

## REGIONALIZAÇÃO DA VAZÃO Q95% ATRAVÉS DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS PARA A BACIA REPRESENTATIVA DO RIO PIABANHA

*Mariana Dias Villas-Boas<sup>1</sup>; Carlos Eduardo da Silva Sacramento<sup>2</sup> & Décio Rodrigues Goulart<sup>3</sup> & Janaina G. Pires da Silva<sup>4</sup> & Jefferson Santana Melo<sup>5</sup> & João Pedro Costa da Silva<sup>6</sup>; & Michele Bruna de Souza do Nascimento<sup>7</sup> & Marcelo Henriques Parente<sup>8</sup> & Marcio Junger Ribeiro<sup>9</sup> & Antonio Machado Neto<sup>10</sup> & Adriana Dantas Medeiros<sup>11</sup>,*

**Palavras-Chave** – Bacias Experimentais, Regionalização de Vazões, Redes Neurais

### RESUMO

O estudo da disponibilidade hídrica de uma bacia hidrográfica é parte do gerenciamento dos recursos hídricos. A regionalização de vazões é comumente utilizada para esse tipo de estudo e permite a transferência de informações hidrológicas de locais com série de vazões representativas para outros locais com pouca ou nenhuma informação. Nesse sentido, podem ser utilizadas diferentes técnicas dentre as quais: a regressão linear, a modelagem hidrológica e, mais recentemente, as redes neurais artificiais. Nesse trabalho, apresenta-se a comparação da estimativa da vazão mínima de permanência de noventa e cinco por cento, a chamada Q95%, utilizando o modelo original da CPRM/SGB, com base em regressão linear, e o proposto com base em redes neurais artificiais para a bacia do rio Piabanha. Observa-se, de um modo geral, um melhor ajuste do modelo de redes neurais para o conjunto de estações selecionado. Em seguida, é realizada uma aplicação de ambos os modelos considerando os dados de duas estações da bacia representativa (Pedro do Rio e Parque Petrópolis) do rio Piabanha onde o modelo proposto, com uso de redes neurais, funciona melhor que o modelo tradicional apenas para uma delas, Pedro do Rio.

### ABSTRACT

The study of the water availability of a watershed is part of the management of water resources. The discharge regionalization is commonly used for this study and allows the transfer of hydrological information from places with a series of representative flows to other places with little or no information. Thus, different techniques can be used, such as: linear regression, hydrological modeling and, more recently, artificial neural networks. This paper presents the comparison of the estimate of the minimum permanence flow rate of ninety-five percent, Q95%, using the original model of CPRM/SGB, based on linear regression, and the one proposed based on artificial neural networks for the Piabanha river basin. In general, a better adjustment of the neural network model for the selected set of gauges is observed. Then, an application of both models is performed considering the data of two gauges of Piabanha river representative basin (Pedro do Rio and Parque Petrópolis) where the proposed model, using neural networks, works better than the traditional model only for one of them, Pedro do Rio.

<sup>1</sup> Serviço Geológico do Brasil/CPRM - mariana.villasboas@cprm.gov.br

<sup>2</sup> Serviço Geológico do Brasil/CPRM - carlos.sacramento@cprm.gov.br

<sup>3</sup> Serviço Geológico do Brasil/CPRM - decio.goulart@cprm.gov.br

<sup>4</sup> Serviço Geológico do Brasil/CPRM - janaina.silva@cprm.gov.br

<sup>5</sup> Serviço Geológico do Brasil/CPRM - jefferson.melo@cprm.gov.br

<sup>6</sup> Serviço Geológico do Brasil/CPRM - joao.pedro@cprm.gov.br

<sup>7</sup> Serviço Geológico do Brasil/CPRM - michele.nascimento@cprm.gov.br

<sup>8</sup> Serviço Geológico do Brasil/CPRM - marcelo.parente@cprm.gov.br

<sup>9</sup> Serviço Geológico do Brasil/CPRM - marcio.ribeiro@cprm.gov.br

<sup>10</sup> Serviço Geológico do Brasil/CPRM - antonio.neto@cprm.gov.br

<sup>11</sup> Serviço Geológico do Brasil/CPRM - adriana.medeiros@cprm.gov.br

## 1. INTRODUÇÃO

A compreensão dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica implica no conhecimento do comportamento das variáveis hidrológicas. Uma dessas variáveis é a vazão superficial a partir da qual podemos determinar a disponibilidade hídrica. O estudo das vazões envolve a determinação das vazões máximas, médias e mínimas. Essas últimas são, usualmente, caracterizadas pela vazão mínima de sete dias de duração com tempo de recorrência de 10 anos ( $Q_{7,10}$ ) ou pela vazão com 95% de permanência no tempo ( $Q_{95\%}$ ), ambas vazões mínimas e de referência para concessão de outorga de direito de uso da água.

