



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**

MURILO FRETTE JOSÉ

**DESEMPENHO NA ESTIMATIVA DE PRECIPITAÇÃO PELO
RADAR METEOROLÓGICO DO OESTE DE SANTA CATARINA**

ORIENTADOR(A): PROF. DR. ROSANDRO BOLIGON MINUZZI

Florianópolis, 2018



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**

MURILO FRETTE JOSÉ

**DESEMPENHO NA ESTIMATIVA DE PRECIPITAÇÃO PELO
RADAR METEOROLÓGICO DO OESTE DE SANTA CATARINA**

ROSANDRO BOLIGON MINUZZI

Florianópolis, 2018

DEDICATÓRIA

Ao meu pai Antonio Carlos, que se vivo estivesse teria muito orgulho.
À minha mãe Zélia e ao meu irmão Leonardo que nunca mediram esforços
para me ajudar a chegar até aqui, minha eterna gratidão.
À minha companheira, minha parceira, meu amor Ronise que com seu
apoio tudo ficou mais fácil nessa jornada.

AGRADECIMENTOS

- Ao meu amigo e professor Rosandro que com toda paciência me orientou nessa jornada.
- Aos amigos da Defesa Civil que compartilharam o dia - a - dia nessa etapa e que me ofereceram todo apoio possível.

LISTA DE FIGURAS

| | | Pág. |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Figura 1 - | Mapa destaque das regiões Sul do Brasil e Oeste de Santa Catarina..... | 12 |
| Figura 2 - | Estações Hidro meteorológicas EPAGRI/CIRAM..... | 13 |
| Figura 3 - | Esquema emissão e captação de energia emitida por uma gota. A distância do alvo é dada pela relação entre o tempo de emissão e captação e velocidade da luz, expressa em $d=ct/2$ | 15 |
| Figura 4 - | Esquema de varredura de um radar meteorológico para uma angulação em Φ | 19 |
| Figura 5 - | Perfil vertical do efeito de Banda Brilhante..... | 20 |
| Figura 6 - | Modelo Digital de Elevação do estado de Santa Catarina..... | 25 |
| Figura 7 - | Modelo Digital de Elevação da região Oeste de Santa Catarina..... | 26 |
| Figura 8 - | Gráficos de dispersão e retas linearizadas dos pares radar/pluviômetros para os sítios analisados em intervalo de 24 horas para Dionísio Cerqueira (4a), Fraiburgo(4b),Itapiranga(4c), Mondaí(4d), Quilombo (4e), Xanxerê (4f), São Miguel do Oeste (4g), Palmitos(4h), Maravilha (4i)..... | 34 |
| Figura 9 - | Gráfico em barras de comparativo de máximo estimado e máximo observado nos respectivos sítios analisados com desvio padrão de cada série de dados (linhas retas) e razão logarítmica entre os pares (triângulos)..... | 35 |
| Figura 10 - | Gráficos de dispersão e retas linearizadas dos pares radar/pluviômetros para os sítios analisados em intervalo de 60 minutos para Dionísio Cerqueira (6a), Fraiburgo (6b), Itapiranga (6c), Mondaí 6d), Quilombo (6e), Xanxerê (6f), São Miguel do Oeste (6g), Palmitos (6h), Maravilha (6i)..... | 37 |
| Figura 11 - | Gráfico em barras de comparativo de máximo estimado e máximo observado nos respectivos sítios analisados com desvio padrão de cada série de dados (linhas retas) e razão logarítmica entre os pares (triângulos), para 60 minutos..... | 38 |
| Figura 12 - | Gráficos de dispersão e retas linearizadas dos pares radar/pluviômetros para os sítios analisados em intervalo de 10 minutos para Dionísio Cerqueira (8a), Fraiburgo (8b), Itapiranga (8c), Mondaí (8d), Quilombo (8e), Xanxerê (8f), São Miguel do Oeste (8g), Palmitos | 40 |

| | | |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| | (8h), Maravilha(4i) | |
| Figura 13 - | Gráfico em barras de comparativo de máximo estimado e máximo observado nos respectivos sítios analisados com desvio padrão de cada série de dados (linhas retas) e razão logarítmica entre os pares (triângulos), para 10 minutos..... | 41 |

LISTA DE TABELAS

| | | Pág. |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Tabela 1 - | Relações Z-R mais encontradas | 17 |
| Tabela 2 - | Relação entre a refletividade (dBZ) e intensidade de chuva | 18 |
| Tabela 3 - | Calibrações físicas do RMO adaptada SDC/SC..... | 22 |
| Tabela 4 - | Coordenadas geográficas, código, município, altitude e distância (km) em linha reta até o radar em que estão localizados os pluviômetros a serem utilizados neste estudo | 24 |
| Tabela 5 - | Critério de interpretação do índice de confiança..... | 28 |
| Tabela 6 - | Número de dados de precipitação (> 1mm) durante o período em estudo..... | 31 |
| Tabela 7 - | Dias de precipitação (> 1mm) registrados pelos pluviômetros..... | 32 |
| Tabela 8 - | Análise estatística quanto ao desempenho da precipitação de 24 horas pelo RMO..... | 32 |
| Tabela 9 - | Análise de desempenho estatístico para 60 minutos de acumulados..... | 36 |
| Tabela 10 - | Gráficos de dispersão e retas linearizadas dos pares Análise de desempenho estatístico para 10 minutos de acumulado..... | 39 |
| Tabela 11 - | Desempenho estatístico da chuva acumulada pelo radar em 10 e 60 minutos e 24 horas, após a calibração para Dionísio Cerqueira..... | 42 |
| Tabela 12 - | Porcentagem de redução após correções..... | 40 |

LISTA DE ABREVIATURAS

CEMADEN = Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais

CCM = Complexo Convectivo de Mesoescala

AB = Alta da Bolívia

JBN = Jato de Baixos Níveis

JSA = Jato Subtropical de Altos Níveis

RMO = Radar Meteorológico do Oeste

SDC = Secretaria de Estado da Defesa Civil

ANA = Agência Nacional de Águas

EPAGRI = Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina

CIRAM = Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina

ANOBES = Análise Objetiva Estatística

PAC = Precipitação Acumulada

DPSRI = Intensidade de Precipitação em Superfície por Dupla-Polarização

SUMÁRIO

| | |
|--------------------------------------------------|----|
| 1.INTRODUÇÃO | |
| 1.1 OBJETIVO GERAL | 14 |
| 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 14 |
| 2.REVISÃO DE FUNCIONAMENTO DO RADAR | |
| 2.1 RADAR METEOROLÓGICO | 15 |
| 2.2 EQUAÇÃO DO RADAR..... | 16 |
| 2.2.1 Mapas De Precipitação | |
| 2.2.2 Banda Brilhante | |
| 2.3 RADAR METEOROLÓGICO DO OESTE..... | 21 |
| 3.METODOLOGIA E DADOS | |
| 3.1 DADOS DO RADAR METEOROLÓGICO DO OESTE.... | 23 |
| 3.2 DADOS DOS PLUVIÔMETROS..... | 24 |
| 3.3 MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO | 25 |
| 3.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA..... | 26 |
| 4.RESULTADOS E DISCUSSÃO | |
| 5. CONCLUSÃO | |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | |

1. INTRODUÇÃO

O estado de Santa Catarina localiza-se no centro da Região Sul do Brasil, a qual é composta, também, pelos estados do Paraná e Rio Grande do Sul. Por se situar entre os paralelos 26°00'09"S 29°21'03"S e os meridianos 48°21'30"W e 53°50'09"W (IBGE, Censo Demográfico 2010) pertence à região global de transição entre os trópicos e as latitudes médias. (Ceped - Centro Universitário De Estudos E Pesquisas Sobre Desastres 2012).

Devido à localização, a região Sul do Brasil (Figura 1), apresenta um grande contraste nos regimes de precipitação e temperatura. Na primavera e verão, o estado de Santa Catarina apresenta uma significativa predominância do escoamento zonal da temperatura, ou seja, a variação de temperatura entre continente e oceano tem maior relevância que a radiação solar. A temperatura máxima média, para a estação mais quente na região Oeste, fica em torno de 25°C, já a mínima média, pouco abaixo de 20°C. O regime de pressão atmosférica fica sob maior influência de um centro de baixa pressão intermitente, na região da tríplice fronteira entre Argentina, Paraguai e Bolívia conhecida como Baixa do Chaco, quando, no verão, tem seu maior aprofundamento e altera os regimes de escoamentos de pressão e, conseqüentemente, ventos (Cavalcanti et al., 2009).

A circulação atmosférica característica em baixos níveis se dá em 850hPa, melhor analisado que em superfície, devido a não influência do atrito. Nessa região, o ponto mais relevante para a região é a presença do Jato de Baixos Níveis (JBN). Esse jato é frequentemente observado nos escoamentos de norte e noroeste, sendo o principal responsável pelo transporte de umidade proveniente da Amazônia para a região Sul. Na média e alta atmosfera, a advecção é realizada principalmente pelo Jato Subtropical de Altos Níveis (JSA) e pela presença da circulação anticiclônica, Alta da Bolívia (AB). Esses sistemas, tanto na estação quente como na de transição, primavera, são os principais responsáveis pelos regimes pluviométricos da região (Cavalcanti et al., 2009).

