

PREVISÃO DIÁRIA DE VAZÕES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIANCÓ ATRAVÉS DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

*Artur Moises Gonçalves Lourenço¹; Tereza Helena Costa Nunes²; Tatiane Carlyne Carneiro³ &
Camilo Allyson Simões de Farias⁴*

RESUMO --- Modelos para previsão de vazão vêm se mostrando como ferramentas de grande importância para o desenvolvimento de estudos sobre o gerenciamento dos recursos hídricos. Tais ferramentas são essenciais não somente para mitigação dos impactos das incertezas climáticas, mas também por possibilitar o conhecimento integrado da climatologia e hidrologia de uma determinada região. Regiões semiáridas sofrem periodicamente com eventos de secas e, paradoxalmente, com inundações que afetam plantações, vilarejos rurais e bairros de populações carentes de cidades de médio e pequeno porte, limitando o seu desenvolvimento social e econômico. Esses eventos extremos podem ter os seus efeitos mitigados através da operação adequada dos reservatórios existentes, sendo que para isso, uma previsão de vazão confiável é primordial. Um modelo de Redes Neurais Artificiais (RNA) é capaz de extrair as mais complexas relações não-lineares entre as variáveis envolvidas. O princípio básico do modelo proposto consiste em prever vazões diárias com base em valores passados de vazão e precipitação. Espera-se que este modelo possa ser utilizado num sistema de prevenção de secas e cheias, de modo que possam incentivar o manejo eficiente dos recursos hídricos existentes na região, contribuindo para minimização de conflitos sociais, econômicos e ambientais.

ABSTRACT --- Streamflow prediction models are important tools for the development of studies on water resources management. Such tools are essential not only for mitigating the impacts of climatic uncertainties, but also for enabling an integrated knowledge of the regional climatology and hydrology. Semiarid areas suffer periodically from drought events and, paradoxically, with floods, that affect crops, rural villages, and poor neighborhoods of medium and small cities. This situation limits the social and economic development of the region. Extreme events could have their effects mitigated through the proper operation of existing reservoirs and, for that, a reliable prediction of streamflows is fundamental. An Artificial Neural Network (ANN) model is capable of extracting the most complex nonlinear relationships between the involved variables. The basic principle of the proposed model consists of predicting daily streamflows based on past values of streamflow and precipitation. The model is expected to be used in a drought and flood damage reduction system so that it can encourage the efficient management of existing water resources in the region and contribute to the minimization of social, economic and environmental conflicts.

Palavras-chave: Redes neurais artificiais, previsão diária de vazões, semiárido.

¹ Aluno de Graduação do Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Ciências e Tecnologia Ambiental, Rua Odilon Lopes, S/N, Nova Vida, 58840-000 Pombal – PB, Fone: (83) 9109-1365, e-mail: libnirvana@gmail.com

² Aluna de Graduação do Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Ciências e Tecnologia Ambiental, Rua Jairo Vieira Feitosa, S/N, Pereiros, 58840-000 Pombal – PB, Fone: (83) 9654-0880, e-mail: terezahcnunes@gmail.com

³ Aluna de Graduação do Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Ciências e Tecnologia Ambiental, Rua Jairo Vieira Feitosa, S/N, Pereiros, 58840-000 Pombal – PB, Fone: (83) 9955-0761, e-mail: tatianecarlyne@oi.com.br

⁴ Professor Adjunto, Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Ciências e Tecnologia Ambiental, Rua Jairo Vieira Feitosa, S/N, Pereiros, 58840-000 Pombal – PB, Fone: (83) 3431-2376, e-mail: camiloallyson@yahoo.com.br

1 – INTRODUÇÃO

O crescimento populacional sem qualquer planejamento se reflete nas mudanças climáticas vistas diariamente nos meios de comunicação em forma de notícias. Este avanço temporal do homem na Terra vem trazendo impactos negativos ao meio ambiente, em especial aos recursos hídricos, que são primordiais para a vida. Não somente o avanço no estágio de degradação e a maior demanda por estes recursos, tornando-os de precária qualidade e pouca quantidade, vêm se desenvolvendo, mas também o avanço tecnológico, que traz consigo ferramentas que fortalecem e dão alento para o desenvolvimento de estudos sobre o gerenciamento dos recursos hídricos. A maior parte da superfície do planeta Terra é composta de água, mas apenas cerca de 2,7% desta água é doce. Ainda assim, cerca de 90% desta mesma água está congelada nos polos ou são águas subterrâneas de difícil acesso (UNESCO, 1998). Juntando tudo isso com a má distribuição da água na superfície do planeta Terra, com a concentração populacional em áreas de escassez de água e com fenômenos como El Niño e La Nina, provenientes do aquecimento global e que mudam totalmente o regime pluviométrico das regiões, se torna imprescindível à manutenção e o manejo eficiente deste bem a fim de mitigar as ações do homem e alcançar um desenvolvimento compatível com o que a natureza suporta, a chamada sustentabilidade.