Uma rede hidrometeorológica, ainda que densa, dificilmente atenderá com seus dados às necessidades de informação para a gestão de recursos hídricos, em especial no subsídio à outorga de vazões. Sempre haverá a necessidade de se determinar a disponibilidade hídrica onde se originam as demandas, que muitas vezes são locais sem monitoramento ou com dados constituindo séries de curta duração ou com períodos longos de falhas de observação (CPRM, 2017). Com a finalidade de se espacializar a informação hidrológica, normalmente pontual (das estações), possibilitando a transferência de informações de uma região para outra, mesmo que não monitorada podem ser utilizadas diversas ferramentas, dentre as quais: a regionalização de vazões (VILLAS-BOAS *et al.*, 2018).

Os estudos de regionalização transferem a informação de uma região para outra desde que elas tenham comportamento hidrológico semelhante. Assim, na caracterização da região são reunidas informações que auxiliam a compreensão em termos conceituais dos processos hidrológicos e a identificação das regiões homogêneas, isto é, com comportamento semelhante. Vale ressaltar, que segundo TUCCI (2000) a regionalização não pode ser vista como um método de extrapolação, em razão da variabilidade dos processos hidrológicos, e por isso nenhum estudo poderá substituir uma rede adequada de monitoramento (VILLAS-BOAS *et al.*, 2018).

As Redes Neurais Artificiais são utilizadas em várias áreas do conhecimento e, inclusive, já foram usadas para a regionalização de vazões (NANDAGIRI, 2010). Algumas de suas principais vantagens são: a alta capacidade de ajustar funções não-lineares arbitrárias entre as variáveis de entrada e de saída, o fato de serem facilmente estendidas à problemas de análise multivariada e não requerem um conhecimento prévio acerca das relações entre os dados.

O objetivo desse trabalho é desenvolver um modelo de regionalização de vazões para a bacia representativa do Piabanha com base em redes neurais artificiais e comparar o seu desempenho com os resultados obtidos através da regressão linear.

## 2. MATERIAS E MÉTODOS

### 2.1. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo selecionada para o trabalho está inserida na bacia do rio Piabanha, uma das principais sub-bacias da bacia do Paraíba do Sul. O rio Piabanha é afluente pela margem direita do rio Paraíba do Sul cuja bacia ocupa uma área de aproximadamente 2.050 km<sup>2</sup>, a maior parte inserida na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro (VILLAS-BOAS *et al.*, 2011).

Nessa área foi delimitada uma sub-bacia, definida como bacia REPRESENTATIVA, com cerca de 400km<sup>2</sup>, que reunisse as características de uso de solo e vegetação da bacia do rio Piabanha para que os resultados pudessem ser utilizados na gestão de recursos hídricos, tendo como seção de controle a estação Pedro do Rio. Dentro dessa bacia representativa, foram definidas três bacias

