



PIBIC/CNPq/UFPG-2009

VALIDAÇÃO DE ESTIMATIVAS DA ÁGUA PRECIPITÁVEL MEDIANTE DADOS DE RADIOSSONDAGENS

Ramon Campos Braga¹, Enilson Palmeira Cavalcanti²

RESUMO

O presente estudo tem por objetivo comparar valores médios e diários de água precipitável calculados de forma empírica para localidades da América do Sul, e dividindo-a por regiões, com valores de água precipitável estimados de forma aerológica, a partir de valores de variáveis meteorológicas obtidas através de radiossondagens. Foram utilizados 15 dias de dados de radiossondagens durante o mês de junho de 2008. Para análise empírica utilizou-se três métodos de estimativa para o cálculo da água precipitável, a saber: o método de Allen, o método de Won e o método de Hann, os quais foram comparados com o método aerológico de Harrison, considerando este como mais preciso do que os métodos empíricos. Os resultados mostraram que dos métodos empregados para valores médios calculados empiricamente o que apresentou melhor correlação com o método de Harrison foi o método de Hann, enquanto que para valores diários, o método empírico que apresentou melhor correlação foi o método de Allen.

Palavras-chave: métodos aerológicos, dados de radiossonda, métodos empíricos

A VALIDATION STUDY OF PRECIPITABLE WATER WITH RADIOSONDE DATA

ABSTRACT

This study aims to compare means and daily values of precipitable water calculated in empirical form to cities of South America, and dividing it by regions, with calculated values of precipitable water in aerologic method, from values to weather variables obtained from radiossondagens. Were used 15 days of data radiossondagens during the month of June 2008. For empirical analysis we used three methods to calculate the precipitable water, these are the method of Allen, the method Won and the method of Hann. The values obtained by three methods were compared with the aerological method of Harrison, which is considered more accurate than the empirical methods. In general, for values calculated empirically which showed better correlation with the method of Harrison was the method of Hann, while for the daily values, the empirical method that showed the best correlation was the method of Allen.

Keywords: aerologic methods, radiosonde data, empirical methods

¹ Aluno do Curso de Graduação em Meteorologia, Depto. de Ciências Atmosféricas, UFPG, Campina Grande, PB, E-mail: ramoncamosbraga@yahoo.com.br

² Professor Doutor, Departamento de Ciências Atmosféricas, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, UFPG, Campina Grande, PB, E-mail: enilson@dca.ufcg.edu.br

INTRODUÇÃO

Água precipitável é a quantidade de água, em forma de vapor, contida numa coluna da atmosfera de seção horizontal unitária. Ou seja, é a quantidade de água obtida caso todo vapor contido em uma coluna vertical da atmosfera condense e precipite. Essa grandeza é normalmente expressa em milímetros (mm).

A água precipitável tem importância significativa nos processos que ocorrem tanto na atmosfera quanto na superfície da terra. A capacidade do vapor d'água em absorver e emitir radiação térmica influencia de forma direta no aspecto do tempo e do clima. Características do balanço de radiação à superfície são altamente dependentes do teor de vapor d'água na atmosfera, ou seja, da água precipitável.

A forma mais precisa de se quantificar água precipitável é com a utilização de sondagens aerológicas. Entretanto, nem sempre se dispõem dessas sondagens o que força em muitas aplicações a utilização de formulações empíricas que nem sempre são validadas para a região em que essa informação é necessária. Exemplo disso pode ser comprovado quando da utilização do algoritmo SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land) e o METRIC (Mapping Evapotranspiration at high Resolution and with Internalized Calibration) que visa obter a evapotranspiração à superfície a partir de medições radiométricas realizadas por satélites (Allen et al. 2007; Bastiaassen, 1995). Em ambos os métodos, a água precipitável interfere na transmitância atmosférica, interferindo tanto na radiação de onda curta incidente, como na radiação de onda longa emitida pela atmosfera.

O valor da água precipitável é normalmente obtido considerando uma coluna de ar de seção transversal unitária e integrando a umidade específica (q) da superfície até uma altura em que a presença de vapor d'água é considerável, cerca de 300 hPa. Entretanto, diversas fórmulas empíricas são também utilizadas para a estimativa da água precipitável, em função da umidade específica (q) e da pressão atmosférica, ou também da pressão de vapor (e).

Alguns trabalhos nessa linha de estudo foram realizados, entre estes se destacam Oliveira Filho e Pedra (2005) e Pedra e Oliveira Filho (2007).

Neste sentido, avaliar comparativamente a água precipitável obtida por formulação empírica e por sondagens da atmosfera constitui-se um tema de grande interesse e importância para a comunidade científica.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados dados de radiossondagens de 39 estações aerológicas da América do Sul do mês de junho do ano de 2008 disponíveis na página web do MASTER (Meteorologia Aplicada a Sistemas de Tempo Regionais), conforme distribuição espacial mostrada na Figura 1.



Figura 1. Distribuição espacial das estações de radiossondagens para a América do Sul. Fonte: <http://www.master.iag.usp.br/ind.php?inic=00&prod=sondagem>

Os dados obtidos possuem valores de Temperatura do ar (Temp), Temperatura do ponto de Orvalho (Td), Geopotencial (Geop), Direção do Vento (Dir) e Velocidade do Vento (Vel) em diversos

níveis de pressão (Press), obtidos a cada minuto. No intuito de obter valores de (Temp) e (Td) para os níveis de pressão de superfície, 900hPa, 800hPa, 700hPa, 600hPa, 500hPa, 400hPa e 300hPa fez-se um tratamento dos dados a partir do MATLAB (MATrix LABoratory) que é um "software" interativo de alta aplicabilidade voltado para o cálculo numérico.