No verão e nas estações de transição (outubro a abril), são comumente formados os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), aglomerados de espessas nuvens frias, com forma aproximadamente circular e tempo de vida mínimo de seis horas e característico de precipitação acumulada elevada. Os regimes com dois ou até três máximos são os que mais caracterizam a região. Com uma mudança considerável, o trimestre que predomina o regime é conhecido como monção de verão e ocorre entre dez-jan-fev ou jan-fev-mar. Na região Oeste, o regime é

trimodal com máximos no início da primavera, verão e outono e muito influenciada pelos CCM's, onde é uma das regiões com maior ocorrência de fortes tempestades (Zipser et al. 2006).

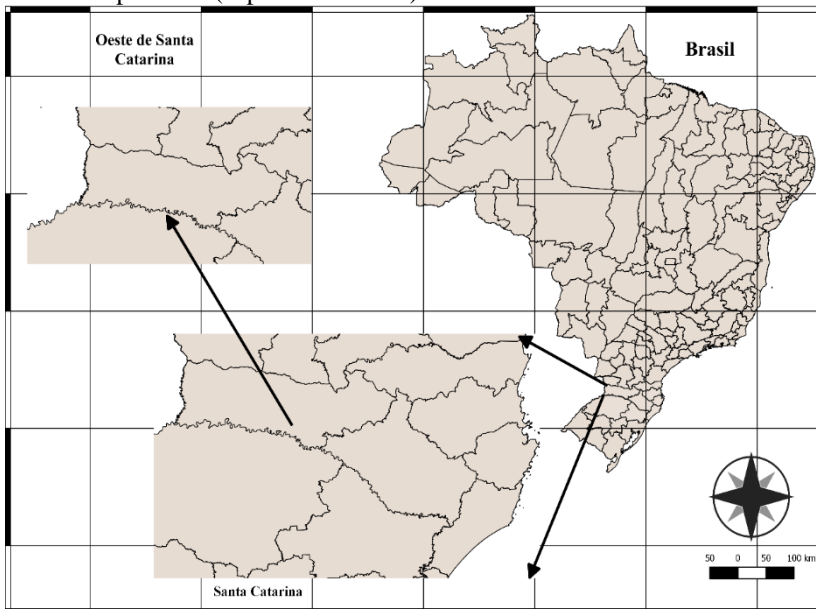


Figura 1 – Mapa destaque das regiões Sul do Brasil e Oeste de Santa Catarina

As redes de estações hidrometeorológicas, no estado de Santa Catarina, apesar do esforço das principais instituições responsáveis, ainda são muito distantes entre si. Para minimizar essa dispersão, instituições como a EPAGRI/CIRAM, Secretaria de Estado da Defesa Civil (SDC) e Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) em conjunto e em parceria com a Agência Nacional de Águas (ANA) tem realizado projetos de inserção de novas estações nas regiões com baixa concentração (Figura 2).

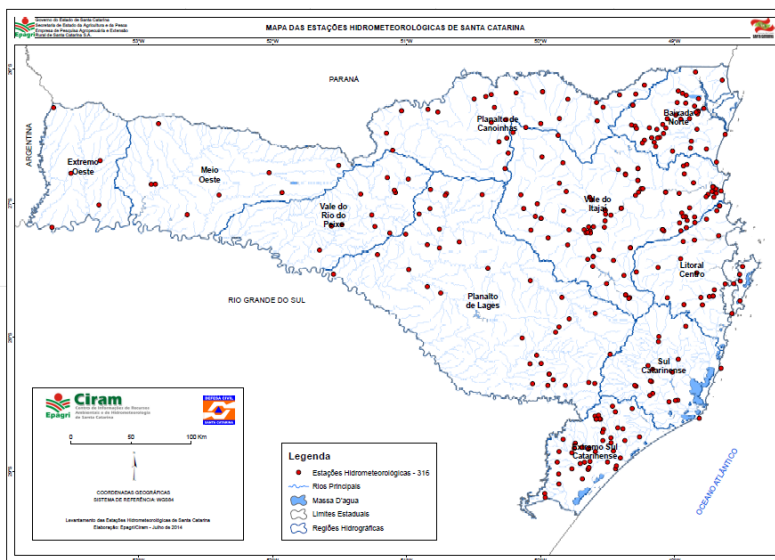


Figura 2 – Estações Hidrometeorológicas EPAGRI/CIRAM. Fonte: (SDC/SC; EPAGRI/CIRAM, 2014)

Considerando a abrangência da região Oeste e Meio Oeste e a constante busca por mapear e monitorar essas regiões, foi inaugurado no ano de 2017 o Radar Meteorológico do Oeste (RMO) para auxiliar no monitoramento dos sistemas precipitantes, como também, melhorar a resolução espaço-temporal das estimativas de chuva e previsão de tempestades. A circulação atmosférica e fatores climáticos como o relevo da Cordilheira dos Andes, influenciam na formação dos CCM's e conforme (Wilson e Schreiber, 1986) a presença de um radar meteorológico, em uma região com características geográficas semelhantes, se mostrou fundamental na observação de linhas de tempestades em formação com até duas horas de antecedência.

O radar, apesar de já comprovada eficiência, apresenta erros que são sensíveis às calibrações e às físicas envolvidas nos sistemas naturais. Esses sistemas são associados às variações da microfísica de nuvens, distribuição variável do formato de gotas de chuva, ganho da antena, camadas de derretimento das nuvens. Tais fatores podem alterar a relação

entre a estimativa de precipitação por radar e a medição *in situ* dos pluviômetros (Austin, 1987). Não obstante, as variáveis associadas aos sistemas meteorológicos também oferecem desafios à estimativa por radar, por exemplo, em estimativas de precipitação para sistemas de chuva estratiforme há uma tendência em superestimar precipitações abaixo de 25 mm registrados e em subestimar precipitações acumuladas mais altas que este valor (Pereira Filho; Nakayama, 2001).

Quando comparadas as estimativas de precipitação por radar e o mensurado nos pluviômetros, a correlação entre as medidas são favoráveis a mostrar a eficácia e capacidade dos radares, com valores de correlação acima de 0.7, como obtido no estudo de (Brandes et al., 1999) que correlacionaram as medidas de tempestades nos estados americanos do Colorado e Kansas. Os valores associados variaram entre 0.77 e 0.95. Esses resultados com menores valores de correlação, na faixa de 0.7 estão associados às tempestades isoladas, presença de granizo e às precipitações que aumentaram bruscamente de intensidade em um curto espaço de tempo.

Quaisquer que sejam as variáveis relacionadas a um determinado estudo de caso, a estatística comumente usada é aquela em que será analisada a linearidade do observado (O) e do estimado (P).

1.1 OBJETIVO GERAL

Analisar o desempenho na estimativa de precipitação pelo Radar Meteorológico do Oeste (RMO) comparando com as medidas obtidas por pluviômetros em diferentes escalas de tempo.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Identificar os períodos de precipitação registrada compatíveis com a metodologia aplicada;
- b) Comparar estatisticamente os acumulados de precipitação obtidos das estações com o acumulado estimado pelo radar em diferentes intervalos de tempo.

2. REVISÃO DE FUNCIONAMENTO DO RADAR

2.1 RADAR METEOROLÓGICO

O radar, da sigla em inglês *Radio Detection And Ranging*, é um dispositivo eletrônico capaz de detectar objetos e inferir sua distância através de pulsos eletromagnéticos. Esses pulsos são emitidos através de uma antena, os quais são da ordem de microssegundos (μs) e por serem ondas tem um comprimento de onda λ da ordem de centímetros (cm). Essas características inferem pulsos com alta energia a fim de alcançar longas distâncias viajando em uma velocidade igual à da luz (c). Ao encontrar o alvo, seja ele hidro meteorológico, como uma gota, ou não, a energia se dispersa em todas as direções (Figura 3), porém, uma parte dessa energia é retornada, por refletividade, na direção do pulso emitido e captado pelo radar. A distância da gota de chuva é determinada pelo intervalo de tempo entre a emissão e a captação do pulso refletido (Figura 3).

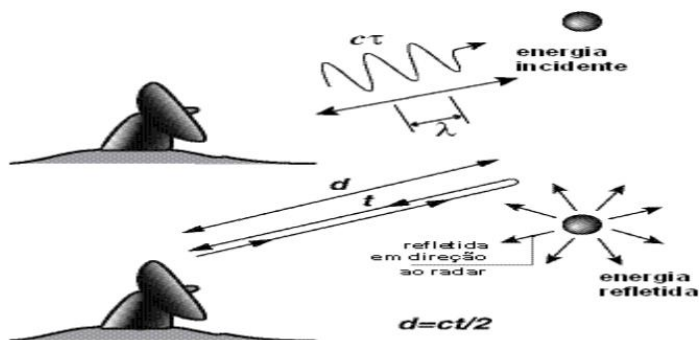


Figura 3 - Esquema emissão e captação de energia emitida por uma gota. A distância do alvo é dada pela relação entre o tempo de emissão e captação e velocidade da luz, expressa em $d = ct/2$. Fonte: (Pereira Filho; Nakayama, 2001)

2.2 EQUAÇÃO DO RADAR

A partir da potência recebida pelo radar é possível estimar a natureza do alvo, se hidrometeoro ou não, classificação do hidrometeoro entre outros. Isso é possível através da *Equação do Radar*, que é função da potência recebida pelo mesmo e a seção retro-espalhada do alvo (Hantel 1993).

