

INCERTEZAS NO PREENCHIMENTO DE FALHAS DE CHUVAS HORÁRIAS COM REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

Haline Depiné¹, Nilza Maria dos Reis Castro² e Olavo Correa Pedrollo³

Resumo: Falhas em séries de dados históricos de precipitação são frequentemente encontradas, dificultando a realização dos estudos hidrológicos. Redes neurais artificiais (RNA) têm sido empregadas na previsão e no preenchimento de falhas em várias áreas do conhecimento, especialmente em hidrologia. Assim, este trabalho tem por objetivo avaliar as incertezas do preenchimento de falhas com modelo de RNA realizado por Depiné et al. (2014) na bacia do rio Potiribu. Foram analisados os efeitos sobre a distribuição espacial e temporal das alturas de precipitação e sobre a distribuição de frequência das intensidades de precipitação. A análise ANOVA mostrou a semelhança dos valores mensais preenchidos com aqueles registrados em estações pluviométricas convencionais instaladas no entorno da bacia. As séries de alturas de precipitações horárias apresentaram diferenças na frequência acumulada das alturas das precipitações, nas precipitações máximas para diferentes durações e nas relações entre as intensidades de precipitações de 1 h e de 24 h, para o período de retorno de 2 anos. As diferenças são resultantes da perda de eficiência dos modelos de rede neurais artificiais no treinamento e na verificação.

Palavras-chaves: Preenchimento de falhas. Rede neural artificial. Monitoramento hidrológico.

1 Introdução

Falhas em séries de dados históricos de precipitação são frequentemente encontradas, dificultando a realização dos estudos hidrológicos. A hidrologia clássica apresenta métodos para preenchimentos de totais de precipitação mensal e anual. Bertoni e Tucci (2007) afirmam que das várias metodologias empregadas no preenchimento de falhas nenhuma é satisfatória para dados pluviométricos coletados a intervalos diários e horários. Em uma escala de tempo diária, os padrões espaço-temporais do processo de chuva são complexos, não lineares e altamente variáveis, o que dificulta a aplicação de métodos clássicos.

Redes neurais artificiais (RNA) têm sido empregadas na previsão e no preenchimento de falhas em várias áreas do conhecimento, especialmente em hidrologia (GARDNER; DORLING, 1998; LUCIO et al., 2006; KIM; PACHEPSKY, 2010). A RNA pode ser definida como uma ferramenta estatística, que, por meio do processamento de informações, gera uma saída a partir de

uma ou mais entradas (HAYKIN, 2001). Através de sucessivas apresentações dos dados de entrada e saída previamente conhecidas, a RNA aprende a relação entre elas e através de um algoritmo de minimização de erros, reduz o erro quadrático médio em cada iteração do treinamento. Assim, esta relação pode ser aplicada para novos valores de entrada, os quais produzirão um valor de saída associado a uma nova previsão.

Depiné et al. (2014) aplicaram RNA para preenchimento de falhas horárias em séries históricas de precipitação da rede de monitoramento hidrológico instalada na bacia do rio Potiribu, localiza no noroeste do Rio Grande do Sul. No trabalho foram apresentados e discutidos os desempenhos dos modelos de RNA empregados a partir do coeficiente de Nash-Sutcliffe (NS) e do quantil 95% dos erros (E_{95}). Os coeficientes de Nash-Sutcliffe variaram entre 0,91 e 0,99 para o treinamento dos modelos e entre 0,90 e 0,99 para a verificação. O quantil 95% dos erros foi no máximo de 1,5 mm no treinamento e de 1,4 mm na verificação.

¹ E-mail: hali_ne@hotmail.com

² E-mail: nilza@iph.ufrgs.br
Av. Bento Gonçalves, 9500 - 91501-970 - Porto Alegre - RS – Brasil

³ E-mail: pedrollo@gmail.com

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.15, n. 2, p. 48-57, jul./dez. 2013