O tratamento feito no MATLAB captura os valores de (Temp) e (Td) nos níveis de pressão de interesse e é feita uma interpolação linear com a finalidade de encontrar valores os quais não foram capturados (medidos) no nível de interesse, já que os dados que antecedem e sucedem o nível de interesse são obtidos a cada minuto da sondagem. Além disso, também se utilizou interpolações lineares para valores faltosos indicados por -999 no arquivo ASCII. Para os dados faltosos no nível de pressão desejado, foram utilizados os valores disponíveis que antecediam e sucediam o dado faltoso e feito uma interpolação linear.

A partir dos dados (Temp) e (Td) tratados foram obtidos valores para a água precipitável de maneira empírica (Equações 7, 8 e 11) e água precipitável de maneira aerológica (Equação 3). Com esses valores obtidos para 15 dias do mês de junho de 2008, foi feita uma tabela apresentando os valores obtidos pelos quatro métodos.

Água Precipitável

Água Precipitável é definida como a quantidade de vapor d'água contido numa coluna de seção horizontal unitária e que vai da superfície até o topo da atmosfera, sendo expressa matematicamente por (Vianello e Alves, 1991):

$$W = \frac{1}{g} \int_{P_{\text{topo}}}^{P_s} q \, dp \quad (1)$$

em que (W) é a água precipitável, (g) a aceleração da gravidade, (q) é a umidade específica e (dp) é um elemento infinitesimal de pressão para o intervalo de (P_s) e (P_{topo}) para a pressão à superfície e topo respectivamente.

De forma discretizada, essa expressão pode ser avaliada a partir das informações disponíveis em diferentes níveis de pressão de uma radissonagem:

$$W = \frac{1}{g} \sum_{n=1}^N \left[\frac{(q)_{n+1} + (q)_n}{2} \right] \cdot [(P)_n - (P)_{n+1}] \quad (2)$$

em que (N) é o número de camadas atmosféricas da superfície até o topo. Esse método consiste em uma maneira mais correta de se avaliar a água precipitável na atmosfera (Vianello e Alves, 1991). Esse método para o cálculo de água precipitável é conhecido como método de Harrison. O mesmo determina o conteúdo de vapor d'água em cada sub-camada da atmosfera, começando na superfície e subindo até o nível de 300 hPa, justificado por ser a camada (superfície-300hPa) que há quantidade significativa de vapor d'água. Depois de feito o cálculo de vapor d'água para cada sub-camada da atmosfera, somam-se os valores encontrados, tendo então o valor total de água precipitável.

O método de Harrison, em formato simplificado, é expresso por (Pedra e Oliveira Filho, 2005) como:

$$W_r = 10,2 \, q \, \Delta p \quad (3)$$

em que (W_r) é a água precipitável e (q), é a umidade específica média, sendo esta calculada por simples média aritmética e o fator (1/g) considerado igual a 10,2.

Entretanto, para encontrar o valor da umidade específica (q) é necessária a utilização da equação (Vianello e Alves, 1991):

$$q = 0,622 \, e / (p - 0,378e) \quad (4)$$

em que (p) é a pressão atmosférica e (e) é a pressão parcial de vapor d'água atmosférica ambos em (kPa).

Pela equação (4), é necessário se calcular a pressão de vapor (e) usando a equação de Tetens, (Varejão-Silva, 2000)

$$e=6,1078 \times 10^{(aT_d/b + T_d)} \quad (5)$$

em que (a) e (b) são constantes e (T_d) é a temperatura do ponto de orvalho. Os valores de (a) e (b) são $a = 7,5$ e $b = 237,5$ para $T_d > 0$ e $a = 9,5$ e $b = 265,5$ para $T_d < 0$.

Uma forma empírica de se obter a água precipitável a partir da temperatura do ar e da pressão de vapor observados em superfície é dado por Allen et al. (2007). Primeiro avalia-se a pressão à superfície (kPa) em função da temperatura do ar e da altitude conforme equação:

$$P_{atm} = 101,3 \left(\frac{T_{ar} - 0,0065 Z}{T_{ar}} \right)^{5,26} \quad (6)$$

em que: (T_{ar}) é a temperatura do ar em K e (Z) é a elevação acima do nível do mar em km. Depois, estima-se a água precipitável pela expressão.

$$W_s = 0,14 e_a P_{atm} + 2,1 \quad (7)$$

em que: (e_a) é a pressão parcial do vapor próximo à superfície em kPa.

O segundo método empírico empregado calcula a água precipitável W_{WON} (cm) por meio de modelo proposto por Won (Oliveira Filho e Pedra, 2005), dado por:

$$W_{WON} = 0,1 \exp(2,2572 + 0,0545 T_d) \quad (8)$$

em que (T_d) é a temperatura do ponto de orvalho ($^{\circ}C$) sendo obtida a partir da fórmula abaixo, recomendada pela Organização Meteorológica Mundial (OMM).

$$T_d = (186,4905 - 273,3 \log(e)) / (\log(e) - 8,2859) \quad (9)$$

$$T_d = (273,3 \log(e/6,11)) / (7,5 - \log(e/6,11)) \quad (10)$$

Como (T_d) é função da pressão de vapor (e), a partir da equação (5), obtém-se a pressão de vapor.