Portanto, a refletividade Z do alvo, é estimada de acordo com a P_r que, através das dependências características técnicas dos componentes do radar como antena, condições de propagação, magnitude do alvo é relacionada. Por fim, a equação do radar é:

$$Pr(r) = \frac{\pi^2 P_t G^2 G_r \Theta^2 c \tau |K|^2 Z}{2^{10} \ln(2) \lambda^2 r^2 L_{atm}^2 L_{mf}} \quad (1)$$

Onde:

P_T = Potência de Pico transmitido pela antena;

G = Ganho total da antena;

G_R = Ganho total do receptor (considerando perdas no caminho);

Θ = Largura do feixe de 3dB;

$|K|$ = Constante Dielétrica (0,93 para chuva e 0,2 para gelo e neve);

λ = Comprimento de onda transmitido;

L_{atm} = Atenuação atmosférica entre a antena e o alvo;

L_{MF} = Perdas oriundas de filtros.

τ = Comprimento do pulso transmitido.

A medida de refletividade Z é dada em $mm^6 m^{-3}$, a qual representa o espalhamento da seção transversal dos hidrometeoros no volume de $1m^3$. Essa refletividade está associada à sexta potência do diâmetro das gotas:

$$Z = \int_0^{\infty} N(D) D^6 dD \quad (2)$$

Onde $N(D)$ é o número de gotas com diâmetro D .

A intensidade de precipitação R é dada como o fluxo de água através de uma superfície e pode ser estimada por:

$$R = \frac{\pi}{6} \int_0^{\infty} V(D)N(D)D^3 dD \quad (3)$$

Onde $V(D)$ é o volume das gotas com diâmetro D .

Por fim, das equações (2.2) e (2.3), pode-se obter a relação de transformação de taxa de precipitação ($mm h^{-1}$) e refletividade ($mm^6 m^{-3}$):

$$Z = aR^b \quad (4)$$

Há uma variação significativa dos parâmetros a e b conforme estão associados aos sistemas meteorológicos. As variações estão associadas principalmente ao tipo de precipitação analisada. Podem ser obtidos através dos métodos de interpretação dos dados de precipitação:

- Comparação com os dados de chuva nas estações pluviométricas e as estimadas pelo radar;
- Medição direta da variabilidade do tamanho da gota de chuva por meio de disdrômetros (Lee; Zawadzki, 2005).

As relações entre Z e R podem ser encontradas nas mais diversas literaturas. Essas diferenciarão uma das outras por serem medidas com grau de precisão significativo e influenciadas pelo sistema que ocasionará a precipitação, variando, portanto, de região para região. A primeira e mais difundida relação é a de *Marshall & Palmer (1948)* a qual é designada para sistemas estratiformes e de latitudes médias.

Tabela 1 – Relações Z-R mais encontradas

| Z = a x R^b | A | b | Sistema |
|------------------------------|----------|----------|--------------------------------|
| Marshall & Palmer (1948) | 200 | 1,6 | Homogêneas e Estratiformes |
| Jones (1956) | 486 | 1,37 | Precipitações Convectivas |
| WSR-88D | 300 | 1,4 | Convecções de Verão |
| Rosenfeld | 250 | 1,2 | Sistemas Convectivos Tropicais |

Fonte: (Pereira Filho; Nakayama, 2001)

Por conveniência são adotados valores que facilitam a utilização e, portanto, a refletividade é utilizada em uma escala logarítmica:

$$dBZ = 10 \log Z \quad (5)$$

Assim, se em um determinado volume, a refletividade de ordem $10^5 mm^6 m^{-3}$, por exemplo, apresentará Z igual a 50dBZ.

Tabela 2 - Relação entre a refletividade(dBZ) e intensidade de chuva

| Refletividade(dBZ) | Intensidade do echo | Intensidade da Precipitação |
|---------------------------|----------------------------|------------------------------------|
| <30 | Fraca | Fraca |
| 30 - 41 | Moderada | Moderada |
| 41 - 46 | Forte | Forte |
| 46 - 50 | Muito Forte | Muito Forte |
| 50 - 57 | Intensa | Intensa |
| >57 | Extrema | Extrema |

Fonte: (Falconer, 1984)

2.2.1 Mapas De Precipitação

Os mapas de precipitação são obtidos de acordo com a varredura do radar, movimentos de rotação e elevação são executados a fim de mapear a área de alcance em azimute e elevação (Figura 4).

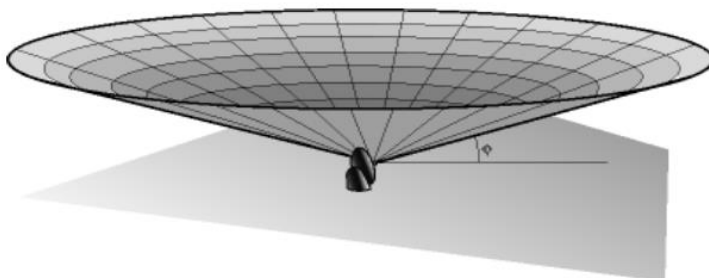


Figura 4 - Esquema de varredura de um radar meteorológico para uma angulação em Φ . Fonte: (Pereira Filho; Nakayama, 2001)

As varreduras são feitas a fim de obter mapas horizontais de precipitação e são realizadas de duas formas:

- PPI – Plan Position Indicator, correspondente a refletividade numa elevação projetada em um plano horizontal.
- CAPPI - Constant Altitud Plan Indicator, correspondente a refletividade num segmento de elevações em altitude constante.

2.2.2 Banda Brilhante

O fenômeno de banda brilhante(BB) é conhecido na literatura (Hantel 1993) como uma camada de alta refletividade formada devido ao derretimento do gelo. Está, esse efeito, associado à isoterma de zero graus. Quando o gelo alcança a velocidade terminal começa o processo de fusão com temperatura ainda menor que a de congelamento, dá-se início ao derretimento das camadas mais externas para a mais interna. Assim, uma camada de água se forma e reveste o gelo. O radar ao interceptar essa isoterma, interpreta o alvo, com formato irregular, como uma grande partícula de água e aumenta o valor de refletividade lida. Esse fenômeno pode causar erros na medição de taxa de precipitação, uma vez que para encontrar essa estimativa utiliza-se o dado de constante de fase $|K|^2$ do echo, que para a chuva, em torno de 0,93, é maior que a do gelo, aproximadamente 0,4.

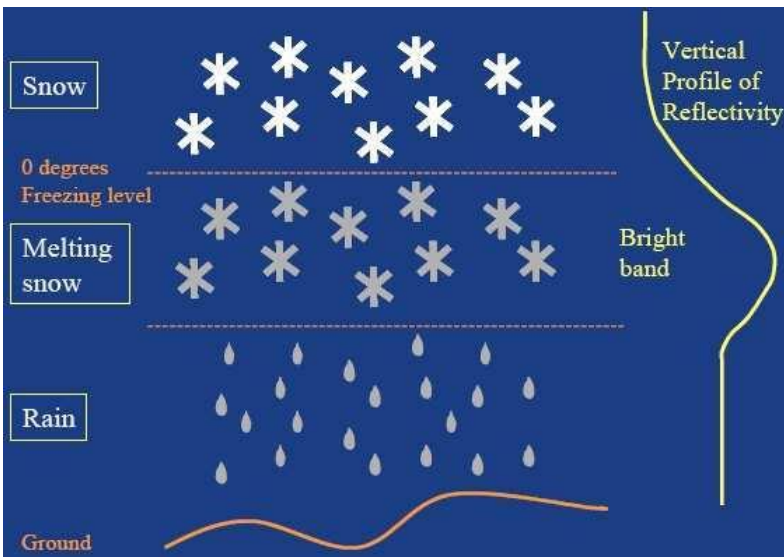


Figura 5 - Perfil vertical do efeito de Banda Brilhante. Fonte: (Goormans, 2011)

2.3 RADAR METEOROLÓGICO DO OESTE

O Radar Meteorológico do Oeste (RMO) é do tipo banda S, ou seja, o comprimento de onda λ é da faixa de 10 cm. Sua operacionalização gera mapas de precipitação, com resolução espacial de 2 km x 2 km, a cada 328 segundos. O RMO opera em duas varreduras, quando em modo de vigilância (sem alvos, associados às tempestades, próximos) com área circular de 400km de raio; quando em operação com alvos próximos, sua abrangência diminui, para melhor qualidade dos dados, à 240km. Tem, geograficamente, abrangência sobre as regiões Meio Oeste, Oeste e Extremo Oeste de Santa Catarina, boa parte do Sudoeste do Paraná, Noroeste do Rio Grande do Sul e Nordeste da Argentina.

O RMO está instalado nas seguintes coordenadas:

- Latitude: 27° 05' 47" S
- Longitude: 52° 37' 06" W
- Altitude: $z = 822$ m

O RMO tem como componentes a antena, o radôme, guia de onda, transmissor, receptor, pedestal e demais componentes que dão características ao instrumento de dupla polarização que permite monitorar, em curtíssimo prazo, a evolução espaço-temporal dos sistemas precipitantes sobre a região Oeste do estado de Santa Catarina.

Para a varredura que tem como tempo final 328 segundos, são usadas as calibrações físicas do radar, nas onze elevações dessa tarefa, como a PRF, traduzido como frequência de repetição de pulso, que dará quantos pulsos são emitidos por segundo, velocidade da antena, em graus por segundo, dentre outras características (Tabela 3).