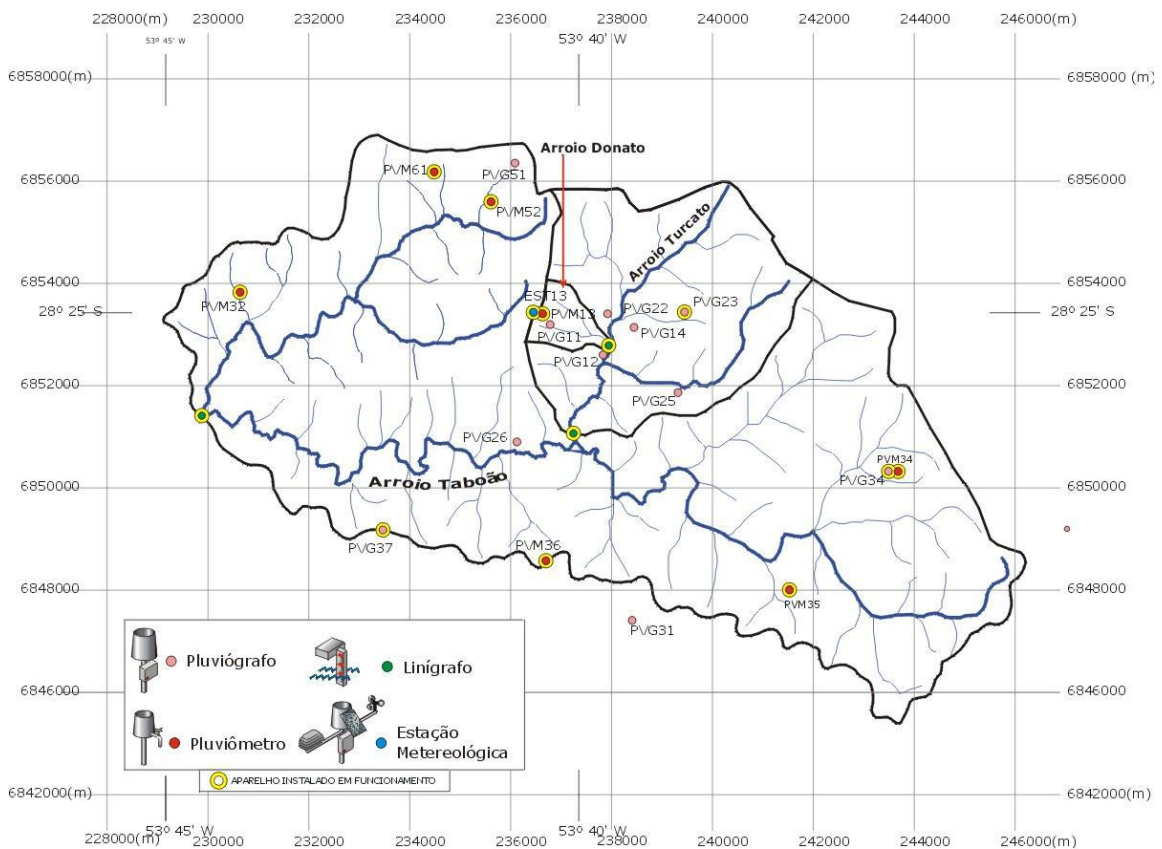
No estudo foram analisados os efeitos do preenchimento das falhas com RNA sobre a distribuição espacial e temporal das alturas de precipitação e sobre a distribuição de frequência das intensidades de precipitação. Assim, este trabalho tem por objetivo avaliar as incertezas do preenchimento de falhas com modelo de RNA realizado por Depiné et al. (2014).

2 Metodologia

A metodologia compreende uma análise ampliada da aplicação dos modelos de RNA no preenchimento das falhas das séries de precipitações horárias da rede de monitoramento hidrológico instalada na bacia do rio Potiribu. O monitoramento foi iniciado em novembro de 1989, visando à realização de pesquisas científicas em hidrologia, recursos hídricos e erosão dos solos (BORDAS; BORGES, 1990). A implantação, ampliação e manutenção da rede foram realizadas com recursos financeiros provenientes de projetos de pesquisas aprovados por pesquisadores do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade

Federal do Rio Grande do Sul, junto aos órgãos de fomento, como CNPq e FINEP. O trabalho de campo foi desenvolvido por estudantes de graduação e de pós-graduação, com o apoio de técnicos de hidrologia. A alocação de recursos financeiros e materiais sofreu descontinuidade ao longo do tempo, dificultando a manutenção e conservação dos pluviômetros automáticos de balsa instalados, gerando falhas nas séries de dados. A quantidade de equipamentos também variou ao longo do tempo devido à variabilidade do aporte de recursos financeiros. Esta variabilidade dificultou, em alguns intervalos de tempo, a substituição de equipamentos danificados e, em outros intervalos, possibilitou a instalação de novos equipamentos. No período compreendido entre 1989 e 2011, foram instaladas 18 estações pluviométricas, na bacia de drenagem da seção fluviométrica Taboão (área de drenagem de 78 km²). Na Figura 1 é apresentada a localização das estações pluviométricas na bacia de drenagem da seção fluviométrica do Taboão.

Figura 1- Localização das estações pluviométricas na bacia de drenagem do Taboão



Fonte: Medeiros, Goldenfum e Castro (2003)

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.15, n. 2, p. 48-57, jul./dez. 2013

Depiné et al. (2014) apresentaram o preenchimento de falhas das séries históricas de precipitação horária de dez pluviógrafos, apenas para o período compreendido entre 01/01/2000 e 04/06/2011, utilizando redes neurais artificiais. Neste trabalho são analisados os preenchimentos de falhas realizados em todo o período de monitoramento, desde o ano de 1989 até 2011. Na Tabela 1 são apresentados os períodos de funcionamento das estações pluviométricas, a quantidade

total de dados existentes e preenchidos, e o consequente percentual de falhas presentes na série original. Nota-se que algumas estações funcionaram ao longo de período de tempo curto (pluviógrafos 12 e 33 funcionaram cerca de 1 ano) e, outros, em períodos longos (os pluviógrafos 23, 37 e 51 possuem mais de cem mil dados horários). Para estes pluviógrafos com funcionamento por longo período de tempo, o percentual de falhas variou entre 20,8 (pluviógrafo 23) e 65,2% (pluviógrafo 51).