O terceiro método empírico empregado foi o de Hann (Vianello e Alves, 1991) que é dado pela seguinte equação,

$$W_{HANN} = 2,5 e_a \quad (11)$$

em que (e_a) é a pressão do vapor próximo à superfície (kPa), também calculada a partir da equação (5). W_{HANN} é a água precipitável obtida em mm.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 encontram-se a média dos valores de WR (método de Harrison), WS (método Allen), WWON (método de Won) e WHANN (método de Hann) para 39 cidades da América do Sul.

Tabela 1- Valores médios de água precipitável (mm) das cidades da América do Sul utilizando os métodos de Harrison (WR), Allen (WS), Won (WWON) e Hann (WHANN)

Cidade	LAT	LON	ALT	WR	WS	WWON	WHANN	REGIÃO
ALTA FLORESTA-MT	9,86 S	56,10 W	288 m	29,18	30,15	24,56	49,44	CENTRO-OESTE
BRASÍLIA-DF	15,87 S	47,93 W	1061m	24,11	21,58	18,06	34,35	CENTRO-OESTE

CORUMBÁ-MS	19,00 S	57,54 W	142 m	26,05	24,45	20,23	39,40	CENTRO-OESTE
CAMPO GRANDE-MS	20,47 S	54,67 W	567 m	23,90	24,00	21,88	43,24	CENTRO-OESTE
CUIABÁ-MT	15,65 S	56,10 W	187 m	31,51	29,00	23,69	47,42	CENTRO-OESTE
CARAVELAS-BA	17,73 S	39,25 W	3 m	30,48	36,12	29,07	59,97	NORDESTE
NATAL-RN	5,92 S	35,25 W	49 m	42,69	40,23	32,18	67,21	NORDESTE
PETROLINA-PE	9,38 S	40,48 W	370 m	31,54	30,91	25,14	50,79	NORDESTE
SALVADOR-BA	13,01S	38,51 W	51 m	32,98	38,87	31,15	64,81	NORDESTE
FORTALEZA-CE	3,76 S	38,60 W	26 m	43,27	40,04	32,03	66,88	NORDESTE
SÃO LUIZ-MA	2,60 S	44,23 W	53 m	45,80	40,68	32,52	68,01	NORDESTE
BELÉM-PA	1,38 S	48,48 W	16 m	49,06	41,99	33,51	70,32	NORTE
BOA VISTA-RR	2,83N	60,70 W	140 m	55,46	41,90	33,45	70,17	NORTE
MANAUS-AM	3,15 S	59,98 W	84 m	51,85	43,80	34,88	73,51	NORTE
PORTO VELHO-RO	8,76 S	63,91 W	102 m	38,42	37,98	30,48	63,26	NORTE
RIO BRANCO-AC	10,00 S	67,80 W	193 m	38,71	33,68	27,23	55,67	NORTE
VILHENA-RO	12,70 S	60,10 W	612 m	29,32	29,17	23,82	47,71	NORTE
CRUZEIRO DO SUL-AC	7,63 S	72,66 W	170 m	43,59	34,21	27,64	56,61	NORTE
TIRIÓS-PA	2,48 N	55,98 W	325 m	52,00	38,80	31,10	64,70	NORTE
BELO HORIZONTE-MG	19,61 S	43,56 W	827 m	25,26	24,72	20,47	39,90	SUDESTE
ILHA DE TRINDADE-ES	20,50 S	29,31 W	5 m	29,63	34,04	27,50	56,31	SUDESTE
RIO DE JANEIRO-RJ	22,81 S	43,25 W	6 m	28,91	30,06	24,50	49,28	SUDESTE
UBERLÂNDIA-MG	18,90 S	48,23 W	922 m	26,52	24,46	20,26	39,43	SUDESTE
SÃO PAULO-SP	23,62 S	46,65 W	722 m	25,01	22,69	18,95	36,41	SUDESTE
CURITIBA-PR	25,52 S	49,17 W	908 m	15,95	19,83	16,65	31,25	SUDESTE
FLORIANÓPOLIS-SC	27,66 S	48,55 W	5 m	22,54	23,58	19,56	37,87	SUL
LONDRINA-PR	23,33 S	51,13 W	570 m	22,36	22,27	18,56	35,56	SUL
URUGUAIANA-RS	29,78 S	57,03 W	74 m	17,16	16,92	14,43	26,13	SUL
SANTA MARIA-RS	29,70 S	53,70 W	85 m	18,01	18,34	15,53	28,63	SUL
PORTO ALEGRE-RS	30,00 S	51,18 W	3 m	21,34	20,23	17,01	31,96	SUL
FOZ DO IGUAÇU-PR	25,52 S	54,58 W	180 m	22,66	21,00	17,58	33,31	SUL
BUENOS AIRES	34,82 S	58,53 W	20 m	11,21	14,40	12,43	21,68	ARGENTINA
COMODORO RIVADAVIA	45,78 S	67,50 W	58 m	10,43	10,33	9,17	14,50	ARGENTINA
RESISTÊNCIA	27,45 S	59,05 W	53 m	20,29	18,57	15,69	29,04	ARGENTINA
SANTA ROSA	36,56 S	64,10 W	190 m	10,98	11,26	9,93	16,15	ARGENTINA
SANTO DOMINGO	33,62 S	71,63 W	75 m	10,75	13,91	12,09	20,81	CHILE
ANTOFAGASTA	23,43 S	70,45 W	135 m	10,98	18,42	15,63	28,76	CHILE
PUERTO MONTT	41,41 S	73,08W	85 m	14,56	14,85	12,82	22,48	CHILE
PUNTA ARENAS	53,00 S	70,85 W	37 m	8,42	10,45	9,29	14,72	CHILE

Os valores obtidos para WR, WS, WWON e WHANN mostram-se coerentes com o comportamento climático sobre o globo, onde os maiores valores encontram-se na faixa tropical e decrescem em direção aos pólos. Neste sentido, observa-se que as cidades que apresentam maiores valores de WR, WS, WWON e WHANN se localizam na região tropical, e à medida que sua localização se afasta da latitude 0° os valores de água precipitável diminuem. Esse comportamento se explica devido a quantidade maior de radiação solar que a região tropical recebe, conseqüentemente, resultando em maior temperatura, uma maior evaporação e maior capacidade de reter água na atmosfera.