Tabela 3 - Calibrações físicas do RMO adaptada SDC/SC

| Colunas1 | Slice 1 | Slice 2 | Slice 3 | Slice 4 | Slice 5 | Slice 6 |
|--------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Elevation(°) | 20 | 16.1 | 12.9 | 10.2 | 8 | 6.1 |
| Stop Range(km) | 55 | 70 | 80 | 120 | 135 | 175 |
| Staggering | none | none | none | none | 5/4 | 5/4 |
| High PRF(Hz) | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 600 | 600 |
| Low PRF(Hz) | 0 | 0 | 0 | 0 | 480 | 480 |
| Dual PRF MODE(*) | Adaptive | Adaptive | Adaptive | Adaptive | Adaptive | Adaptive |
| Pulse With | 0.4μS | 0.4μS | 0.4μS | 0.4μS | 1.6μS | 1.6μS |
| AntennaSpeed(%/s) | 25 | 25 | 25 | 18 | 11 | 11 |
| Time-Sampling | 48 | 48 | 48 | 67 | 25 | 25 |

| Colunas1 | Slice 7 | Slice 8 | Slice 9 | Slice 10 | Slice 11 |
|--------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Elevation(°) | 4.5 | 3.2 | 2.2 | 1.3 | 0.6 |
| Stop Range(km) | 220 | 240 | 240 | 240 | 240 |
| Staggering | 5/4 | 5/4 | 5/4 | 5/4 | 5/4 |
| High PRF(Hz) | 600 | 600 | 600 | 600 | 600 |
| Low PRF(Hz) | 480 | 480 | 480 | 480 | 480 |
| Dual PRF MODE(*) | Adaptive | Adaptive | Adaptive | Adaptive | Adaptive |
| Pulse With | 1.6μS | 1.6μS | 1.6μS | 1.6μS | 1.6μS |
| AntennaSpeed(%/s) | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 |
| Time-Sampling | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |

| | |
|-----------------------|------|
| Execution time | 328s |
|-----------------------|------|

Fonte: (Secretaria de Estado da Defesa Civil, 2017)

3.METODOLOGIA E DADOS

3.1 DADOS DO RADAR METEOROLÓGICO DO OESTE

Por ser um radar de dupla polarização, o RMO é capaz de caracterizar com mais eficiência os hidrometeoros (Hantel, 1993). Assim, os dados, em ASCII, utilizados nesse trabalho foram referentes ao produto de precipitação acumulada (PAC), para 10min, 60min e 24 horas, embutido na tarefa de varredura do radar para produto de estimativa de intensidade de precipitação em superfície por dupla-polarização (DPSRI), ou seja, foi utilizado o produto da integral no tempo da estimativa de precipitação, que já se demonstrou eficaz em relação à varredura de polarização simples (Vucinic and Nadj, 2014). Os valores foram obtidos através de *script* em linguagem *python* desenvolvido para esse estudo de caso. Foram analisados 240 dados de volumes gerados para cada um dos dias em análise. Os dados em ASCII são em formatos de matriz (800 x 800), cada elemento da matriz dado por a_{ij} representa um pixel do mapa com respectiva latitude e longitude. Para georreferenciar o arquivo, utiliza-se a fórmula dada no cabeçalho do mesmo, onde a lat/lon do pixel de coluna i e linha j é:

$$\begin{aligned} lat &= yllcorner + latcellsize * i \\ lon &= xllcorner + loncellsize * j \end{aligned}$$

(6)

Onde:

yllcorner é a latitude de referência no canto superior esquerdo -24.870547;
xllcorner é a longitude de referência no canto superior esquerdo -54.982299;

latcellsize é o tamanho do pixel de longitude com espaçamento de -0.00539365625;

loncellsize é o tamanho do pixel de longitude com espaçamento de 0.0060629875

3.2 DADOS DOS PLUVIÔMETROS

Os dados medidos de precipitação foram obtidos das estações pluviométricas do CEMADEN. Foram selecionadas nove estações (na área de abrangência do RMO), que geram dados de acumulados em um intervalo de 10 minutos. Para fins de comparação com as estimativas do radar, foram utilizados os acumulados de 10 e 60 minutos, como também de 24 horas de 6 outubro de 2017 à 31 de janeiro de 2018, medidos nos pluviômetros de respectivo código, geolocalização, município, distância em linha reta do radar e altitude (Tabela 4).

Tabela 4 – Coordenadas geográficas, código, município, altitude e distância (km) em linha reta até o radar em que estão localizados os pluviômetros a serem utilizados neste estudo.

| Código Estação | Latitude | Longitude | Cidade | Altitude (m) | Distância (km) |
|-----------------------|-----------------|------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|
| 420500101 | -26.2622 | -53.6375 | DIONÍSIO CERQUEIRA | 820 | 137.63 |
| 420550602 A | -27.049 | -50.934 | FRAIBURGO | 1089 | 166.64 |
| 420840101 | -27.1726 | -53.711 | ITAPIRANGA | 181 | 107.65 |
| 421100901 | -27.103 | -53.3951 | MONDAÍ | 220 | 76.88 |
| 421420102 | -26.6802 | -52.7468 | QUILOMBO | 522 | 48.13 |
| 421950701 A | -26.8394 | -52.4117 | XANXERÊ | 800 | 35.11 |
| 421720401 | -26.738 | -53.5258 | SÃO MIGUEL DO OESTE | 605 | 98.41 |
| 421210601 | -27.0681 | -53.1586 | PALMITOS | 391 | 53.60 |
| 421050601 | -26.7606 | -53.1742 | MARAVILHA | 575 | 66.52 |

3.3 MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO

Ao se considerar a posição geográfica de Santa Catarina, em relação ao Brasil, e a região Oeste em relação ao estado, nos modelos digitais de elevação se tem as características topográficas das regiões, plotados em *script*, em *python*, utilizando a biblioteca GDAL(GDAL - Geospatial Data Abstraction Library, Version 2.2.1), para mesclar os arquivos em formato geotiff, retirados da mapoteca digital da Epagri e converter para o formato padrão de *datum* geodésico SIRGAS 2000. No estado em geral, observa-se até as longitudes entre -49° e -50° a presença de região litorânea, próximo ao nível do mar, ao se afastar para oeste há a presença de um planalto acima de 1000 metros de altitude e um pouco mais à oeste de -51° de longitude presença de vales (Figura 5).

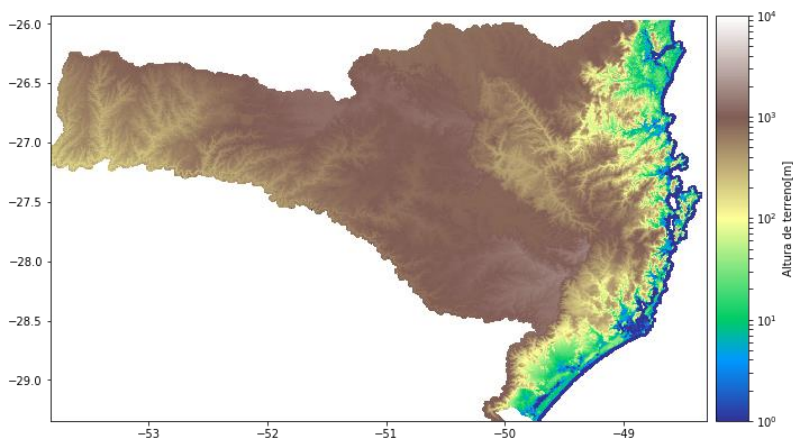


Figura 6 – Modelo Digital de Elevação do estado de Santa Catarina

Aproximando o modelo para a região em estudo (Oeste), é possível perceber a presença de vales na região e a variação das altitudes entre a localização dos pluviômetros, como também a topografia onde o RMO está instalado.

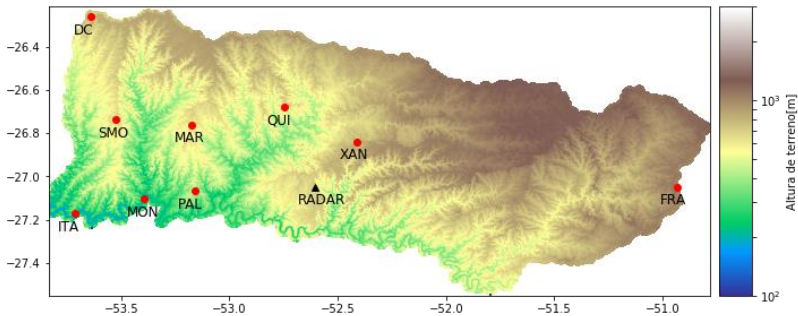


Figura 7 – Modelo Digital de Elevação da região Oeste de Santa Catarina

3.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Essa análise é feita através da variável de correlação de Pearson, r , ou do coeficiente de determinação, r^2 , que explica a proporção total da variância pelo modelo. Entretanto, novo método estatístico tem desvendado os erros encapsulados nos modelos que não são visíveis aos métodos anteriores. A dimensão desses erros pode ser encontrada no Erro Quadrático Médio (EM), no Erro Padrão de Estimativa (EPE), Índice de Concordância (d), Índice de Confiança (c), Eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE) e, facilmente, interpretada pois tem as mesmas dimensões de O e P. Esse método é constantemente utilizado nas validações de modelos físicos, oceanográficos e meteorológicos (Wilmott, 1981).