Tabela 1 - Informações das estações pluviométricas

Pluviógrafo	Período de Funcionamento	Total dados horários	Dados horários preenchidos	% Falha
11	29/11/1989 a 31/08/1996	59232	19867	33,5
12	07/11/1989 a 14/12/1990	9672	600	6,2
13	20/05/1999 a 04/06/2011*	50608	20946	41,4
14	14/12/1990 a 01/07/1999	74839	12468	16,7
22	09/11/1989 a 17/01/1996	54264	26265	48,4
23	22/08/1989 a 01/07/2007	144628	30112	20,8
25	22/05/1990 a 15/02/1996	50304	29409	58,5
26	08/11/1989 a 15/05/1996	57144	13437	23,5
31	25/08/1989 a 13/05/1994	41352	5804	14,0
33	18/12/1990 a 29/09/1991	6864	2001	29,2
34	20/05/1999 a 04/06/2011*	87353	10507	12,0
37	09/01/1991 a 04/06/2011*	161689	67867	42,0
38	22/05/1994 a 09/02/1996	15096	6575	43,6
40	04/05/2003 a 04/06/2011*	53408	18798	35,2
41	04/05/2003 a 04/06/2011*	21526	13317	61,9
42	04/05/2003 a 04/06/2011*	53365	25615	48,0
43	04/05/2003 a 04/06/2011*	53371	23069	43,2
51	22/08/1989 a 04/06/2011*	150967	98377	65,2

Fonte: Autores (2013)

*Data de encerramento do preenchimento de dados horários

A análise das incertezas do preenchimento de falhas de precipitações horárias efetuadas com modelos de RNA (ver descrição detalhada dos modelos aplicados em Depiné et al., 2014) foram desenvolvidas a partir das abordagens descritas a seguir.

- Comparação dos totais precipitados das estações pluviométricas da área de estudo com aquelas da rede hidrológica nacional situada nas proximidades. Neste caso foram utilizadas as séries históricas diárias das estações pluviométricas de Cruz Alta (código ANA 02853028, latitude -28°39'28,08" longitude -53°36'20,88") e de Ijuí (código

02853003, latitude -28°27'21.96, longitude -53°58'18.12). Foi aplicado o teste ANOVA para verificação da semelhança estatística entre as séries mensais.

- Comparação das frequências acumuladas das alturas de precipitações horárias das estações pluviométricas com preenchimento e sem preenchimento.

- Comparação das distribuições ao longo de 24 horas das alturas de precipitações horárias das estações pluviométricas com preenchimento e sem preenchimento.

- Comparação das intensidades de chuva horária para diferentes períodos de retorno.

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.15, n. 2, p. 48-57, jul./dez. 2013

3 Resultados e discussão

No total, foram feitos 1766 preenchimentos para completar as séries históricas de todos os pluviógrafos da rede de monitoramento, a partir da metodologia descrita por Depiné et al. (2014). Destes, 948 foram aplicados na primeira década de monitoramento, 556 aplicados no período compreendido entre 2000 e 2011 e, 262

aplicados em períodos em que só havia um aparelho em funcionamento.

Os coeficientes de *Nash-Sutcliffe* (NS) e erro não ultrapassado em 95% das amostras (quantil 95% ou E) foram considerados na avaliação do desempenho do preenchimento das falhas nas séries horárias com as RNA. Os valores encontrados destes coeficientes são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Estatísticas obtidas durante o treinamento e verificação da rede para o preenchimento das falhas

Pluviógrafo	Estatística de treinamento				Estatística de verificação			
	Eñ95% (mm)		NS		Eñ95% (mm)		NS	
	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
11	0.010	0.587	0.94	0.99	0.030	0.594	0.95	0.99
12	0.062	0.315	0.97	0.97	0.038	0.093	0.97	0.97
13	0.018	1.261	0.97	0.99	0.068	1.004	0.92	0.99
14	0.104	0.763	0.95	0.99	0.391	1.058	0.95	0.99
22	0.074	0.531	0.95	0.99	0.074	0.405	0.92	0.99
23	0.007	0.904	0.97	0.99	0.007	1.083	0.8	0.99
25	0.002	0.126	0.95	0.99	0.039	0.798	0.92	0.99
26	0.059	1.088	0.95	0.99	0.062	0.633	0.95	0.99
31	0.015	0.730	0.97	0.99	0.041	0.618	0.97	0.99
33	0.016	1.096	0.95	0.99	0.035	0.675	0.95	0.99
34	0.006	1.076	0.94	0.99	0.002	1.187	0.9	0.99
37	0.011	1.430	0.91	0.99	0.005	1.420	0.9	0.99
38	0.048	0.124	0.98	0.99	0.120	0.710	0.94	0.99
40	0.003	1.500	0.93	0.99	0.005	1.260	0.86	0.98
41	0.012	0.582	0.9	0.99	0.094	0.547	0.81	0.99
42	0.001	0.990	0.91	0.99	0.002	1.070	0.91	0.99
43	0.004	0.908	0.94	0.99	0.030	1.130	0.9	0.96
51	0.001	0.675	0.92	0.99	0.015	1.300	0.91	0.99

Fonte: Autores (2013)

NS = coeficiente de *Nash-Sutcliffe*

Eñ95% = erro não ultrapassado em 95% das amostras

Observa-se que o erro não ultrapassado em 95% de frequência no treinamento da rede neural artificial, para cada série de dados, variou de 0,000004 a 1,5 mm, sendo que o erro máximo ocorreu para o posto 40. Na verificação da RNA, o erro não ultrapassado em 95% de frequência para cada série de dados variou de 0,002 mm a 1,42 mm.