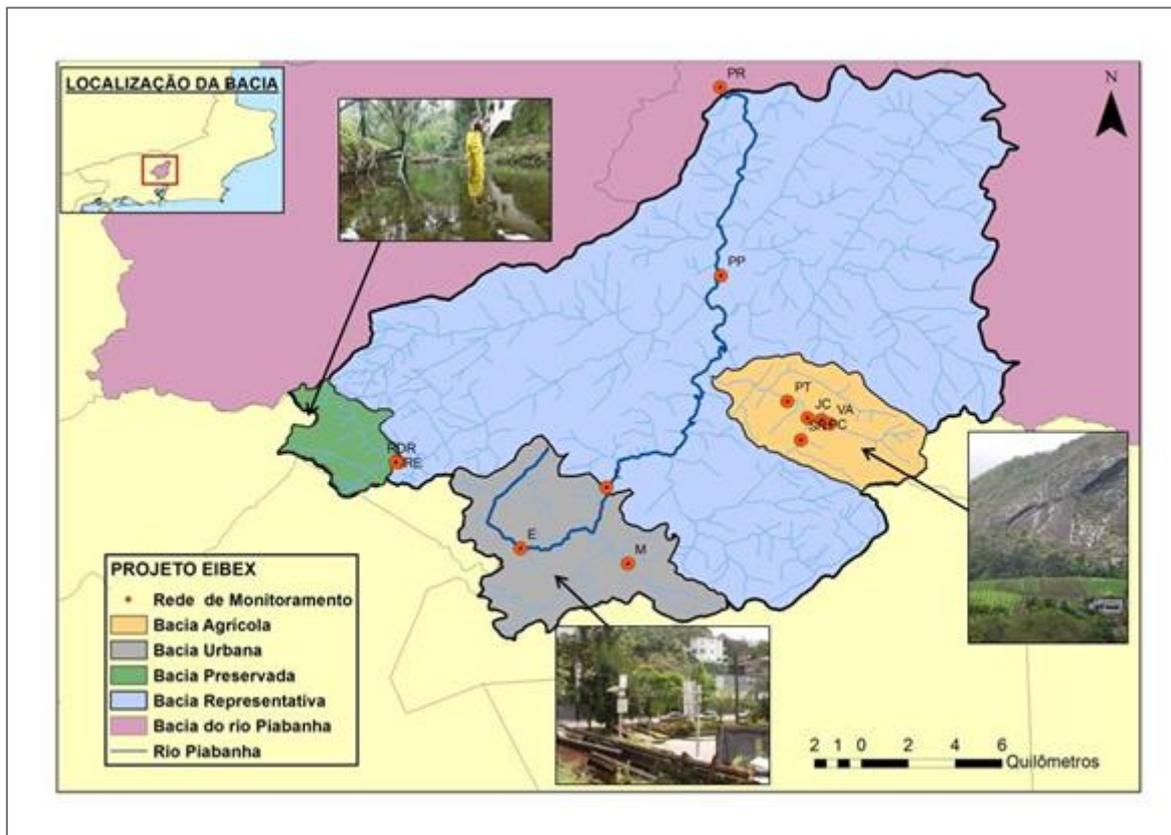
EXPERIMENTAIS, onde predominam os diferentes usos do solo existentes: em área de mata Atlântica preservada, em área predominantemente de uso agrícola e área de ocupação urbana, respectivamente, com as seguintes áreas: 47 km<sup>2</sup>, 30 km<sup>2</sup> e 13km<sup>2</sup>, representadas na Figura 3 (VILLAS-BOAS et al. 2011).

Na bacia representativa foi estabelecida uma rede de monitoramento hidrometeorológico que, atualmente, conta com 13 estações conforme apresentado na Tabela 1 e na Figura 1. Atualmente as estações contam com medições convencionais (pluviômetro (P) e réguas limnimétricas (P)) e com equipamento automático (r). Há duas estações climatológicas na bacia (C) que fazem as seguintes medições: pressão atmosférica, umidade relativa do ar, temperatura do ponto de orvalho, velocidade e direção do vento, radiação solar incidente, radiação líquida, evaporação, potencial matricial, fluxo de calor e umidade do solo, temperatura do solo e precipitação. Há 5 estações que são telemétricas (T). Em todas as estações fluviométricas são realizadas medições de vazão (D) a cada dois meses e medições de qualidade de água (Q) com frequência variável de acordo com o estudo. Os dados de monitoramento ainda não estão sendo disponibilizados on line mas podem ser requeridos através do website da CPRM (VILLAS-BOAS *et al.*, 2017).

**Tabela 1 – Informações da rede de monitoramento do Projeto EIBEX.**

ESTAÇÃO	SIGLA	TIPO	Codigo FLU	Codigo PLU	BACIA EXPERIMENTAL	CURSO D'AGUA
Pedro do Rio	PR	PPRFDFrQT	58405000	2243012	-	Rio Piabanha
Pq. Petropolis	PP	CFDFrQT	58400250	2243286	-	Rio Piabanha
Esperança	E	PPRFDFrQ	58400010	2243287	URBANA	Rio Piabanha
Liceu	L	PPRFDFrQT	58400050	2243289	URBANA	Rio Piabanha
Morin	M	PPRFDFrQ	58400030	2243288	URBANA	Rio Palatinado
Rocio 2 - Ponte	R	FDQ	58400212	****	PRESERVADA	Rio da Cidade
Rocio 2 - D	RD	FDfr	58400210	2243302	PRESERVADA	Rio da Cidade
Rocio 2 - E	RE	PPRFDFrT	58400211	*****	PRESERVADA	Rio da Cidade
Poço Tarzan	PT	PPRFDFrQT	58400110	2243290	AGRÍCOLA	Rio Bonfim
Poço do Casinho	PC	FDfrQ	58400104	****	AGRÍCOLA	Rio Açú
Joao Christ	JC	FDQ	58400108	****	AGRÍCOLA	Rio Alcobaça
Vila Açú	VA	PPR	****	2243301	AGRÍCOLA	****
Sítio das Nascentes	SN	C	****	2243291	AGRÍCOLA	****