A precipitação diária estimada pelo radar e medida nos pluviômetros de respectivas localizações são utilizadas para estimar o viés.

$$RP = \frac{\sum_{i=1}^N P_i^r}{\sum_{i=1}^N P_i^p} \quad (7)$$

Como também o coeficiente de correlação de Pearson (r) para as acumulações de 10 e 60 minutos e 24 horas.

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2] * [n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2]}} \quad (8)$$

em que:

n = número de pares de medidas radar-pluviômetro;

X_i = medidas de precipitação obtidas por pluviômetro;

Y_i = medidas de precipitação obtidas por radar.

Ressalta-se, porém, que um coeficiente de correlação alto não garante relação entre os dados.

O Índice de Concordância (d) (Wilmott, 1981), descrito pela equação 9, varia de 0 a 1 e representa o quanto os valores de precipitação estimados pelo radar se ajustam aos valores obtidos pelos pluviômetros, sendo que, valores iguais a um indicam uma concordância perfeita.

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - X_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|Y_i - \bar{X}| + |X_i - \bar{X}|)} \right] \quad (9)$$

em que:

X_i = valores de precipitação estimados pelo radar;

\bar{X} = média dos valores de precipitação estimada pelo radar;

Y_i = valores registrados pelos pluviômetros;

N = número de dados de precipitação.

Analogamente, para a análise de confiabilidade de precipitação estimada pelo radar, considerou-se o Índice de Confiança (c), proposto por (Camargo & Sentelhas 1997) conforme equação 10. O critério adotado para interpretar os valores de c, consta na Tabela 5.

$$c = r * d \quad (10)$$

Tabela 5 - Critério de interpretação do índice de confiança

| Índice de confiança (c) | Desempenho |
|--------------------------------|-------------------|
| >0,85 | Ótimo |
| 0,76 a 0,85 | Muito Bom |
| 0,66 a 0,75 | Bom |
| 0,61 a 0,65 | Mediano |
| 0,51 a 0,60 | Sofrível |
| 0,41 a 0,60 | Mau |
| ≤ 0,40 | Péssimo |

Fonte: (Camargo & Sentelhas 1997)

O Erro Padrão de Estimativa (EPE), pode ser calculado utilizando a equação 11:

$$EPE = \left(\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - X_i)^2}{N-1} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (11)$$

Já o Erro Médio (EM), representa a diferença média de precipitação estimada pelo radar e os valores registrados pelos pluviômetros. O EM indica a possível tendência dos dados do radar em superestimar (EM>0) ou subestimar (EM<0) os dados de precipitação, sendo calculado conforme equação 12:

$$EM = \sum_{i=1}^N (Y_i - X_i) \quad (12)$$

Com a finalidade de determinar a eficiência do modelo instaurado no RMO, foi introduzida também à análise em estudo a equação de Nash-Sutcliffe. Essa é baseada na análise da soma quadrada absoluta do estimado pelo radar e pelo observado no pluviômetro, dividida pela variância do observado no respectivo período.

$$NSE = \frac{\sum(Y_i - X_i)^2}{\sum(X_i - \bar{X})^2} \quad (13)$$

Essa fórmula tem a mesma finalidade da relação R^2 do método de regressão linear, porém aplicada diretamente ao dado e modelo de previsão (radar) originais. O resultado pode variar de $-\infty$ a 1. Sendo valores negativos indicativo de quanto o observado (pluviômetro) é um melhor previsor que o modelo e valores positivos a 1 indicando o quão melhor o modelo proposto é um melhor ou previsor perfeito para o evento.

4.RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nos 240 dados diários, a exemplo do mês de dezembro, alguns tiveram que ser descartados, ora por não funcionamento dos pluviômetros, ora por medidas de manutenção no radar. Para uma análise de precipitação observada, foram utilizados somente valores de pares (pluviômetro/radar) que apresentassem valores maiores ou iguais a 1mm de chuva e se quantificados em mais de 10 comparações.(Goudenhoofd; Delobbe, 2009).

Na Tabela 6 tem-se os registros de dados de precipitação para cada um dos municípios.

Tabela 6 – Número de dados de precipitação (> 1mm) durante o período em estudo

| Pluviômetros | Dados de Precipitação |
|----------------------------|------------------------------|
| Dionísio Cerqueira | 47 |
| Fraiburgo | 77 |
| Itapiranga | 130 |
| Mondaí | 127 |
| Quilombo | 140 |
| Xanxerê | 127 |
| São Miguel do Oeste | 116 |
| Palmitos | 117 |
| Maravilha | 149 |

Fonte: (Elaborado pelo autor, 2018)

A Tabela 7 apresenta os dias de chuva na região oeste de Santa Catarina, sob domínio de alcance do radar meteorológico, e registrados pelos pluviômetros.

Tabela 7 – Dias de precipitação (> 1mm) registrados pelos pluviômetros

| Dias de precipitação | | |
|-----------------------------|------------|------------|
| 06/10/2017 | 10/01/2018 | 18/01/2018 |
| 29/10/2017 | 11/01/2018 | 20/01/2018 |
| 10/11/2017 | 12/01/2018 | 21/01/2018 |
| 17/11/2017 | 13/01/2018 | 22/01/2018 |
| 21/11/2017 | 14/01/2018 | 23/01/2018 |
| 25/11/2017 | 15/01/2018 | 24/01/2018 |
| 01/01/2018 | 16/01/2018 | 28/01/2018 |
| 02/01/2018 | 17/01/2018 | |

Na Tabela 8 constam as análises estatísticas quanto ao desempenho do RMO para as precipitações acumuladas em 24 horas no comparativo com os registros instrumentais obtidos em Dionísio Cerqueira (DC), Fraiburgo (FRA), Itapiranga (ITA), Mondaí (MON), Quilombo (QUI), Xanxerê (XAN), São Miguel do Oeste (SMO), Palmitos (PAL) e Maravilha (MAR).

Tabela 8 - Análise estatística quanto ao desempenho da precipitação de 24 horas pelo RMO

| | EM | EPE | NSE | Viés | c | d | r | tendência |
|--------------|-----------|------------|------------|-------------|----------|----------|----------|------------------|
| DC | 15.97 | 24.68 | -3.07 | 1.95 | 0.20 | 0.51 | 0.39 | Superestimar |
| FRA | 3.65 | 11.06 | 0.34 | 1.23 | 0.61 | 0.89 | 0.68 | Superestimar |
| ITA | 9.77 | 21.15 | -0.92 | 1.43 | 0.68 | 0.79 | 0.87 | Superestimar |
| MON | 5.00 | 9.45 | 0.37 | 1.23 | 0.74 | 0.87 | 0.84 | Superestimar |
| QUI | 6.58 | 13.46 | 1.00 | 1.26 | 0.79 | 0.94 | 0.84 | Superestimar |
| XAN | -1.24 | 10.69 | 0.44 | 0.94 | 0.54 | 0.80 | 0.68 | Subestimar |
| SMO | 10.05 | 18.12 | 0.09 | 1.55 | 0.73 | 0.85 | 0.86 | Superestimar |
| PAL | 5.22 | 11.05 | 0.24 | 1.31 | 0.65 | 0.83 | 0.78 | Superestimar |
| MAR | -2.64 | 12.04 | 0.60 | 0.90 | 0.70 | 0.88 | 0.80 | Subestimar |
| Média | 5.82 | 14.63 | -0.10 | 1.31 | 0.63 | 0.82 | 0.75 | Superestimar |

Tendo em vista a média dos erros médios em 5.82mm, os valores que representaram um peso maior para esse resultado fora os encontrados para Dionísio Cerqueira, Itapiranga e São Miguel do Oeste. Observa-se que o índice de Nash-Sutcliffe ficou abaixo do esperado (-0.10) (Collins et al., 2011), tendo como resultado, na média, uma melhor previsão pelos pluviômetros. Destaques para Dionísio Cerqueira, Itapiranga e São Miguel do Oeste como pontos negativos ao uso do modelo e como ponto positivo à

previsão de estimativa pelo radar para Quilombo com um índice perfeito de previsão. Com uma correlação média em 0.75, há um indicativo favorável à eficácia do radar, conforme (Brandes et al., 1999). O índice de concordância médio em 0.82 apresenta uma estimativa favorável à concordância entre os valores obtidos pelo radar e pluviômetro com um viés médio de 1.31, o radar tende a superestimar a precipitação acumulada em 24 horas em relação aos registrados pelos pluviômetros. O resultado de confiança de acordo (Camargo & Sentelhas 1997) foi mediano à bom, esse é principalmente associado ao desempenho para os sítios de Dionísio Cerqueira, Fraiburgo e Xanxerê.

Em análise às retas de linearidade entre os pares (Figura 4a à 4i), para 24 horas, em Dionísio Cerqueira, o radar tende a superestimar para valores acumulados abaixo de 40mm. No caso de Fraiburgo apesar de, na média, superestimar, para valores acumulados acima de 30mm o radar tende a subestimar. Em Itapiranga tende a subestimar valores entre 0 e 1mm. Para Mondaí, a tendência é sempre em superestimar, ao apresentar a reta de linearidade paralela à reta $1x1$. Ao analisar a reta de linearidade para Quilombo, observa-se tendência em subestimar quando valores acumulados ultrapassarem os 50mm. Quando acumulados abaixo de 20mm, em Xanxerê, a tendência é em superestimar. Para São Miguel do Oeste, tendência em superestimar. Em Palmitos e Maravilha há tendência de subestimar para valores acima de 50mm e acima de 20mm respectivamente.