De maneira geral, o coeficiente de *Nash-Sutcliffe* (NS) mínimo encontrado no treinamento e na verificação dos modelos foi de 0,90 e de 0,81, respectivamente, e o máximo foi de 0,99. As frequências com que,

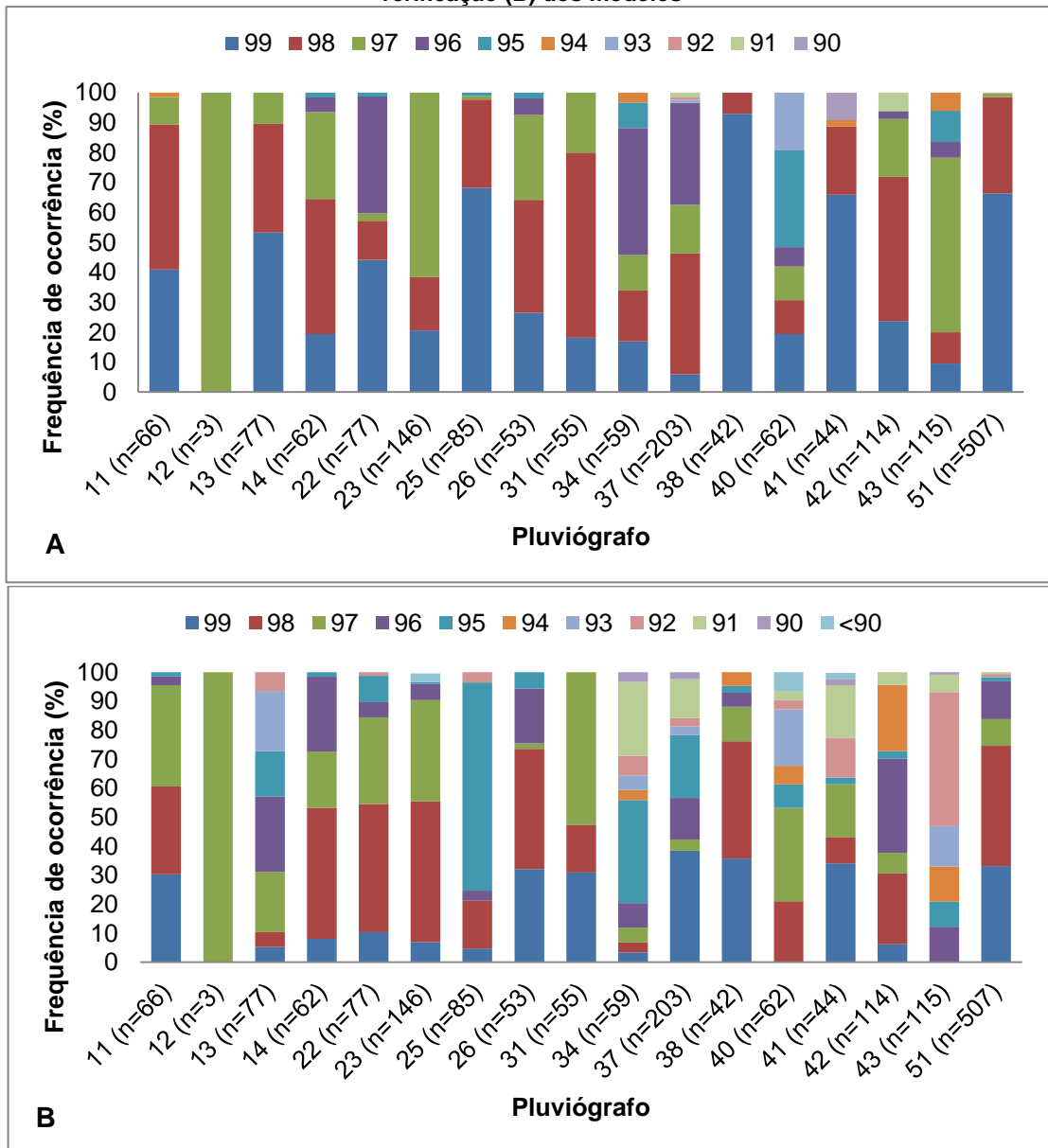
no treinamento da rede (Figura 2A), os coeficientes NS pelo menos igualaram o valor de 0,99 foram, para cada pluviógrafo (11, 12, 13, 14, 22, 23, 25, 26, 31, 34, 37, 38, 40, 41, 42, 43 e 51) de, respectivamente, 41, 0, 53, 19, 44, 21, 68, 26, 18, 17, 6, 93, 19, 66, 24, 10 e 66%. Os NS que igualaram ou ultrapassaram o valor de 0,97, por sua vez, ocorreram, respectivamente, com frequências de 9, 100, 10, 29, 3, 62, 1, 28, 20, 12, 16, 0, 11, 0, 19, 58 e 1%. Apenas no pluviógrafo 41 os coeficientes NS se igualaram o valor de 0,90, com uma frequência de 9%.