Figura 1 – Localização das bacias representativas e experimentais do projeto EIBEX.



## 2.2. REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

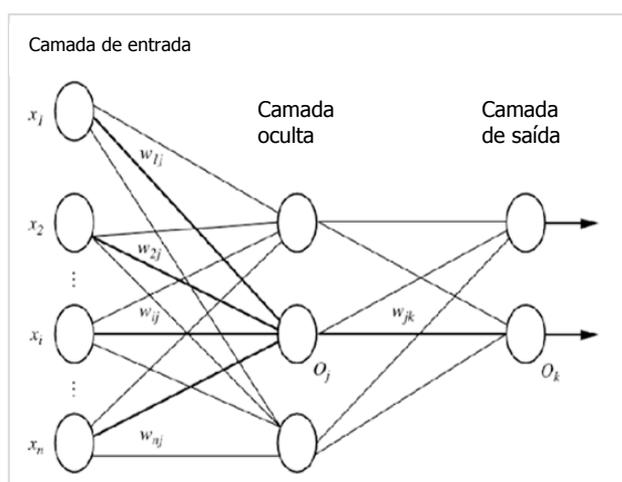
As primeiras Redes Neurais artificiais (RNA) surgiram na década de 50 com o advento dos computadores digitais tendo como base o funcionamento dos neurônios biológicos, que já estavam sendo estudados desde 1930. Houve pouco uso na época em função da limitação do potencial dos computadores e de algumas deficiências teóricas. Somente nos anos 90, com seu emprego na área de mineração de dados, o seu uso cresceu e foi expandido para diferentes campos do conhecimento tornando-se uma ferramenta de alto potencial aplicada às áreas da psicologia, estatística, engenharia, economia, marketing etc. (ABDI *et al.*, 1999).

Normalmente, as RNAs são utilizadas na solução de problemas preditivos e descritivos. Em termos estatísticos, a interpretação dos parâmetros da rede durante o treinamento pode ser comparada aos valores  $a$  e  $b$  da equação de regressão linear ( $y=a+bx$ ) (ABDI *et al.*, 1999). Segundo BERRY et LINOFF (2004), regressão logística, e mesmo a regressão linear, podem ser vistas como casos especiais de redes neurais artificiais.

O objetivo das RNAs é “aprender” ou “descobrir”, associações entre os dados de entrada e de saída, através de exemplos, com base em uma estrutura formada por um conjunto de elementos chamados neurônios interligados e organizados em camadas. Neurônios podem ser definidos como elementos que processam a informação recebida e enviam a informação processada para outros neurônios. A ligação entre os neurônios possui um peso numérico associado ( $w$ ). O processamento da informação é feito através de uma função de ativação, definida para cada neurônio, em duas etapas: primeiro é computado a soma ponderada dos dados de entrada  $e$ , em seguida, essa soma é transformada através de uma função de ativação (VILLAS-BOAS *et al.*, 2018).

No caso específico de das RNA *feedforward*, comumente utilizadas, cada neurônio na rede recebe informações de neurônios na camada anterior e envia informações para neurônios na próxima camada. A primeira camada é chamada de “camada de entrada” e tem tantos neurônios quanto o número de variáveis de entrada. As camadas seguintes são chamadas de “camadas ocultas” cujo número de neurônios é variável. A última camada é chamada de “camada de saída” e tem tantos neurônios quanto o número de variáveis de saída. Segundo, RUSSELL *et* NORVIG, 1995 uma RNA *feedforward* com uma camada oculta pode ajustar qualquer função contínua. A Figura 2 exemplifica uma RNA *feedforward* de 1 camada oculta, 4 variáveis de entrada e duas variáveis de saída com três neurônios na camada oculta.

