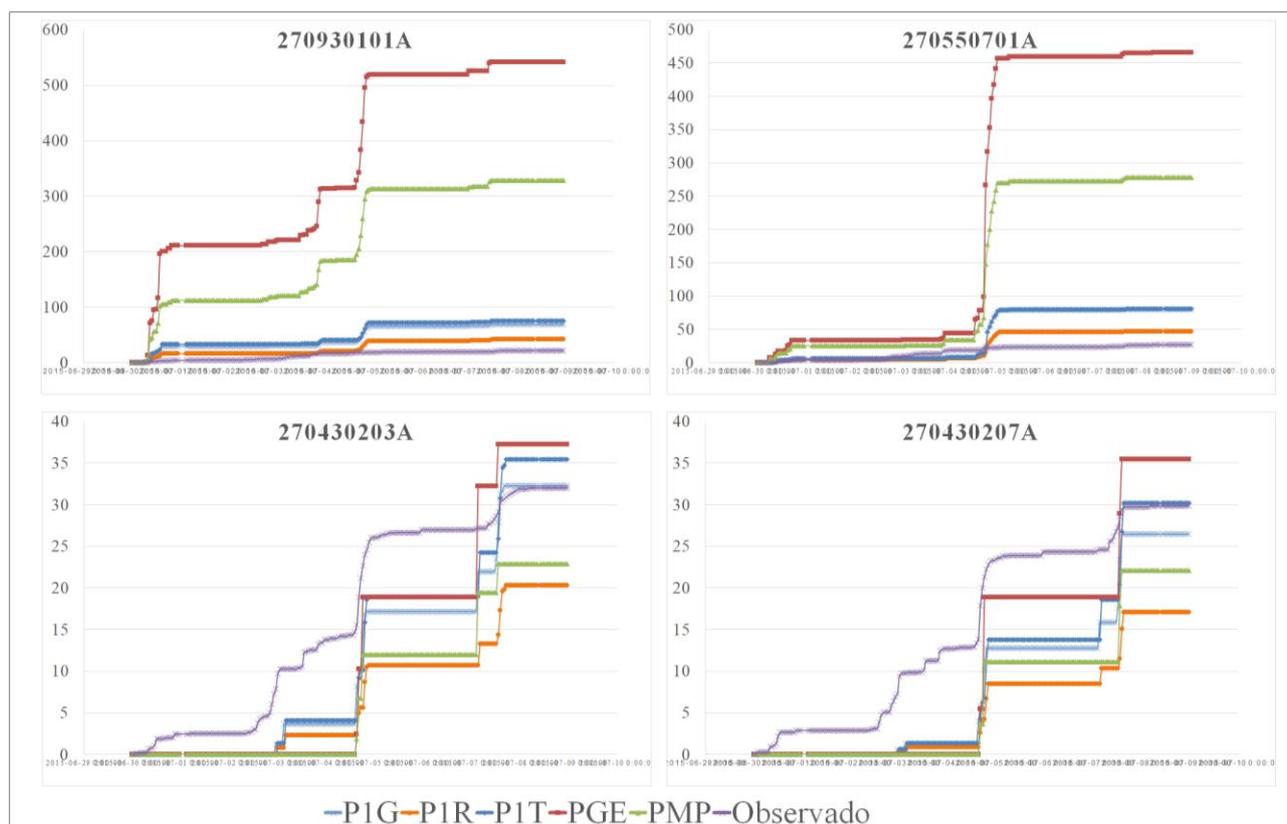


Figura 2 – Precipitação acumulada, comparação entre os dados observados pelas estações e o radar

A Tabela 3 apresenta os valores das estatísticas de ocorrência e acurácia para cada estação.

Tabela 3 – Resultados obtidos para o evento

Modelo	Variável	Estação			
		270430207A	270930101A	270550701A	270430203A
P1G	POD	0,763	0,451	0,553	0,776
P1R		0,793	0,506	0,569	0,797
P1T		0,770	0,457	0,564	0,790
PGE		0,652	0,802	0,782	0,678
PMP		0,652	0,802	0,782	0,678
P1G	FAR	0,335	0,411	0,206	0,323
P1R		0,344	0,406	0,201	0,329
P1T		0,342	0,426	0,203	0,319
PGE		0,279	0,414	0,246	0,292
PMP		0,279	0,414	0,246	0,292
P1G	BIASf	1,148	0,765	0,697	1,147
P1R		1,207	0,852	0,713	1,189
P1T		1,170	0,796	0,707	1,161
PGE		0,904	1,370	1,037	0,958
PMP		0,904	1,370	1,037	0,958

P1G	ETS	0,300	0,058	0,184	0,297
P1R		0,303	0,071	0,196	0,298
P1T		0,295	0,047	0,192	0,308
PGE		0,303	0,106	0,249	0,285
PMP		0,303	0,106	0,249	0,285
P1G	AR	0,731	0,551	0,644	0,728
P1R		0,731	0,564	0,654	0,728
P1T		0,728	0,542	0,651	0,734
PGE		0,740	0,603	0,715	0,724
PMP		0,740	0,603	0,715	0,724

A probabilidade de detecção (POD) para as estações 270430207A e 270430203A, que estão localizadas mais distantes do radar, apresenta melhores resultados para os modelos P1G, P1R e P1T que são oriundos do produto CAPPI. Já as estações 270930101A e 270550701A que estão na vizinhança do radar mostram um melhor desempenho para os modelos PGE e PMP que são do produto PPI.