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.15, n. 2, p. 48-57, jul./dez. 2013

As frequências com que, na verificação (Figura 2B), os coeficientes NS pelo menos igualaram o valor de 0,99 foram, para cada pluviômetro (11, 12, 13,14, 22, 23, 25, 26, 31, 34, 37, 38, 40, 41, 42, 43 e 51) de, respectivamente, 30, 0, 5, 8, 10, 7, 5, 32, 31, 3, 38, 36, 0, 34, 6, 0 e 33%. Os NS que igualaram ou ultrapassaram o valor de 0,97, por sua vez, ocorreram, respectivamente, com frequências de 35, 100, 21, 19, 30, 35,

0, 2, 53, 5, 4, 12, 32, 18, 7, 0 e 9%. Na verificação foram encontrados valores de NS menores que 0,90 nos pluviômetros 23, 40 e 41, na frequência de 3, 6 e 2% respectivamente. E ainda observando o pluviômetro 43, este não apresentou coeficientes que iguallassem ou ultrapassassem 0,97, havendo uma frequência de 46% de ocorrência do coeficiente de valor 0,92.

Figura 2 – Frequência de ocorrência do coeficiente de Nash-Suitcliffe, no treinamento (A) e na verificação (B) dos modelos



Fonte: Autores (2013)

De uma maneira geral, durante o treinamento, os coeficientes NS estiveram concentrados em sua maioria entre 0,99 e 0,97. Já durante a verificação do

preenchimento, os coeficientes de NS foram encontrados em sua maioria entre os valores de 0,98 e 0,95. Observa-se, portanto, uma diferença nos valores obtidos no treinamento

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.15, n. 2, p. 48-57, jul./dez. 2013

e na verificação dos modelos. Valores mais baixos na verificação dos modelos induzem a considerar que no preenchimento das falhas, os resultados obtidos ampliam seu afastamento daqueles efetivamente ocorridos.

No entanto, para a escala de tempo mensal, a análise de variância (ANOVA), ao nível de significância de 5%, da comparação dos valores preenchidos mensais e as médias das séries históricas das estações pluviométricas de Cruz Alta e de Ijuí não resultou em diferenças estatísticas entre si. Deste modo, confirma-se a homogeneidade dos dados preenchidos em relação a outros dados históricos sem falhas, medidos para a

escala de tempo diário, em pluviômetros manuais.

As séries de precipitações horárias das estações foram correlacionadas entre si, para os períodos simultâneos dos dados disponíveis. A análise de correlação visa demonstrar a similaridade das distribuições temporais e magnitudes das alturas de precipitações medidas e preenchidas. O princípio é similar àquele da análise de dupla massa. Na Tabela 3 são apresentados os coeficientes de determinação (R^2) mínimos e máximos obtidos nas correlações com as séries de dados horários preenchidos de cada pluviógrafo.

Tabela 3 - Parâmetros estatísticos das séries de precipitações horárias

Pluviógrafo	R^2 mín.	R^2 máx.	Período
11	0,23	0,48	1989 a 1996
12	0,34	0,50	1989 a 1990
13	0,05	0,72	1999 a 2011
14	0,05	0,38	1990 a 1999
22	0,17	0,45	1989 a 1996
23	0,17	0,85	1989 a 2007
25	0,25	0,48	1990 a 1996
26	0,15	0,48	1989 a 1996
31	0,23	0,34	1989 a 1994
33	0,21	0,41	1990 a 1991
34	0,06	0,72	1999 a 2011
37	0,20	0,68	1991 a 2011
38	0,15	0,27	1994 a 1996
40	0,66	0,82	2003 a 2011
41	0,55	0,85	2003 a 2011
42	0,60	0,77	2003 a 2011
43	0,60	0,69	2003 a 2011
51	0,24	0,80	1989 a 2011

Fonte: Autores (2013)

Os pluviógrafos que funcionaram apenas na década de 1990 apresentaram coeficiente de determinação de Pearson sempre inferiores a 0,5 (pluviógrafos 11, 12, 14, 22, 25, 26, 31, 33 e 38) enquanto que para aqueles que funcionaram apenas na década de 2000 (pluviógrafos 40, 41, 42 e 43), os coeficientes foram superiores a 0,55. Os pluviógrafos que funcionaram nas duas décadas, apresentaram coeficientes mínimos e máximos representativos das décadas correspondentes, ou seja, o mínimo foi inferior a 0,5 e o máximo superior a 0,55. Os coeficientes de determinação representam o grau de sincronização temporal e a magnitude das alturas de precipitação medidas ou preenchidas. Os baixos valores dos coeficientes obtidos na década de 1990 indicam elevada dessincronização temporal

e nas magnitudes das alturas de precipitação registradas nos pluviógrafos. Na década de 2000, este problema foi minimizado, pois os valores dos coeficientes foram mais elevados. Até o ano de 1999, as medições eram feitas através de instrumentos automáticos mecânicos, que segundo Medeiros et al. (2003), dois aspectos podem ser considerados com origem das falhas: primeiro o operador, que poderia não efetuar a devida troca de gráficos ou realizá-lo de forma errada, causando defasagens de tempo ou, ainda, não dar corda no aparelho; segundo, no próprio instrumento, que, por ser composto por muitas partes móveis e sensíveis e estarem expostos no campo, apresentavam frequentemente problemas de manutenção, principalmente erro no relógio. A partir de 2000, os pluviógrafos mecânicos