A variação latitudinal da água precipitável pode ser comprovada a partir dos valores da Tabela 1. Ao se observar as localidades que possuem os maiores valores de água precipitável tem-se que, pelo método de Harrison, Boa Vista-RR possui o maior valor (WR=55,46mm) e pelos outros três métodos (Allen, Won e Hann); Manaus-AM possui os maiores valores (WS=43,80mm, WWON=34,88mm e WHANN=73,51mm). Os menores valores de água precipitável foram obtidos, pelo método de Harrison, em Punta Arenas-CH (WR=8,42mm) e Comodoro Rivadavia (WS=10,33mm, WWON=9,17mm e

WHANN=14,50mm), pelos métodos de Allen, Won e Hann, respectivamente.

A partir dos valores médios e diários da água precipitável de forma aerológica e empírica, foram feitas análises de correlação entre o método aerológico (Harrison), tido como o mais próximo do real, com cada um dos três métodos empíricos abordados (Allen, Won e Hann). Essas análises foram feitas para todos os valores da Tabela 1, assim como, separando-as por região.

Nas Figuras 2a-c exibem gráficos de diagramas de dispersão dos valores médios de WR x WS, WR x WWON e WR x WHANN para as cidades relacionadas na Tabela 1, e suas respectivas equações de regressão linear e coeficientes de determinação (R^2) de 0,904 para WR e WS (Figura 2a); 0,908 para WR e WWON (Figura 2b) e de 0,909 para WR e WHANN (Figura 2c).