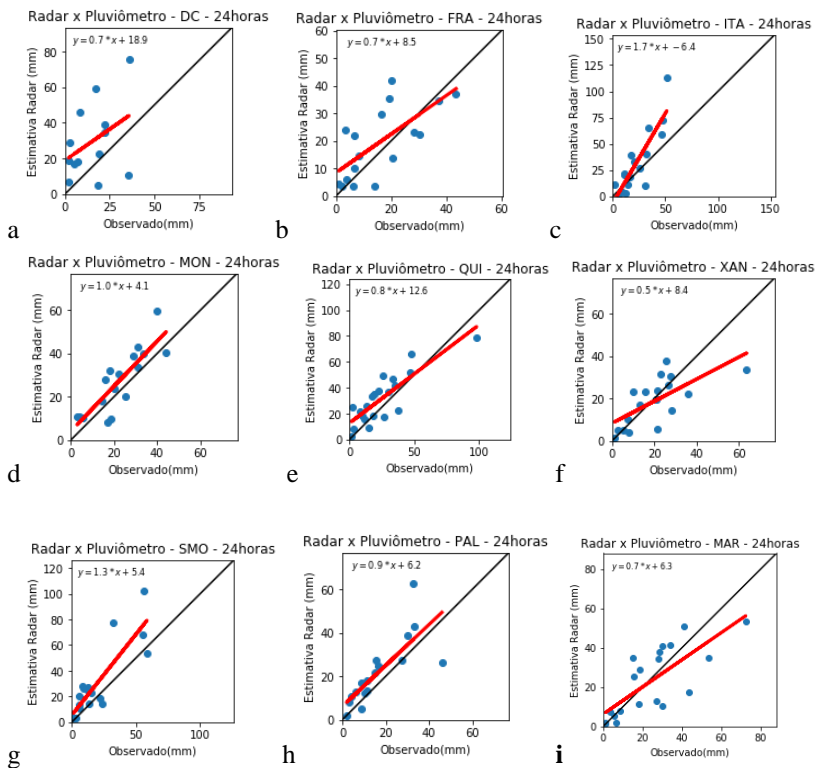


Figura 8 – Gráficos de dispersão e retas linearizadas dos pares radar/pluviômetros para os sítios analisados em intervalo de 24 horas para Dionísio Cerqueira (4a), Fraiburgo (4b), Itapiranga (4c), Mondai (4d), Quilombo (4e), Xanxerê (4f), São Miguel do Oeste (4g), Palmitos (4h), Maravilha (4i).

Quando comparados os máximos estimados pelo radar e observados nos pluviômetros, em 24 horas de acumulados, o radar tende a apresentar valores maiores para Dionísio Cerqueira, Itapiranga, Mondaí, São Miguel do Oeste e Palmitos. Na figura 7 é possível perceber essa relação tendo como base os valores acumulados e registrados, o desvio padrão de cada série de dados em acumulados e registrados e a razão logarítmica.

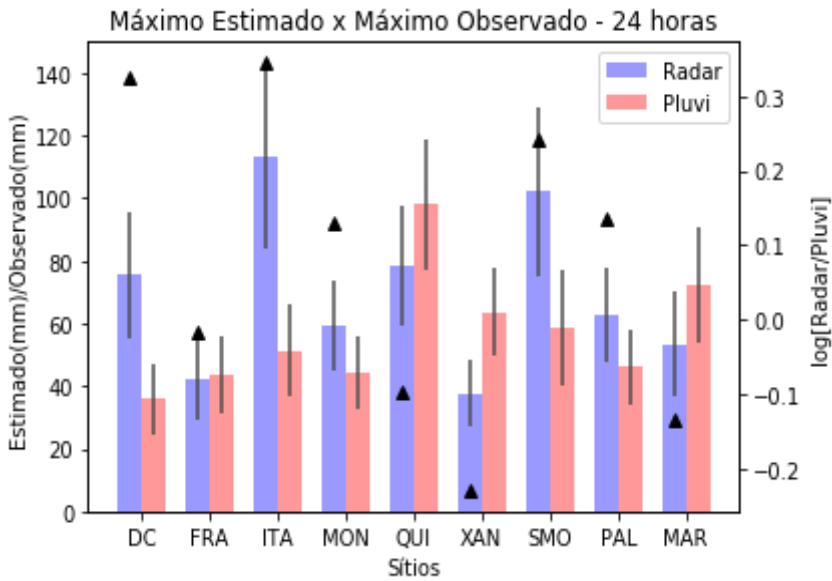


Figura 9 – Gráfico em barras de comparativo de máximo estimado e máximo observado nos respectivos sítios analisados com desvio padrão de cada série de dados (linhas retas) e razão logarítmica entre os pares (triângulos).

Na tabela 9 idem ao desempenho estatístico para 24 horas, mas para 60 minutos. Para os valores de pares radar-pluviômetro quanto ao desempenho em 60 minutos de acumulados, em termos de erro médio, observa-se que os sítios com pesos predominantes para o valor de 1.62 foram Dionísio Cerqueira, Itapiranga, e São Miguel do Oeste.

Tabela 9 – Análise de desempenho estatístico para 60 minutos de acumulados

| | EM | EPE | NSE | Viés | c | d | r | tendência |
|--------------|------|------|--------|------|-------|------|-------|--------------|
| DC | 4.12 | 8.54 | -18.81 | 2.29 | -0.01 | 0.20 | -0.04 | Superestimar |
| FRA | 1.18 | 7.60 | -0.36 | 1.17 | 0.15 | 0.58 | 0.26 | Superestimar |
| ITA | 2.45 | 7.42 | -0.88 | 1.41 | 0.14 | 0.50 | 0.28 | Superestimar |
| MON | 1.67 | 5.91 | -0.43 | 1.29 | 0.27 | 0.63 | 0.43 | Superestimar |
| QUI | 0.51 | 8.51 | 0.00 | 1.07 | 0.31 | 0.67 | 0.46 | Superestimar |
| XAN | 0.08 | 3.41 | 0.56 | 1.02 | 0.64 | 0.85 | 0.75 | Superestimar |
| SMO | 2.71 | 6.98 | 0.32 | 1.40 | 0.54 | 0.80 | 0.68 | Superestimar |
| PAL | 1.87 | 6.02 | 0.13 | 1.36 | 0.44 | 0.74 | 0.60 | Superestimar |
| MAR | 0.01 | 6.24 | 0.25 | 1.00 | 0.40 | 0.72 | 0.56 | Superestimar |
| Média | 1.62 | 6.74 | -2.14 | 1.33 | 0.32 | 0.63 | 0.44 | Superestimar |

O índice de Nash-Sutcliffe apresentou um valor médio ainda menor que o observado em 24 horas, como consequência de desempenho em Dionísio Cerqueira, o valor de -2.14 apresenta uma melhor representação pelos dados dos pluviômetros. Com uma correlação média de 0.44, o radar ainda apresenta uma eficácia favorável, porém com menor respaldo. O índice de concordância em 0.63 apresenta valores para os pares radar-pluviômetro apenas favorável. A razão entre o estimado e o observado apresentou valor semelhante ao diagnosticado em acumulados de 24 horas, com viés em 1.33, o radar tende em média a superestimar os valores para o intervalo de 60 minutos. Para o índice de confiança, o radar apresenta um valor em nível péssimo, 0.32, esse se dá principalmente pelos sítios de Dionísio Cerqueira, Fraiburgo e Itapiranga.

Em todos os municípios, para 60 minutos de acumulados, em média a tendência é em superestimar. Em análise às retas de linearidade entre os pares (Figura 6a à 6i), em Dionísio Cerqueira, o radar tende a superestimar para valores acumulados abaixo de 8mm. No caso de Fraiburgo apesar de, na média, superestimar, para valores acumulados acima de 10mm o radar tende a subestimar, tal qual em Itapiranga e Mondai. Para Quilombo, acumulados acima de 7mm. Para Xanxerê o resultado é semelhante ao município de Quilombo. Em São Miguel do Oeste e Palmitos há tendência para subestimar valores acima de 15mm e em Maravilha valores acima de 6mm.

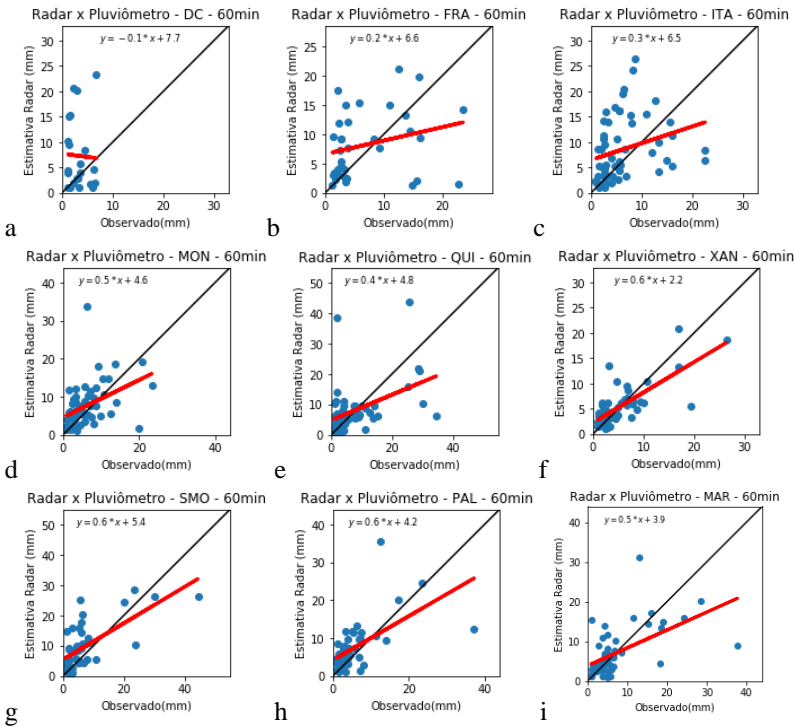


Figura 10 – Gráficos de dispersão e retas linearizadas dos pares radar/pluviômetros para os sítios analisados em intervalo de 60 minutos para Dionísio Cerqueira (6a), Fraiburgo (6b), Itapiranga (6c), Mondaiá (6d), Quilombo (6e), Xanxerê (6f), São Miguel do Oeste (6g), Palmitos (6h), Maravilha (6i).