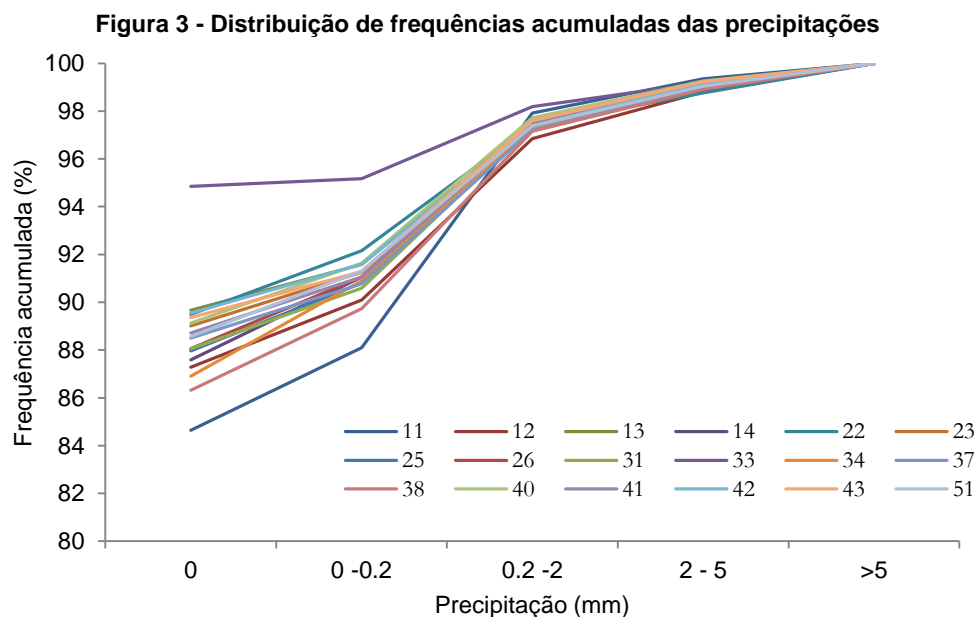
REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.15, n. 2, p. 48-57, jul./dez. 2013

foram substituídos pelos digitais, o que na prática não eliminou as falhas, mas reduziu os problemas que os mecânicos tinham com relação à defasagem.

As alturas de precipitação horárias foram analisadas em termos de suas frequências de ocorrência. Foi efetuada a discretização para os intervalos de 0 a 0,2 mm, de 0,2 a 2,0 mm, de 2,0 a 5,0 mm e superior a 5,0 mm. Na Figura 3 são apresentadas as frequências acumuladas das alturas de precipitação horárias medidas e preenchidas. A ausência de precipitação foi registrada em média em 88,5% das horas do período de monitoramento e o registro de chuva ocorreu em 11,5% do tempo. Alturas de precipitação horária superiores a 5,0 mm foram registradas em cerca de 0,9% do tempo. É importante notar a dispersão das curvas de distribuição das frequências acumuladas. O pluviômetro 33 apresentou a

maior dispersão. Este pluviômetro funcionou por um período muito curto, de modo que a sua análise de frequência pode não ser consistente. O pluviômetro 11 também apresentou desvio marcante em relação às demais curvas. Isto pode estar relacionado ao fato deste pluviômetro só estar em funcionamento durante a primeira década de monitoramento, período em que os dados apresentaram maior dessincronização temporal.

As frequências acumuladas para cada intervalo de ocorrência da precipitação apresentaram coeficientes de variação variando entre 12,5 % para o intervalo de 2,0 a 5,0 mm e 31,3% para o intervalo entre 0 e 0,2 mm. Estas variações demonstram a existência de expressivas diferenças nas alturas de precipitações horárias registradas ou preenchidas para cada pluviômetro.



Fonte: Autores (2013)

Na Figura 4 são apresentadas as alturas de precipitações máximas para diferentes durações. Esta figura foi construída com as séries horárias mais longas, visando incorporar diferentes ciclos climáticos, que poderiam influenciar nos valores máximos. As evoluções das precipitações máximas foram bastante diferentes. O pluviômetro 23 apresentou os valores mais elevados. O período de monitoramento está compreendido naquele do pluviômetro 51. Deste modo, as duas evoluções deveriam ser idênticas ou a evolução do pluviômetro 51 deveria ser mais

elevada. Dois aspectos devem ser considerados. O pluviômetro 23 apresentou um percentual de falhas relativamente baixo (20,8%), sendo inferior aquele do pluviômetro 51 (65,2%). As evoluções dos pluviômetros 34 e 37 apresentaram coerência a partir da duração de 5 h em relação ao pluviômetro 51. No entanto, para as durações inferiores a 5 h, as precipitações máximas destes pluviômetros também foram superiores aquelas do pluviômetro 51.