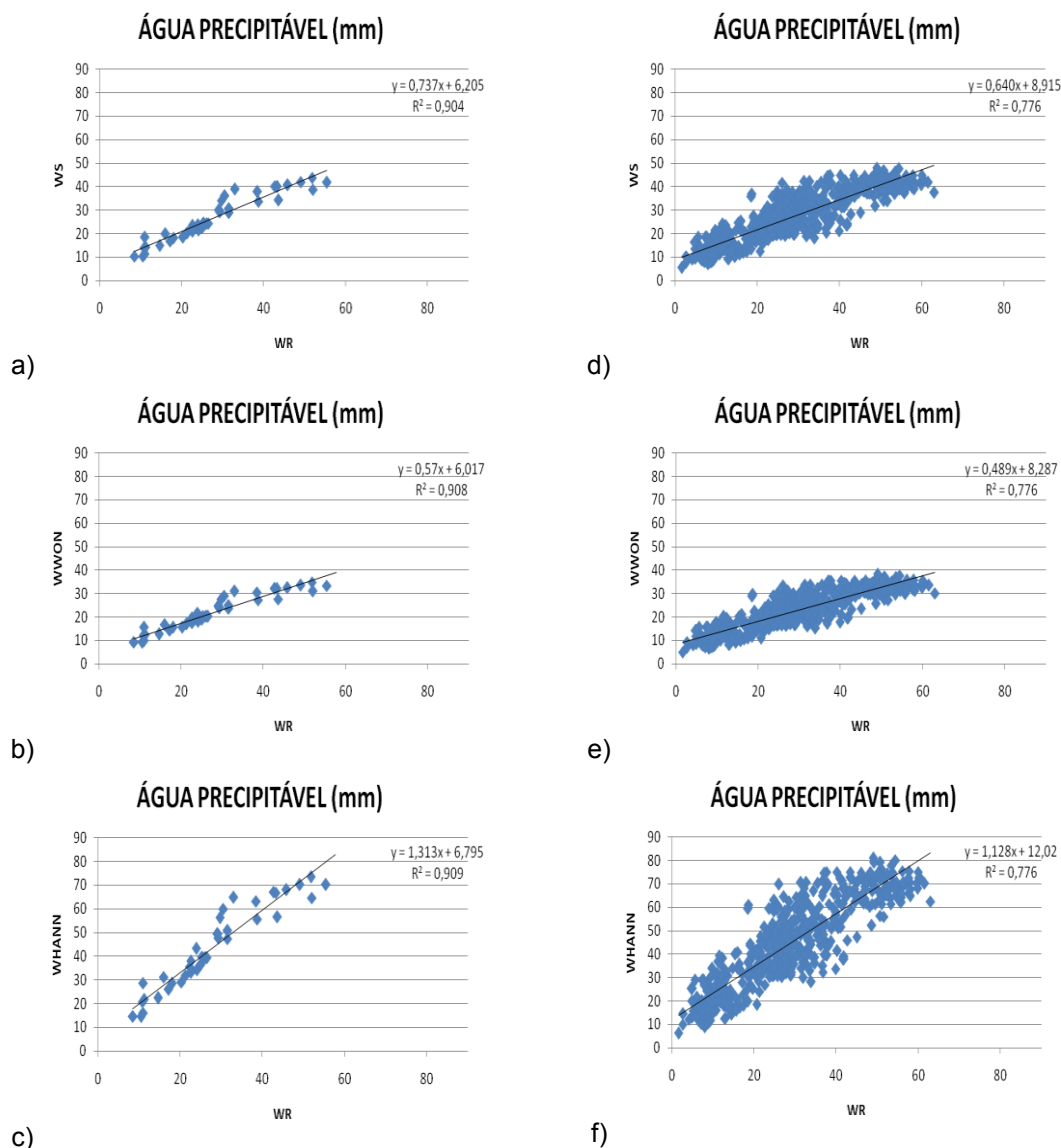


Figura 2. Diagrama de dispersão dos valores médios de água precipitável para as localidades da Tabela 1: a- WRxWS; b- WRxWWON; c- WRxWHANN e valores diários: d- WRxWS; e- WRxWWON; f- WRxWHANN

A análise realizada para os valores médios de WR, WS, WWON, WHANN de todas as localidades (Tabela 1) trouxe bons resultados em termos de comparação dos métodos, como mostram as Figuras 2.a-c. Dentre os três métodos empíricos (WS, WWON, WHANN) analisados o que apresentou uma melhor correlação com o método aerológico de Harrison (WR) foi o método empírico de Hann (WHANN), com coeficiente de correlação (R) de 0,953. Tais valores mostram que a variação entre os métodos de cálculo de água precipitável gira em torno de 5%, o que é um valor considerado de excelente precisão.

Nas Figuras 2d-f ilustra o diagrama de dispersão e reta de regressão linear para os valores diários de WR x WS, WR x WWON e WR x WHANN para as cidades relacionadas na Tabela 1, cujos coeficientes de determinação (R^2) obtidos são de 0,776, coincidentemente para os três casos.

A análise feita para os valores diários de WR, WS, WWON, WHANN para as localidades que

estão na Tabela 1, mostra que os três métodos utilizados apresentaram resultados também muito bons com coeficiente de correlação (R) de 0,880 com um número de pontos utilizados bem maior do que o caso anterior, como mostram as Figuras 2d-f.

Pode-se observar ainda que, tanto em relação aos valores médios quanto em relação aos valores diários, os métodos de Allen (WS) e Won (WWON) subestimaram os valores obtidos por Harrison (WR). Já o método de Hann (WHANN) superestima os valores obtidos de por Harrison (WR).

O fato dos coeficientes de determinação obtidos para os valores diários serem menores do que para os valores médios não implicam em serem menos importantes visto que neste caso o número de pares de dados é bem maior e, portanto, possibilita maior grau de liberdade. É fundamental a utilização de estatísticas que possibilite avaliar melhor o nível de significância dessas informações.

Análise dos valores diários por região

Região Centro-Oeste

Nas Figuras 3a-c correspondem a diagramas de dispersão e reta de regressão linear dos valores diários de WR x WS, WR x WWON e WR x WHANN para as cidades da região Centro-Oeste conforme Tabela 1, com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2).

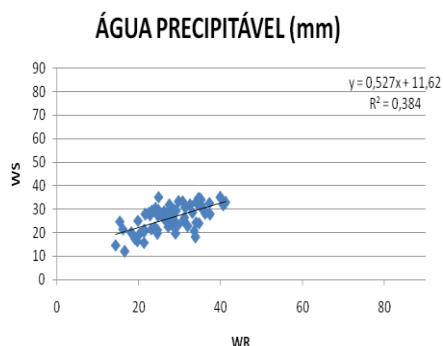
A análise feita para os valores diários de WR, WS, WWON, WHANN para as localidades do Centro-Oeste do Brasil, (Tabela 1) mostram que os três métodos utilizados apresentaram valores menores dos coeficientes de correlação (R) com 0,619, como mostram as Figuras 3a-c. Esse valor ainda parece bom dada homogeneidade e características da região.

Região Nordeste

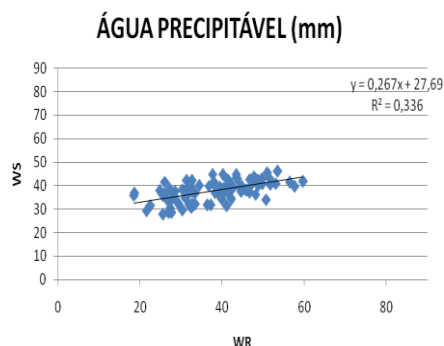
As Figuras 3d-f mostram os diagramas de dispersão e retas de regressão para os valores diários de WR x WS, WR x WWON e WR x WHANN para as cidades da região Nordeste do Brasil (Tabela 1) detalhando que o coeficiente de determinação (R^2) são baixo em relação aos casos anteriores.

A análise de valores diários de WR, WS, WWON, WHANN para as localidades do Nordeste do Brasil presente na Tabela 1, indicou que os três métodos utilizados apresentaram baixos coeficientes de correlação (R) com 0,579, de acordo com as Figuras 3d-e.