Figura 2 – Representação de uma RNA *feedforward* (VILLAS-BOAS, 2018).



### 2.3. METODOLOGIA

O modelo de regionalização proposto para a bacia representativa tem como base os estudos de regionalização de vazões da bacia do Paraíba do Sul do Serviço Geológico do Brasil - SGB - CPRM (MELLO *et al.*, 2017). Os estudos utilizam a metodologia consolidada pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, reunida e apresentada em TUCCI (2000). A metodologia foi aplicada apenas para a variável dependente, a vazão de permanência de 95% (Q95%), definida através de equações de regressão linear em função das variáveis independentes, precipitação média anual (P) e/ou área de drenagem (A). Depois de ajustada a equação para as duas variáveis independentes, retirou-se a precipitação média verificando se houve melhora no ajuste com base nas seguintes estatísticas: a raiz quadrada do erro relativo médio (RMS),  $R^2$  e erro relativo linear para cada estação. As equações de regressão estabelecidas foram lineares ou de potência, simples ou múltiplas. (VILLAS- BOAS *et al.*, 2018).

Os dados fluviométricos utilizados no projeto foram, em sua maioria, da RHN (Rede Hidrometeorológica Nacional), gerenciada pela ANA e operada pela CPRM na região, complementados por dados de outras entidades. Já os dados pluviométricos utilizados foram somente da RHN consistidos pela CPRM para o Projeto Atlas Pluviométrico da CPRM (CPRM, 2010) que produziu as isoietas médias mensais para o Brasil

Como resultado da análise de regressão dos estudos de regionalização do SGB - CPRM para Q95%, foram definidas vinte regiões homogêneas e uma região indefinida (Figura 2) e ajustadas as equações regionais para cada uma das regiões bem como definidos os limites de validade para a área de drenagem (MELLO *et al.*, 2017).

Dessa forma, a metodologia aqui proposta consiste numa adaptação da metodologia do SGB/CPRM, onde a relação entre a variável dependente Q95% e a(s) variável (is) independentes precipitação média anual (P) e/ou área de drenagem (A) é definida através de um modelo de redes neurais artificiais, no lugar da regressão linear. Para isso, definimos dois modelos:

- 1 – dados de entrada P e A e de saída a Q95%;
- 2 – dados de entrada somente A e de saída a Q95%

A metodologia foi desenvolvida para a área de estudo: a bacia do rio Piabanha que compreende as regiões homogêneas XIV e XV cujas equações regionais definidas estão apresentadas na Tabela 3. Dessa forma serão utilizados os dados de Q95%, P e A das estações selecionadas para o estudo do SGB/CPRM para essa área de modo a ajustar o modelo de redes neurais. Os dados das estações utilizadas encontram-se apresentados na Tabela 2 juntamente com o código de identificação.

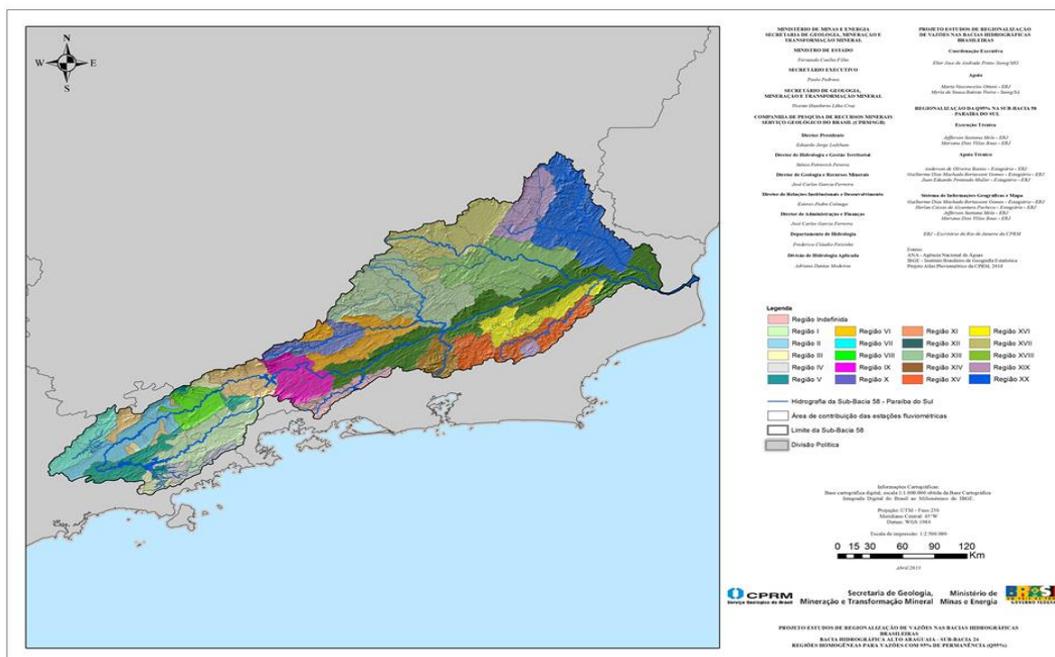
**Tabela 2 – Estações utilizadas para a definição do modelo de Redes neurais para a Bacia do rio Piabanha**