As precipitações horárias dos pluviômetros com séries mais longas foram utilizadas para aplicação da distribuição de probabilidade de

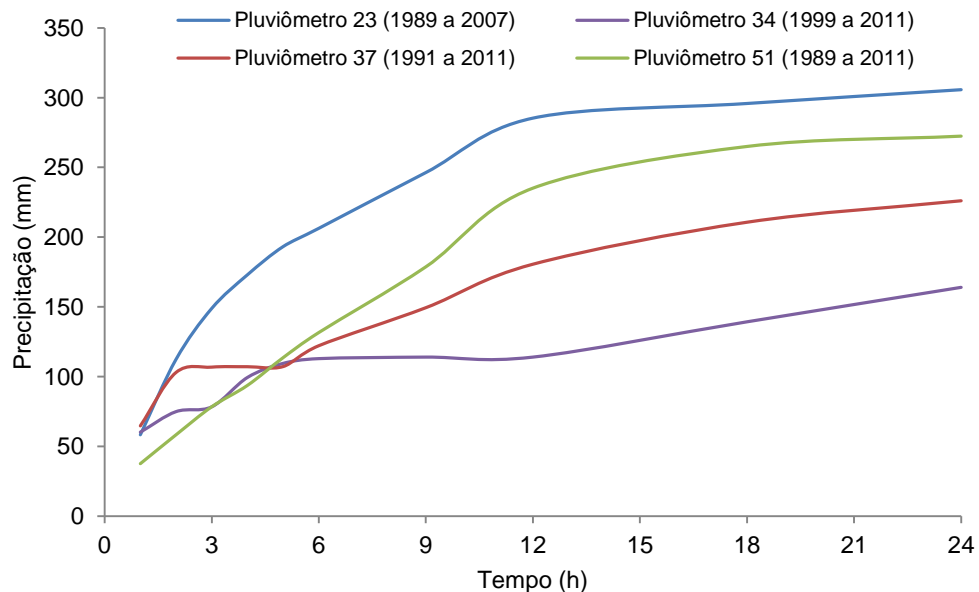
REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.15, n. 2, p. 48-57, jul./dez. 2013

extremos tipo I, conhecida como distribuição de Gumbel (NAGHETTINI; PINTO, 2007). Foram determinados os valores para os períodos de retorno variando entre 2 e 100 anos, para as precipitações de durações de 1 e 24 h. As relações entre as alturas das durações de 1 e 24 h, para o período de retorno de 2 anos, são apresentadas na Tabela 4. Estas relações são comparadas com aquelas obtidas por Fragoso (2005) no pluviômetro instalado em Cruz Alta e por Back, Oliveira e Henn (2012) para Chapecó e os resultados nacionais apresentados pelo DNOS (CETESB, 1986). As relações obtidas para os pluviômetros 23, 37 e 51 são similares, mas bastante inferiores aqueles dos referidos estudos. As intensidades de precipitações horárias são muito baixas. Valores baixos também são obtidos para as precipitações máximas horárias contidas na

série completa de cada pluviômetro. Na Figura 5 são apresentadas as intensidades da precipitação horária para diferentes períodos de retorno dos pluviômetros e obtidas pela IDF determinada por Fragoso (2005). Para todos os períodos de retorno, as intensidades de precipitação dos pluviômetros são mais baixas.

É importante notar também as diferenças das alturas de precipitação medidas e preenchidas para os três pluviômetros. As diferenças para as médias mensais e anuais e, máximos de 1 e 24 h, não foram regulares, variando de uma estação para outra. As diferenças entre as alturas máximas horárias podem ser superior a 55% e para as máximas de 24 h, de até 35%. As alturas médias anuais apresentam diferenças de até 13%.

Figura 4 - Precipitações máximas para diferentes durações



Fonte: Autores (2013)

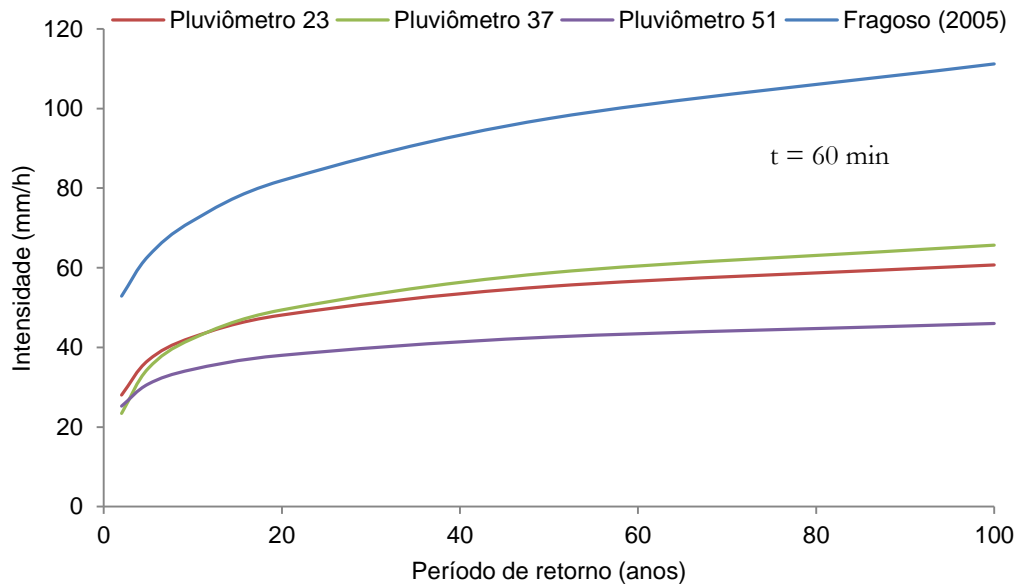
Tabela 4 - Alturas de precipitação para diferentes durações