As estações 270430207A e 270430203A no parâmetro POD haviam apresentado melhor desempenho nos modelos do produto CAPPI, no entanto, para a razão de falso alarme (FAR) as mesmas estações passam a ter melhores resultados para o produto PPI e as estações 270930101A e 270550701A para o produto CAPPI. O modelo P1T poderia explicar o melhor desempenho do parâmetro FAR, porque sua particularidade é a dupla polarização, a mesma tem a capacidade de realizar uma classificação meteo e não-meteo dos ecos, tirando ruídos espúrios (causados por antenas de telefonia, por exemplo) que são erroneamente considerados como nuvens causadoras de precipitação. Para tanto, seria necessário ampliar o estudo considerando mais eventos e ampliando o número de estações pluviométricas a fim de avaliar se o produto CAPPI (DPSRI) melhora os resultados do parâmetro FAR.

No que se refere ao viés de frequência ($BIAS_f$), as estações 270430207A e 270430203A tem seus valores superestimados nos modelos P1G, P1R e P1T e subestimados nos modelos PGE e PMP. Já as estações 270930101A e 270550701A superestimam os modelos PGE e PMP e subestimam P1G, P1R e P1T.

Os modelos do produto PPI mostram-se mais satisfatórios para as estações 270430207A, 270550701A e 270930101A para o escore de destreza de Gilbert (ETS). Embora não haja uma diferença significativa nos valores, a estação 270430203A apresentou melhores valores para os modelos CAPPI. Esse padrão se repete para a razão de acurácia (AR).

Os resultados mostram que os valores variam não só de acordo com o modelo empregado, ou seja, tipo de dado (CAPPI ou PPI), mas também de acordo com a estação, evidenciando que a localização da mesma tem influência sobre os dados.

4. CONCLUSÃO

A análise das estatísticas de ocorrência do radar tem grande importância para o entendimento da fonte de dado (produto) que melhor atende às particularidades da área de estudo e às características do evento chuvoso.

O diagnóstico mostra que os parâmetros apresentam comportamento distinto de acordo com a fonte de dados (CAPPI ou PPI) e com a localização das estações. Os resultados apontam para a necessidade de aumentar o número de eventos e de estações analisadas para aprofundar a avaliação e identificar quais modelos trazem melhores resultados, e corroborar que a localização das estações influencia no desempenho dos mesmos. Além disso, possibilitar a discussão acerca do emprego das relações Z-R.

Ainda, é necessário ampliar o estudo e além de analisar o potencial de detecção de chuva provida pelo radar, avaliar as diferenças nas intensidades dos dados obtidos pelo radar e pelos pluviômetros.

5. BIBLIOGRAFIA

ANTONIO, M. A. Z-R relationship range dependence. In: International Symposium on Hydrological Application of Weather Radars, 1995, São Paulo. Anais...São Paulo: ABRH, 1995, p. 45-51.

BRANDES, E.A., WILSON, J.W., 1979. Radar measurement of rainfall — summary. Bulletin of the American Meteorological Society 60, 1048–1058.

CABRAL, S. L.; SAKURAGI, J.; SILVEIRA, C. S. Incertezas e erros na estimativa de vazões usando modelagem hidrológica e Precipitação por RADAR. Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science, v. 12 n. 1 Taubaté – Jan./Feb. 2017. doi:10.4136/ambi-agua.

FABRY, F., 2004. Obstacles to the Greater Use of Weather Radar Information. Sixth International Symposium on Hydrological Applications of Weather Radar, Melbourne.

HAN, D.; HEUVELINK, G. B. M.; RICO-RAMIREZ, M. A.; CECINATI, F. Journal of Hydrology. Representing radar rainfall uncertainty with ensembles based on a time-variant geostatistical error modelling approach.

HOGUE, T. S.; FRANZ, K. J. Evaluating uncertainty estimates in hydrologic models: borrowing measures from the forecast verification community. Hydrol. Earth Syst. Sci., 15, 3367–3382, 2011

MOLNAR, P.; RASMUSSEN, R. M.; ARNBJERG-NIELSEN, K. Weather radar rainfall data in urban hydrology. Hydrol. Earth Syst. Sci., 21, 1359–1380, 2017.

PESSOA, M. L. Hidrometeorologia com Radar. In: TUCCI, C. E. M.; Hidrologia: ciência e aplicação. 4 ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2013. v. 4, Capítulo 23, p. 889. 2013.

TENÓRIO, R. S.; MORAES, M. C. S.; KWON, B. H. RAINDROP DISTRIBUTION IN THE EASTERN COAST OF NORTHEASTERN BRAZIL USING DISDROMETER DATA. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 25, n. 4, p. 415 – 426, 2010.

WAHAB, M. A.; ABDULLAH R. B.; ABUSTAN I. B.; ADAM M. K. M.; Nur Atiqah A. A. The Radar-Rainfall Relationship for Northern Region of Peninsular Malaysia. International Journal of Innovation, Management and Technology, Vol. 5, N°. 2, p. 143 – 147. DOI: 10.7763/IJIMT.2014.V5.503, April 2014.

YANG, W.; XINCHI, C.; ZHANG, L.; GIPPEL, C. J.; SHAN, L.; CHEN, S. Uncertainty of Flood Forecasting Based on Radar Rainfall Data Assimilation Hindawi Publishing Corporation Advances in Meteorology Volume 2016.

ZAWADSKI, I. I. On radar-rainage comparison. Journal of Applied Meteorology and Climatology, v. 14, p. 1430-1436, 1975.