Especula-se que se neste tipo de análise tivesse sido tomado dados de meses diferentes para incorporar efeitos da variabilidade sazonal, possivelmente ter-se-ia obtido valores maiores e mais significativos. Esta observação se estende para as outras regiões em questão e servem de alerta para investigações futuras. Ressalta-se ainda que não foi feito nenhum estudo de significância estatística, portanto, não se pode afirmar que os valores de correlação obtidos neste caso sejam insatisfatórios.



a)



d)

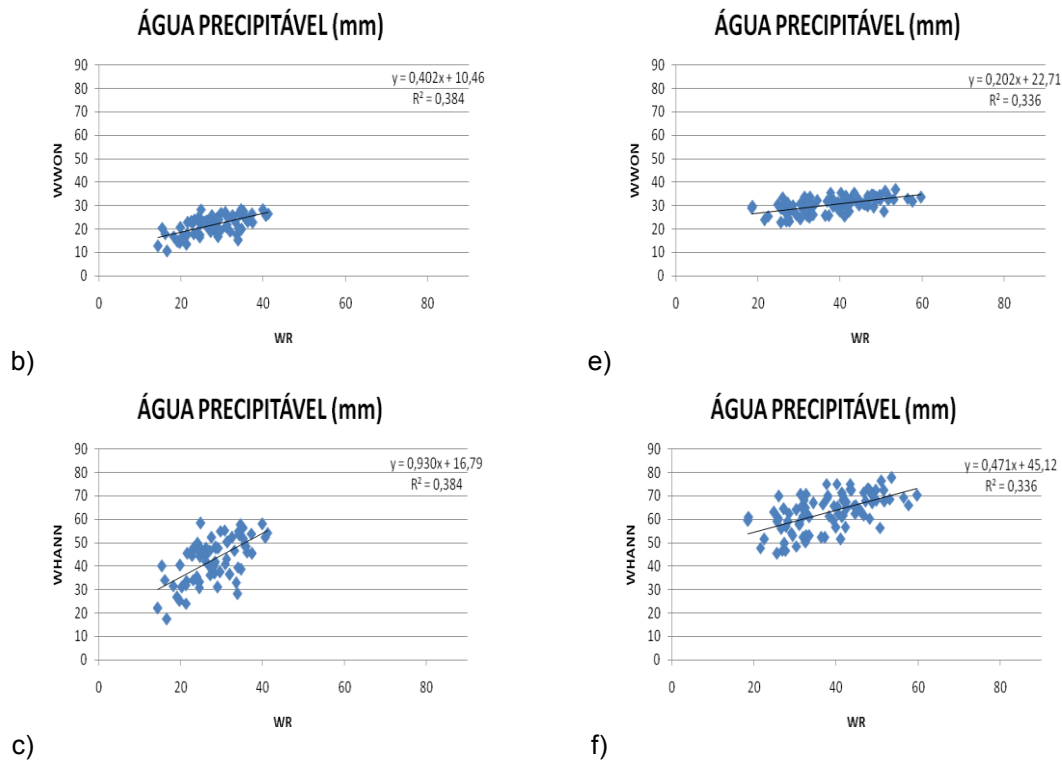


Figura 3. Diagrama de dispersão dos valores diários para as localidades da região Centro-Oeste: a- WRxWS; b- WRxWWON; c- WRxWHANN e região Nordeste: d- WRxWS; e- WRxWWON; f- WRxWHANN

Região Norte

As Figuras 4a-c ilustram os diagramas de dispersão e equação de regressão para os valores diários de WR x WS, WR x WWON e WR x WHANN para as cidades da região Norte (Tabela 1), e respectivos coeficientes de determinação (R^2).

A análise feita para os valores diários de WR, WS, WWON, WHANN para as localidades do Norte do Brasil que estão na Tabela 1, mostra que os três métodos utilizados apresentaram coeficientes de correlação (R) de 0,720, conforme indicados pelas Figuras 4a-c.

Região Sudeste

As Figuras 4d-f mostram os diagramas de dispersão e equações de regressão para os valores diários de WR x WS, WR x WWON e WR x WHANN para as cidades da região Sudeste relacionadas na Tabela 1, e seus respectivo coeficiente de determinação (R^2).

Observa-se que para os valores diários de WR, WS, WWON, WHANN para as localidades do Sudeste, (Tabela 1), indica que o método com melhor resultado foi o método de Allen (WS) com $R=0,511$, de acordo com as Figuras 4d-f.