	Relação entre alturas 1h/24h (TR = 2 anos)	Média Mensal (mm)	Média Anual (mm)	Máximo 1 h (mm)	Máximo 24 h (mm)
Pluviômetro 23	$28,0/106,5 = 0,26$	144,8	1697,3	58,3	305,7
Pluviômetro 37	$23,4/95,3 = 0,25$	155,3	1863,4	64,7	226,1
Pluviômetro 51	$25,2/103,5 = 0,25$	137,6	1650,8	37,6	272,4
Fragoso (2005) ¹	0,46				
Back, Oliveira e Henn (2012) ²	0,38				
DNOS (CETESB, 1986)	0,42				

Fonte: Autores (2013)

¹ IDF de Cruz Alta; ² IDF de Chapecó

Figura 5 - Intensidades da precipitação horária para diferentes períodos de retorno



Fonte: Autores (2013)

4 Conclusões

O preenchimento das falhas nas precipitações horárias apresentou coeficientes de análise de eficiência dos modelos elevados. No entanto, houve redução dos coeficientes entre o treinamento e a verificação dos modelos.

Na escala mensal, a análise ANOVA mostrou a semelhança dos valores preenchidos com aqueles registrados em estações pluviométricas convencionais instaladas no entorno da bacia. Para a escala de tempo horária, notou-se que as séries de alturas de precipitações

apresentaram diferenças na frequência acumuladas das alturas das precipitações, nas precipitações máximas para diferentes durações e nas relações entre as intensidades de precipitações de 1 h e de 24 h, para o período de retorno de 2 anos.

Recomenda-se que as séries de precipitações horárias com falhas e preenchidas sejam comparadas no desenvolvimento de estudos hidrológicos de interesse aplicado, como a simulação hidrológica de base física. Estes modelos requerem dados a curtos intervalos de tempo e, a disponibilidade de séries de dados horários é reduzida.

5 Uncertainties in the filling of failure of hourly rainfall with artificial neural networks

Abstract: Failures of historical rainfall data series are often found, hinder the achievement of hydrological studies. Artificial neural networks (ANN) have been used to forecast and filling gaps in various areas of knowledge, hydrology particularly. This study aims to evaluate the uncertainties of gap filling with ANNs model conducted by Depiné et al. (2014) in Potiribu basin. The effects on the spatial and temporal rainfall heights distribution and the frequency distribution of precipitation intensities were analyzed. The ANOVA analysis showed the similarity of the monthly values filled with those recorded in conventional rainfall stations installed in the vicinity basin. The hourly rainfall heights series showed differences in the heights of the cumulative frequency rainfall, the maximum precipitation for different durations and relationships between 1 h and 24 h rainfall intensities, to the 2 years return period. The differences result from the loss of efficiency of artificial neural network models in training and verification.

Keywords: Gap filling. Artificial neural networks. Hydrological monitoring.

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.15, n. 2, p. 48-57, jul./dez. 2013

6 Referências

BACK, A. J.; OLIVEIRA, J. L. R.; HENN, A. Relações entre precipitações intensas de diferentes durações para desagregação da chuva diária em Santa Catarina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.4, p.391–398, 2012.

BERTONI, J. C., TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Porto Alegre, UFRGS. p. 177 – 241. 2007.

BORDAS, M. P.; BORGES, A. L. O. Escolha de bacias representativas e experimentais para estudo de erosão e do seu controle. In: VIII Congresso Brasileiro e Encontro Nacional de Pesquisa em Conservação do Solo, Londrina. 1990.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Drenagem urbana – Manual de projeto**. 3ª ed. São Paulo: CETESB, 1986. 464 p.

DEPINÉ, H.; CASTRO, N. M. R.; PINHEIRO, A.; PEDROLO, O. Preenchimento de falhas de dados horários de precipitação utilizando redes neurais artificiais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos** (Aceito), 2014.

FRAGOSO JR, C. R. Regionalização da vazão máxima instantânea com base na precipitação de projeto. **Revista eletrônica de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 1, n.1, p. 5-13, 2005.

GARDNER, M. W.; DORLING, S. R. Artificial neural networks (the multilayer perceptron) – A review of applications in the Atmospheric Sciences. **Atmospheric Environment**, v. 32, n.14-15, p. 2627-2636. 1998.

HAYKIN, S. S. **Redes neurais: princípios e prática**. 2 ed., Bookman. 2001, 900 p.

LUCIO, P. S.; CONDE, F. C.; CAVALCANTI, I. F. A.; RAMOS, A. M.; CARDOSO, A. O. Reconstrução de séries meteorológicas via redes neurais artificiais. In: Anais XIV CBMET, Florianópolis – SC. 2006.

KIM, J.; PACHEPSKY, Y. A. Reconstructing missing daily precipitation data using regression trees and artificial neural networks. **Journal of Hydrology**. v. 394, p.305-314. 2010.

MEDEIROS, J. D. F.; GOLDENFUM, J. A.; CASTRO, N. M. R. Problemas operacionais observados no monitoramento hidrológico de pequenas bacias rurais embutidas. In: 15º Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2003, Curitiba. 15º Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2003.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. **Hidrologia Estatística**. Belo Horizonte, CPRM, 2007, 561 p.

7 AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CNPq, Processo 562378/2010-3, Edital 22/2010 pelo suporte financeiro ao desenvolvimento do trabalho e pela bolsa de doutorado do primeiro autor.