Código da estação	Precipitação média (m)	Área (km <sup>2</sup> )	Q95 (m <sup>3</sup> /s)
58400000	1,88	52	<b>0,78</b>
58405000	1,72	423	<b>3,22</b>
58409000	1,63	523	<b>3,69</b>
58434000	1,35	270	<b>1,36</b>
58440000	1,49	2063	<b>8,15</b>
58420000	1,63	695	<b>5,71</b>
58425000	1,57	901	<b>6,64</b>
58427000	1,54	1004	<b>8,66</b>

**Tabela 3 – Equações Regionais Para As Regiões Homogêneas Da Bacia-58 (MELLO et al., 2017)**

Região Homogênea	Equação regional sendo: Q(m <sup>3</sup> /s), A (km <sup>2</sup> ) e P (m)	R <sup>2</sup> ajustado	Validade Área (km <sup>2</sup> )
XIV	$Q_{95\%} = 10^{-2,0485} \times A^{0,7786} \times P^{2,2228}$	0,9974	52 a 2.063
XV	$Q_{95\%} = 10^{-1,7270} \times A^{0,8509} \times P^{0,2547}$	0,9864	104 a 1.814

Figura 3 - Mapa das Regiões Homogêneas da Sub-Bacia 58 (MELLO et al., 2017).



Para a comparação do desempenho da metodologia de regionalização de vazões proposta (redes neurais artificiais) com o da metodologia original do SGB/CPRM (regressão linear) foi realizado um estudo de caso para a área da bacia representativa do Projeto EIBEX, , que está totalmente inserida na região XIV, utilizando apenas as estações de Pedro do Rio e Parque Petrópolis devido à restrição de área mínima do estudo de regionalização de vazões. A Tabela 4 apresenta os dados utilizados para essa a aplicação.

Tabela 4 – Variáveis hidrológicas das estações da bacia representativa do Piabanha que foram utilizadas para aplicação do modelo de redes neurais definido através da metodologia proposta.

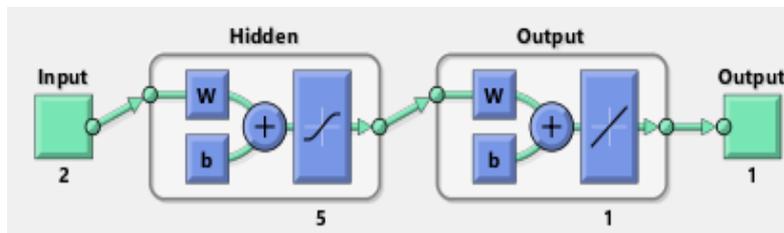
Características	ÁREA (km <sup>2</sup> )	PTAM (mm)	Q95% (m <sup>3</sup> /s)
ESTAÇÃO			
Pedro do Rio - PR	413	1,26	3,97
Parque Petrópolis - PP	263	1,46	2,43

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação da metodologia proposta para a regionalização da vazão de permanência da bacia do Piabanha foi realizada a partir da definição de um modelo de redes neurais artificiais cujos dados de entrada consistiram na precipitação e área e os de saída na Q95% das estações da Tabela 2. Definiu-se uma RNA *feedforward* simples com uma camada oculta e funções de ativação linear e tangente hiperbólica, respectivamente, para a camada oculta e camada de saída. Variou-se o número de neurônios na camada oculta de modo a encontrar o melhor modelo de ajuste para os dados de entrada e saída da rede. Foi utilizado o software MATLAB para a modelagem. Para o treinamento da RNA usou-se o algoritmo *Backpropagation* e os pesos e bias iniciais foram determinadas usando

o método Nguyen-Widrow. A Figura 4 apresenta a arquitetura final definida para a rede com 5 neurônios na camada oculta.