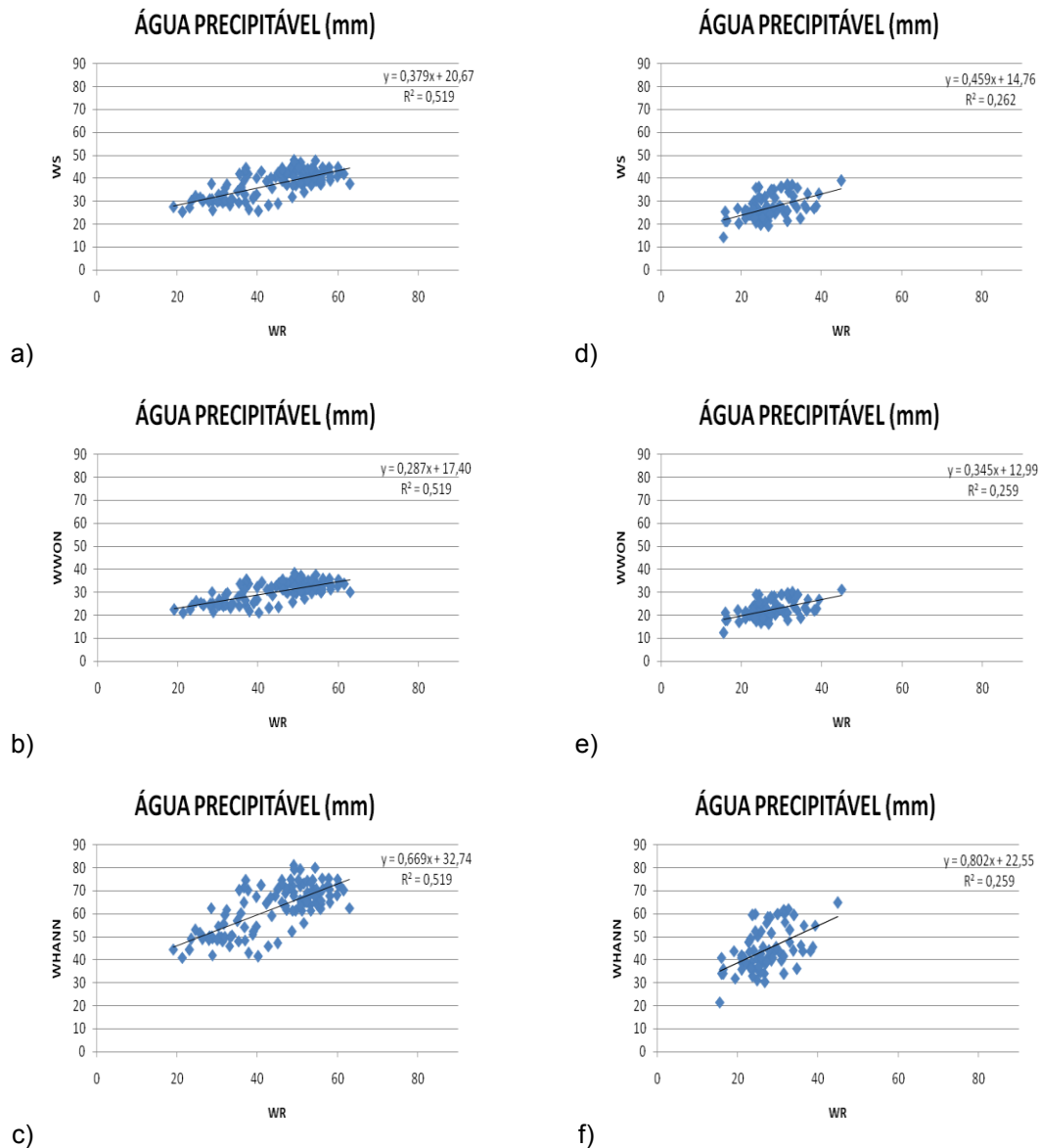


Figura 4. Diagrama de dispersão dos valores diários para as localidades da região Norte: a- WRxWS; b- WRxWWON; c- WRxWHANN e região Sudeste: d- WRxWS; e- WRxWWON; f- WRxWHANN

Região Sul

As Figuras 5a-c mostram os diagramas de dispersão e equações de regressão para os valores diários de WR x WS, WR x WWON e WR x WHANN para as cidades da região Sul relacionadas na Tabela 1, e seus respectivo coeficiente de determinação (R^2).

A análise revela que para os valores diários de WR, WS, WWON, WHANN das localidades do Sul (Tabela 1), mostra que o melhor método foi o Won (WWON) apresentando coeficiente de correlação (R) de 0,748, os quais são apresentados pelas Figuras 5a-c.

Região da Argentina e Chile

As Figuras 5d-f mostram diagramas de dispersão e equações de regressão para os valores diários de WR x WS, WR x WWON e WR x WHANN para as cidades da região da Argentina e do Chile relacionadas na Tabela 1, e seus respectivo coeficiente de determinação (R^2).

Observa-se que para os valores diários de WR, WS, WWON, WHANN para as localidades da

Argentina e do Chile (Tabela 1), mostra que os métodos com resultados mais satisfatórios de coeficiente de correlação (R) foram os métodos de Allen (WS) e de Hann (WHANN) com $R=0,700$, de acordo com as Figuras 5d-f.