Quando comparados os máximos estimados pelo radar e observados nos pluviômetros, em 60 minutos de acumulados, o radar tende a apresentar valores maiores para Dionísio Cerqueira, Itapiranga, Mondaiá e Quilombo. Na figura 9 é possível perceber essa relação tendo como base os valores acumulados e registrados, o desvio padrão de cada série de dados em acumulados e registrados e a razão logarítmica entre os máximos.

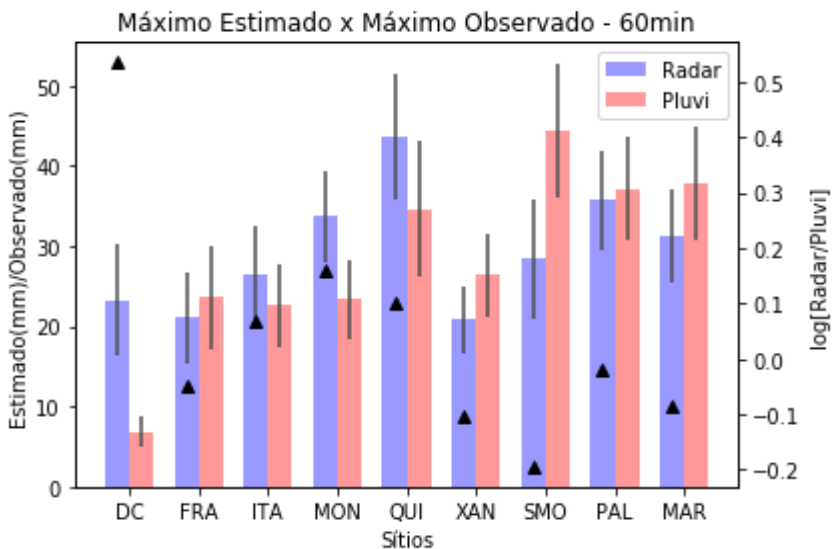


Figura 11 – Gráfico em barras de comparativo de máximo estimado e máximo observado nos respectivos sítios analisados com desvio padrão de cada série de dados (linhas retas) e razão logarítmica entre os pares (triângulos), para 60 minutos.

Na tabela 10 idem ao desempenho estatístico para 24 horas, mas para 10 minutos.

Tabela 10 – Análise de desempenho estatístico para 10 minutos de acumulado

| | EM | EPE | NSE | Viés | c | d | r | tendência |
|--------------|-------|------|--------|------|-------|------|-------|--------------|
| DC | 1.32 | 1.87 | -21.50 | 2.02 | 0.34 | 0.42 | 0.81 | superestimar |
| FRA | -0.92 | 4.60 | -0.40 | 0.76 | -0.07 | 0.23 | -0.32 | subestimar |
| ITA | 0.41 | 2.37 | -0.46 | 1.17 | 0.06 | 0.45 | 0.13 | superestimar |
| MON | -0.46 | 2.41 | 0.02 | 0.83 | 0.17 | 0.53 | 0.32 | subestimar |
| QUI | -0.47 | 5.54 | -0.72 | 0.88 | -0.02 | 0.24 | -0.07 | subestimar |
| XAN | -0.36 | 2.31 | 0.22 | 0.87 | 0.67 | 0.67 | 0.99 | subestimar |
| SMO | 0.12 | 3.31 | 0.11 | 1.04 | 0.24 | 0.60 | 0.40 | superestimar |
| PAL | 0.67 | 3.60 | 0.06 | 1.24 | 0.26 | 0.59 | 0.43 | superestimar |
| MAR | -0.19 | 3.50 | -0.11 | 0.95 | 0.21 | 0.60 | 0.36 | subestimar |
| Média | 0.02 | 3.28 | -2.53 | 1.08 | 0.21 | 0.48 | 0.34 | superestimar |

Quanto ao menor dos períodos de intervalo de precipitação acumulada, o erro médio foi praticamente nulo, os destaques que influenciaram nessa média, para um valor mais positivo foram os sítios de Dionísio Cerqueira, Itapiranga e Palmitos.

O índice de Nash-Sutcliffe apresentou a menor média dentre os intervalos, com valor em -2.53, tende a melhor representar a eficiência de uso dos pluviômetros para o curto intervalo de tempo, esse valor foi, como em todos os outros, influenciado pelo sítio de Dionísio Cerqueira. A correlação média em 0.34 apresenta uma linearidade, apesar de moderada a fraca, entre as variações das duas medidas (estimada e observada). Para o intervalo de 10 minutos, o índice que relaciona a concordância entre os valores, apresentou resultado semelhante (levemente mais concordante) ao intervalo de 60 minutos, 0.48. A razão entre os valores estimados e observados foram praticamente equivalentes, com valor em 1.08, o radar tende a levemente superestimar os valores observados nos pluviômetros. Quanto ao índice de confiança, o resultado, conforme discriminado, foi diagnosticado como péssimo, por apresentar um valor ainda inferior ao intervalo de 24 horas e 60 minutos, 0.21, esse valor se dá principalmente pela influência dos sítios de Quilombo, Mondai, Itapiranga e Fraiburgo.

Para esse intervalo, houve variações nas tendências para cada município, com 5 para superestimar e 4 para subestimar. Quanto a Dionísio Cerqueira, há tendência em subestimar valores acumulados entre 0.1mm e 1mm. Em Fraiburgo há tendência de superestimar valores acumulados abaixo de 3mm. Para Itapiranga o resultado se dá em subestimar quando

maiores que 2mm de acumulados. Em Mondaiá, valores menores que 1mm e maiores que 0.1mm tendem a serem superestimados, tal qual Quilombo e Xanxerê. Em São Miguel do Oeste e Palmitos valores acumulados acima de 5mm são subestimados, enquanto que em Maravilha, valores abaixo de 4mm são superestimados.

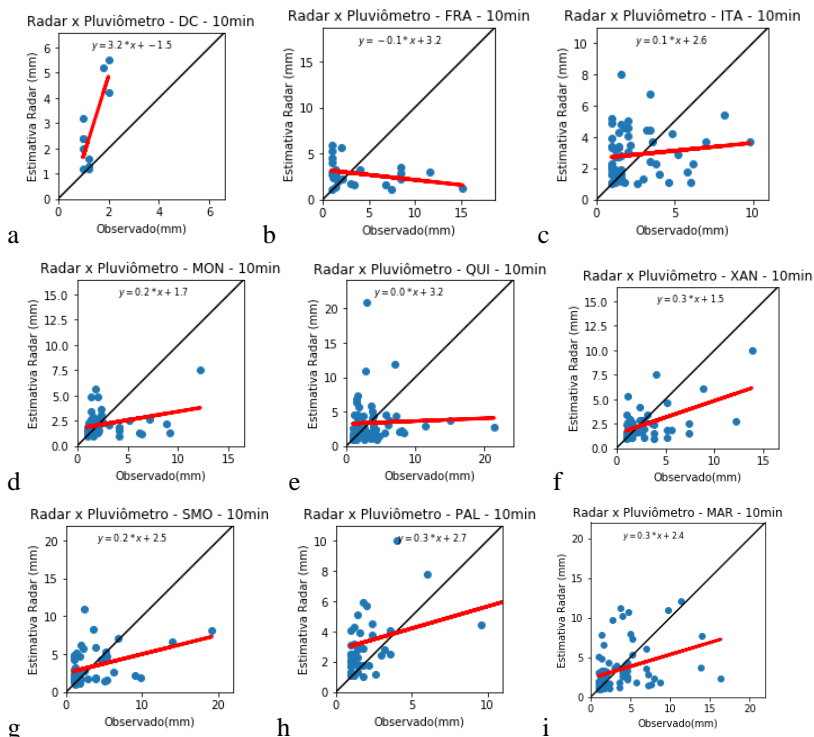


Figura 12 – Gráficos de dispersão e retas linearizadas dos pares radar/pluviômetros para os sítios analisados em intervalo de 10 minutos para Dionísio Cerqueira (8a), Fraiburgo (8b), Itapiranga (8c), Mondaiá (8d), Quilombo (8e), Xanxerê (8f), São Miguel do Oeste (8g), Palmitos (8h), Maravilha (4i).