Figura 4 –Arquitetura final da Rede Neural definida para a regionalização da Q95% para a bacia do Piabanha.



Após o ajuste do modelo foi possível estimar a Q95% para as estações da bacia do Piabanha. Os resultados encontram-se na Tabela 5 onde podem ser comparados com aqueles obtidos no ajuste da regressão linear no estudo de regionalização do SGB/CPRM. Foi calculado o erro percentual (ERLinear) entre os dados observados e os simulados para as duas metodologias. Nota-se um menor erro linear para a maior parte das estações no modelo de redes neurais proposto demonstrando um ajuste melhor desse modelo ao conjunto de dados de entrada proposto.

Tabela 5 – Resultados do ajuste dos modelos de regressão linear e redes neurais para a bacia do rio Piabanha.

DADOS USADOS - MODELOS				REGRESSÃO LINEAR		REDES NEURAIS	
Código da estação	Precipitação média (m)	Área (km <sup>2</sup> )	Q95 (m <sup>3</sup> /s) observada	Q95 (m <sup>3</sup> /s) calculada	ERLinear (%)	Q95 (m <sup>3</sup> /s) calculada	ERLinear (%)
58400000	1,88	52	<b>0,78</b>	0,78	-0,57	0,81	<b>4,07</b>
58405000	1,72	423	<b>3,22</b>	3,32	-3,03	3,21	-0,18
58409000	1,63	523	<b>3,69</b>	3,49	5,48	3,69	-0,03
58434000	1,35	270	<b>1,36</b>	1,37	-0,44	1,36	0,01
58440000	1,49	2063	<b>8,15</b>	8,28	-1,65	8,15	0,01
58420000	1,63	695	<b>5,71</b>	5,55	2,84	5,71	-0,04
58425000	1,57	901	<b>6,64</b>	6,88	-3,57	7,31	<b>10,03</b>
58427000	1,54	1004	<b>8,66</b>	7,51	13,24	7,86	-9,22

Em seguida, com base na Equação de regionalização da Região Homogênea XIV (Tabela 3), nas áreas e precipitação total anual média (Tabela 4), foi estimada a Q95% para os dois pontos de interesse cujos resultados encontram-se na Tabela 6. Nesse caso, observa-se uma melhor estimativa do modelo de redes neurais para a estação Pedro do Rio e, por outro lado, um erro percentual menor do modelo tradicional de regressão linear para a estação Parque Petrópolis.

**Tabela 6 – Resultados da aplicação da metodologia proposta (redes neurais) comparados à metodologia original (regressão linear)**

ESTAÇÃO	Q95% (m <sup>3</sup> /s) Dados observados	Q95% (m <sup>3</sup> /s) Redes Neurais	Q95% (m <sup>3</sup> /s) Regressão Linear	ERLinear (%) - Redes Neurais	ERLinear (%) - Regressão Linear
Pedro do Rio - PR	3,97	2,67	1,63	33	59
Parque Petrópolis - PP	2,43	1,14	1,60	53	34

Comparando-se, ainda, com os resultados obtidos através da Modelagem Hidrológica por VILLAS-BOAS *et al.* (2018) nota-se uma melhor performance da Modelagem Hidrológica para ambas as estações com um erro percentual de 16% e 27% respectivamente para Pedro do Rio e Parque Petrópolis.

#### 4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O estudo em bacias experimentais e representativas permite a compreensão dos fenômenos hidrológicos de maneira controlada visando a redução de incertezas no monitoramento. A vazão mínima é uma variável muito importante para a gestão dos recursos hídricos e para a aplicação de instrumentos legais como a outorga de uso da água pelos órgãos gestores estaduais. Nesse estudo, foi proposta uma metodologia de estimativa da vazão de permanência de 95% (Q95%) tendo com base o estudo de regionalização realizado pelo SGB/CPRM onde a regressão linear, normalmente utilizada, foi substituída pelas redes neurais artificiais para o ajuste de modelo de previsão da Q95% em função da precipitação média e área de drenagem a montante do ponto considerado..