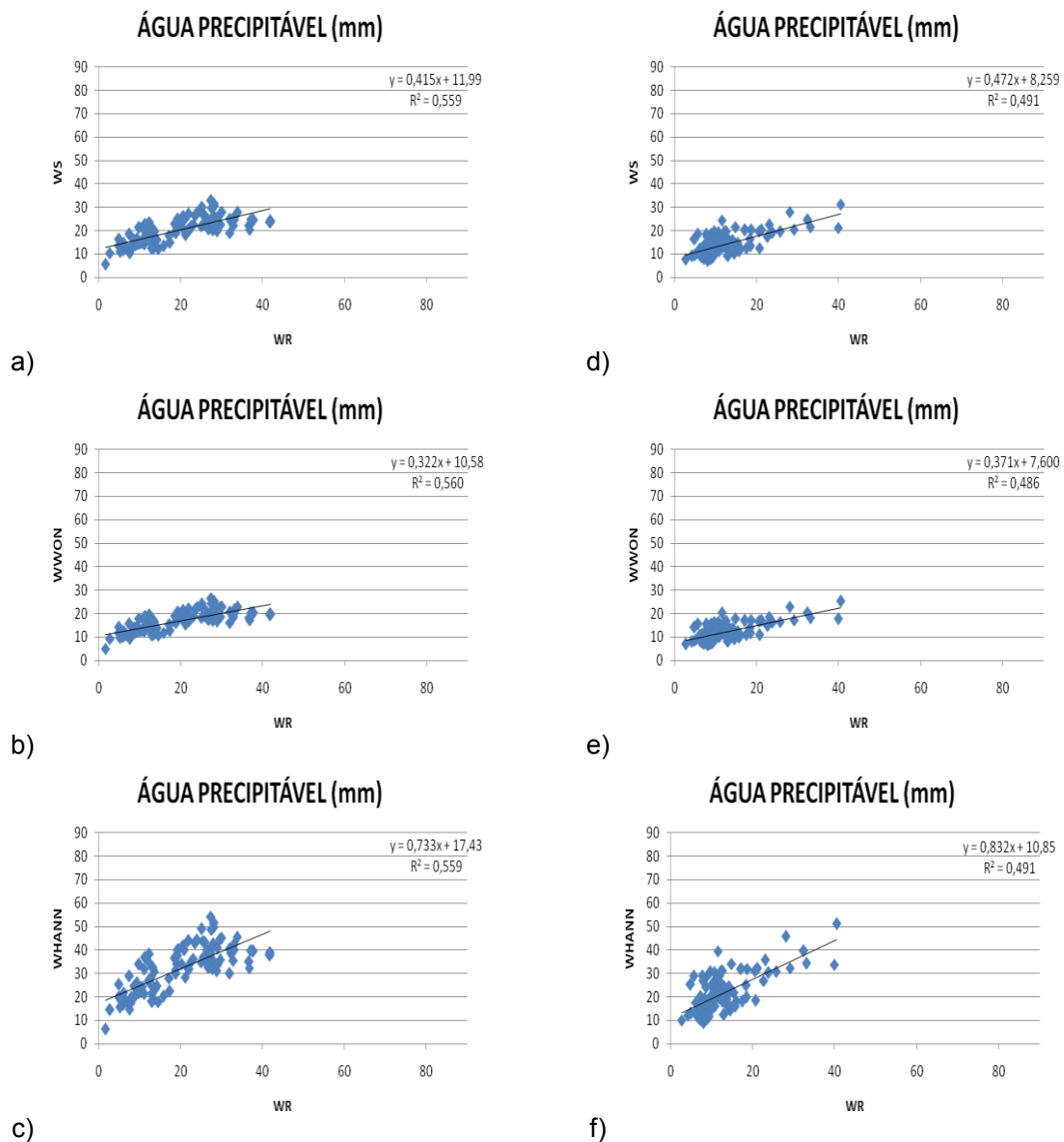


Figura 5. Gráficos de dispersão dos valores diários para as localidades da região Sul: a- WRxWS; b- WRxWWON; c- WRxWHANN e regiões da Argentina e do Chile: d- WRxWS; e- WRxWWON; f- WRxWHAN

Os valores mais baixos de correlação entre os métodos empíricos e aerológico, quando comparado ao valores médios, analisados de forma diária tem-se justificativa devido à homogeneidade dos valores de água precipitável de cada região, que como mostrados através das figuras onde estão localizados em uma única área do gráfico como um amontoado de pontos, resultando em valores baixos de correlação quando traçada a reta de regressão que os definem.

Os menores valores de correlação foram encontrados na região Sudeste do Brasil com coeficientes de correlação (R) em torno de 0,510, já os maiores valores de correlação foram encontrados na região Sul do Brasil com coeficiente de correlação (R) em torno de 0,748. Na Tabela 2 consta os valores de coeficiente de correlação (R) obtidos entre os três métodos empíricos e o método aerológico para todas as regiões analisadas.

Tabela 2- Valores de coeficiente de correlação (R) obtidos entre os três métodos

empíricos (WS, WWON e WHANN) e o método aerológico (WR) para regiões da América do Sul.

Região	WR x WS	WR x WWON	WR x WHANN
Centro-Oeste	0,619	0,619	0,619
Nordeste	0,579	0,579	0,579
Norte	0,720	0,720	0,720
Sudeste	0,511	0,508	0,508
Sul	0,748	0,747	0,747
Argentina e Chile	0,700	0,697	0,700

CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos pode-se concluir que:

- a- Os métodos empíricos de Allen, Won e Hann utilizados para análise de correlação com o método aerológico de Harrison obtiveram altos valores de R quando correlacionados os valores médios de todas as localidades;
- b- Utilizando o mesmo método de correlação para os valores diários, a análise de correlação apresentou valores menores, embora supostamente significativos;
- c- Para as regiões analisadas da América do Sul os valores de correlação entre os métodos empíricos e aerológico foram relativamente baixos, tais resultados se devem principalmente a homogeneidade dos valores de água precipitável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R.; TASUMI, M.; TREZZA, R.. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) – Model. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Reston, v.133, n.395, p.380-394, 2007.

ASCE-EWRI. The ASCE standardized reference evapotranspiration equation. ASCE-EWRI Standardization of Reference Evapotranspiration Task Committee Rep., ASCE, 2005.

BASTIAANSEN, W.G.M. Reg. of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain – A Remote Sensing Approach Under Clear Skies in Mediterranean Climates. Thesis, 273, 1995.

PEDRA, G,U; OLIVEIRA FILHO, J,H. Cálculo de água precipitável pelo método de Harrison para o ano de 1995 e relação estatística com a precipitação. Pelotas, XVI Congresso de Iniciação Científica, 2007.

OLIVEIRA FILHO, J,H; PEDRA, G,U. Cálculo de água precipitável a partir de dados de superfície pelos métodos de Won e Lecner para o ano de 1995. Pelotas, XIV Congresso de Iniciação Científica da UFPel, 2005.

VIANELLO, R; ALVES, A; *Meteorologia Básica e Aplicações*, Editora Universitária. Viçosa, UFV, 1991. 449p.

VAREJÃO-SILVA, M.A; *Meteorologia e Climatologia*. Gráfica e Editora Stilo. 2000. 515p.