Quando comparados os máximos estimados pelo radar e observados nos pluviômetros, em 10 minutos de acumulados, o radar tende a apresentar valores maiores para somente Dionísio Cerqueira. Na figura 9 é possível perceber essa relação tendo como base os valores acumulados e registrados, o desvio padrão de cada série de dados em acumulados e registrados e a razão logarítmica entre os máximos.

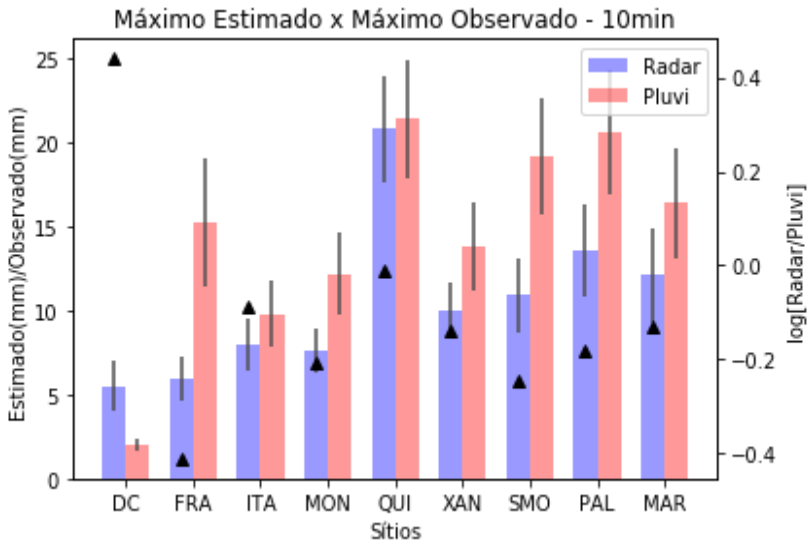


Figura 13 – Gráfico em barras de comparativo de máximo estimado e máximo observado nos respectivos sítios analisados com desvio padrão de cada série de dados (linhas retas) e razão logarítmica entre os pares (triângulos), para 10 minutos.

Ao se inferir um meio para correção de erros sistemáticos, geralmente associados à calibração eletrônica do equipamento (Goudenhoofd; Delobbe, 2009), foram escolhidos o “Erro Médio” e “Viés”. Na Tabela 12, são apresentados os resultados de estimativas de desempenho após a calibração para o município de pior desempenho, isto é, Dionísio Cerqueira.

Tabela 11 – Desempenho estatístico da chuva acumulada pelo radar em 10 e 60 minutos e 24 horas, após a calibração para Dionísio Cerqueira

| | | EM | EPE | NSE | Viés | c | d | r |
|--------------|------|-----------|------------|------------|-------------|----------|----------|----------|
| DC | - | 0.01 | 1.26 | -9.21 | 1.00 | 0.46 | 0.56 | 0.81 |
| 10min | | | | | | | | |
| DC | - | 0.00 | 7.43 | -2.85 | 1.00 | -0.02 | 0.50 | -0.04 |
| 60min | | | | | | | | |
| DC | - 24 | 0.00 | 19.76 | -0.45 | 0.89 | 0.27 | 0.70 | 0.39 |
| horas | | | | | | | | |

Em comparação ao desempenho do radar antes e após as simulações de correções, observa-se que para o município em estudo, Dionísio Cerqueira, houve melhora nos resultados. Na Tabela 13 foram computadas as reduções em percentagem para cada uma das variáveis ajustando o Erro Médio.

Tabela 12 – Percentagem de redução após correções

| | EPE | NSE | Viés | c | d | r |
|-------------------|------------|------------|-------------|----------|----------|----------|
| DC – 10min | -32% | 57% | 50% | 34% | 34% | 0 |
| DC – 60min | -13% | 85% | 56% | 79% | 150% | 0 |
| DC – 24 | -20% | 85% | 54% | 36% | 37% | 0 |
| horas | | | | | | |
| Média | -22% | 76% | 53% | 50% | 74% | 0 |

Na inserção de correção do equipamento, à exemplo da calibração da relação Z-R, para o município com pior desempenho, há uma estimativa de redução de Erro Padrão de Estimativa em torno de 22%. Para o índice

de Eficiência de Nash-Sutcliffe, uma melhora estimada de, em média, 76%. Enquanto que o viés apresentaria um desempenho com cerca de 53% melhor. Para o índice de confiança, há uma estimativa média de melhora em 50% e para o de concordância em 74%.

Nesses resultados, deve-se levar em conta a quantidade de dados de chuva. Há de se inferir uma relação Z-R, diferente de *Marshall & Palmer (1948)* com as características próprias da região (Collins et al. 2011), tal qual, inserir no processamento digital da informação, a altura média da camada de derretimento de acordo com a sazonalidade para atenuar o efeito de banda brilhante (Goormans, 2011). Alterações na quantidade de elevações efetuadas pelo radar, tal qual *sampling* e velocidade da antena podem resultar em alterações para melhor desempenho e economia de energia. Há, também de se levar em conta que a referência para o estudo foram os dados dos pluviômetros, tomando-os como em perfeita funcionalidade, porém quando os índices estatísticos se destacam, em muito, quanto ao desempenho em relação aos outros, pode-se ter que analisar o estado de funcionamento do mesmo.

Para melhor compreensão do estudo, sugere-se caracterizar as estimativas de precipitação consoantes aos sistemas meteorológicos atuantes na região. Assim, categorizar as relações Z-R, como também análise de expansão da rede de pluviômetros dada a abrangência, as variações de elevações de terreno da área de estudo e a escassez de objetos de monitoramento *in loco*.

5. CONCLUSÃO

A metodologia abordada encontrou para todos os municípios analisados valores de precipitação os quais se adequassem a mesma. O radar apresentou boa eficácia para estimativa de precipitação acumulada, para intervalos de 24 horas e 60 minutos com tendência de superestimava. Quanto menor o período de intervalo estimado de chuva menor tende a ser o desempenho do radar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Austin, P. M., 1987: Relation between Measured Radar Reflectivity and Surface Rainfall. *Mon. Weather Rev.*, 115, 1053–1070, doi:10.1175/1520-0493(1987)115<1053:RBMRA>2.0.CO;2.
- Brandes, E. A., J. Vivekanandan, and J. W. Wilson, 1999: A comparison of radar reflectivity estimates of rainfall from collocated radars. *J. Atmos. Ocean. Technol.*, 16, 1264–1272, doi:10.1175/1520-0426(1999)016<1264:ACORRE>2.0.CO;2.
- Camargo, A. P. de, and P. C. Sentelhas, 1997: Performance evaluation of different potential evapotranspiration estimating methods in the State of São Paulo, Brazil. *Rev. Bras. Agrometeorol.*, 5, 89–97. [http://www.leb.esalq.usp.br/agmfacil/artigos/artigos_sentelhas_1997/1997_RB_Agro_5\(1\)_89-97_ETPM%E9todosSP.pdf](http://www.leb.esalq.usp.br/agmfacil/artigos/artigos_sentelhas_1997/1997_RB_Agro_5(1)_89-97_ETPM%E9todosSP.pdf).
- Ceped - Centro Universitário De Estudos E Pesquisas Sobre Desastres, 2012: Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2010: volume Brasil. *Relatórios Técnicos*, 94, doi:978-85-64695-18-4.
- Collins, F., U. Kingdom, and F. Collins, 2011: Rainfall Estimation with an Operational Polarimetric C-Band Radar in the United Kingdom: Comparison with a Gauge Network and Error Analysis. 935–954, doi:10.1175/JHM-D-10-05013.1.
- Falconer, P. D., 1984: A Radar-Based Climatology of Thunderstorm Days across New York State. *J. Clim.*, 23, 1115–1120.
- GDAL. 201x. GDAL - Geospatial Data Abstraction Library: Version 2.2.1, Open Source Geospatial Foundation, <http://gdal.osgeo.org>
- Goormans, T., 2011: *Analysis of local weather radar data in support of sewer system modelling*.
- Goudenhoofdt, E., and L. Delobbe, 2009: Evaluation of radar-gauge merging methods for quantitative precipitation estimates. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 13, 195–203, doi:10.5194/hess-13-195-2009.
- Hantel, M., 1993: *Radar Meteorology*. 107-133 pp.

Lee, G. W., and I. Zawadzki, 2005: Variability of Drop Size Distributions: Time-Scale Dependence of the Variability and Its Effects on Rain Estimation. *J. Appl. Meteorol.*, 44, 241–255, doi:10.1175/JAM2183.1. <http://journals.ametsoc.org/doi/10.1175/JAM2183.1>.

Vucinic, Z., and J. Nadj, 2014: Comparison of polarimetric techniques for precipitation estimation in Serbia. *Eighth Eur. Conf. Radar Meteorol. Hydrol.*, 1–6.

WILLMOTT, C. J. (1981) On the Validation of Models. *Physical Geography*, 2, 184-194.

Wilson, J. W., and W. E. Schreiber, 1986: Initiation of Convective Storms at Radar-Observed Boundary-Layer Convergence Lines. *Mon. Weather Rev.*, 114, 2516–2536, doi:10.1175/1520-0493(1986)114<2516:IOCSAR>2.0.CO;2.

Zipser, E. J., D. J. Cecil, C. Liu, S. W. Nesbitt, and D. P. Yorty, 2006: Where are the most: Intense thunderstorms on Earth? *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 87, 1057–1071, doi:10.1175/BAMS-87-8-1057.