A metodologia foi aplicada ao conjunto de estações da bacia do Piabanha e os resultados comparados aqueles obtidos pelo estudo de regionalização do SGB/CPRM. Foi possível observar, de uma maneira geral, um melhor ajuste do modelo de redes neurais entre os dados de entrada e saída das oito estações da área de estudo com erros relativos menores para seis das oito estações.

Com relação a aplicação do modelo para estimativa da vazão Q95% de duas estações da bacia representativa do Piabanha, Pedro do Rio e Parque Petrópolis, observou-se comportamentos distintos entre os dois modelos. Para Pedro do Rio o desempenho das redes neurais foi melhor e para Parque Petrópolis a regressão linear obteve um erro linear percentual menor. O conjunto de d

Vale ressaltar, quanto maior a série de dados das variáveis de entrada e saída o ajuste dos modelos de previsão tende a ser mais preciso. Principalmente, no caso das redes neurais onde o *overfitting* ocorre com muita frequência. Dessa forma, recomenda-se que os modelos sejam novamente aplicados e comparados quando uma maior quantidade de dados estiver disponível.

#### REFERÊNCIAS

- ABDI, H., VALENTIN, D., EDELMAN, B., 1999. Neural Networks, Series: Quantitative Applications in the Social Sciences Sage Publications Papers.
- BERRY, Michael J. A., LINOFF, Gordon S. Data mining techniques. USA: Wiley Publishing Inc, 2004. 2ª edição.

CPRM, 2010 – Atlas pluviométrico do Brasil -  
<http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Mapas-e-Publicacoes/Atlas-Pluviometrico-do-Brasil-1351.html>.

CPRM, 2017 - MELO, J. S., VILLAS-BOAS, M.D., Regionalização de vazões nas bacias hidrográficas brasileiras : estudo da vazão de 95% de permanência da sub-bacia 58: CPRM, 2017.

MELO, J.S., VILLAS-BOAS, M.D., PINTO, E.B.A, VIEIRA, M.S.V., 2017. Regionalização de vazão de 95% de permanência da sub-bacia 58 – bacia do rio Paraíba do Sul. In: XXII Simpósio Brasileiro de Recursos 2011, Florianópolis/SC.

NANDAGIRI, L. “Regionalization of Flow Duration Quantiles – Comparison of Multiple Least-Squares Regression and Artificial Neural Networks Approaches”. Proceedings of National Conference on ‘Sustainable Water Resources Management and Impact of Climate Change’, BITS-Pilani, Hyderabad Campus, March 5-6, 2010.

RUSSELL, S.J., NORVIG, P. (Stuart Jonathan) “Artificial intelligence: a modern approach”/ Stuart Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1995.

TUCCI, C. E. M. Regionalização das Vazões - Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL - IPH – UFRGS. Porto alegre, 2000.

VILLAS-BOAS, M.D., BASTOS, A.O., ARAÚJO, L.M.N., SILVA, F.J., MONTEIRO, A.E.G.C., 2011. Manejo do uso do solo como mecanismo regulatório da gestão da qualidade da água - estudo de caso: a bacia do rio Piabanha. In: XIVth IWRA World Water Congress, Porto de Galinhas/PE.

VILLAS-BOAS, M.D., SANTOS, F.J., SILVA, J.G.P., HENRIQUES, M.P., RIBEIRO, M. J., MEDEIROS, A.D., AZEVEDO, J.P.S., OLIVERA, F.O., 2017. Os 10 anos do projeto institucional da CPRM: Estudos Integrados em Bacias Experimentais e Representativas – Região Serrana/RJ – conquistas e desafios futuros. In: XXII Simpósio Brasileiro de Recursos 2011, Florianópolis/SC.

VILLAS-BOAS, M.D., 2018, Ferramentas para avaliação da rede de monitoramento de qualidade de água da bacia do rio Piabanha – RJ com base em redes neurais e modelagem hidrológica, 153 p., Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

VILLAS-BOAS, M. D.; SANTOS, F. J.; SILVA, J. P. G.; HENRIQUES, M. P.; RIBEIRO, M. J.; KENUP, R. E. ; MEDEIROS, A. D.; AZEVEDO, J. P. S.; OLIVERA, F. Comparação da Vazão Q95% Obtida Através do Estudo de Regionização de Vazões e de Modelagem Hidrológica com Uso do Swat para a Bacia do Rio Piabanha In: III Simpósio de Recursos Hídricos do Rio Paraíba do Sul - UFJF, 2018