Em regiões semiáridas, como é o caso do Nordeste do Brasil, a situação se agrava ainda mais tendo em vista as chuvas irregulares, as altas taxas de evaporação e os baixos índices pluviométricos. A região sertaneja do estado da Paraíba, em particular, sofre com frequentes secas, que têm seus efeitos intensificados pela crescente demanda hídrica e conseqüente geração de conflitos entre os múltiplos usuários da água. O sertão Paraibano está inserido no conhecido Polígono das Secas, uma área de aproximadamente um milhão de metros quadrados caracterizada por demasiados períodos de seca. Por outro lado, o sertão Paraibano também sofre com problemas relacionados às cheias. Segundo Ab'Saber (1999), o perfil longitudinal dos rios que drenam vastas extensões de colinas sertanejas é extremamente raso e tangente ao chamado perfil de equilíbrio. Disso resulta que, em anos de pluviosidade alta, as grandes chuvas, extensivas a imensas áreas dos sertões secos, podem provocar aumento excessivo do volume d'água dos rios de longo ou médio curso, pressionando os setores do baixo vale por meio de transbordamentos catastróficos. Para Ab'Saber (1999), as pequenas bacias torrenciais que saem dos bordos das chapadas, da cimeira dos maciços antigos e dos brejos de todos os tipos são alimentadas por precipitações que acrescentam importantes volumes d'água aos já engordados rios sertanejos. Desta forma, as planícies inundáveis dos baixos vales dos rios regionais, como é o caso do vale do Rio Piancó – principal rio que corta parte do sertão paraibano –, têm seu espaço quase totalmente afetado pelo extravasamento das águas fluviais. Após os volumes destes rios serem incrementados com diferentes cursos d'água que

recebem ao longo do seu percurso, as inundações afetam plantações e habitações rurais dispersas, vilarejos de fundo de vale e bairros de populações carentes das cidades de médio e pequeno porte. A população mais afetada é a parcela mais pobre que está localizada geralmente em sítios inadequados na periferia das cidades ou em residências localizadas nas margens do rio.

Entre as várias medidas possíveis para minimização dos efeitos destes eventos extremos, a definição e implantação de regras "ótimas" de operação de sistemas de reservatórios para minimização dos prejuízos, tanto econômicos quanto ambientais e sociais, é uma das ações mais promissoras. Esta forma de convivência com estas situações requer um sistema de previsão de vazões confiável, que seja capaz de prever com uma precisão equiparada às decisões que precisam ser tomadas. Este trabalho tem como objetivo desenvolver e avaliar modelos de Rede Neural Artificial (RNA) para previsão diária de vazões na Sub-bacia Hidrográfica do Rio Piancó, que está localizada na região semiárida do sertão paraibano.

As RNA surgem para extrair modelos e detectar tendências que são muito complexas para serem percebidas por humanos ou outras técnicas computacionais. Em vez de usar uma abordagem algorítmica, RNA processam a informação de forma similar ao sistema nervoso biológico. Elas possuem um grande número de elementos fortemente ligados (neurônios) trabalhando em paralelo para resolver um problema específico. Estas ferramentas aprendem através de exemplos selecionados cuidadosamente, tornando-se muito eficazes para solução de sistemas não-lineares, na adaptação a circunstâncias, entre outras vantagens (Haykin, 1999; Farias *et al.*, 2006; Farias, 2009).

2 – DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1. Sub-bacia hidrográfica do Rio Piancó

A região estudada é a Sub-bacia Hidrográfica do Rio Piancó, uma das sub-bacias pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Piranhas (ou Piranhas-Açu) que engloba parte dos estados da Paraíba e Rio Grande do Norte. A sub-bacia está localizada no extremo sudoeste da Paraíba, totalmente inserida na mesorregião do sertão paraibano, e é a maior em extensão territorial do estado com 9.242,76 km² e um total de 271.255 habitantes. A região possui pouca oferta de água subterrânea, com predominância de formações cristalinas (PERH/PB, 2006). A área conta com uma temperatura média anual superior a 24°C e precipitação média anual de cerca de 821 mm, sendo que 60% deste valor concentra-se entre os meses de fevereiro e abril, período chuvoso. A evaporação total anual chega a quase 3000 mm, com as maiores taxas mensais no período de setembro a dezembro (Lima, 2004). A vegetação natural da sub-bacia, do bioma caatinga, quando não explorada racionalmente –

como acontece no perímetro – pode causar o assoreamento de rios e reservatórios. Dos solos da sub-bacia, 28,1% são passíveis de utilização, entretanto apenas 2,8% dessa área está sendo explorado, geralmente por pequenas propriedades e projetos públicos de irrigação.

O Rio Piancó tem sua nascente na Serra do Umbuzeiro, município de Santa Inês, segue até ser barrado pelo sistema de reservatórios Coremas–Mãe d’Água, onde é perenizado, até desaguar no Rio Piranhas, na cidade de Pombal – PB. Durante este percurso, seu volume é incrementado com diferentes cursos d’água que recebe em seu leito. De acordo com o Plano Diretor de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba – PDRH/PB (SCIENTEC, 1997), a sub-bacia do Rio Piancó conta com 1336 açudes, sendo que 90,6% deles caracterizam micros e pequenos reservatórios. Isso faz com que o escoamento superficial seja algo preocupante, no tocante à demanda e disponibilidade hídrica do sistema.

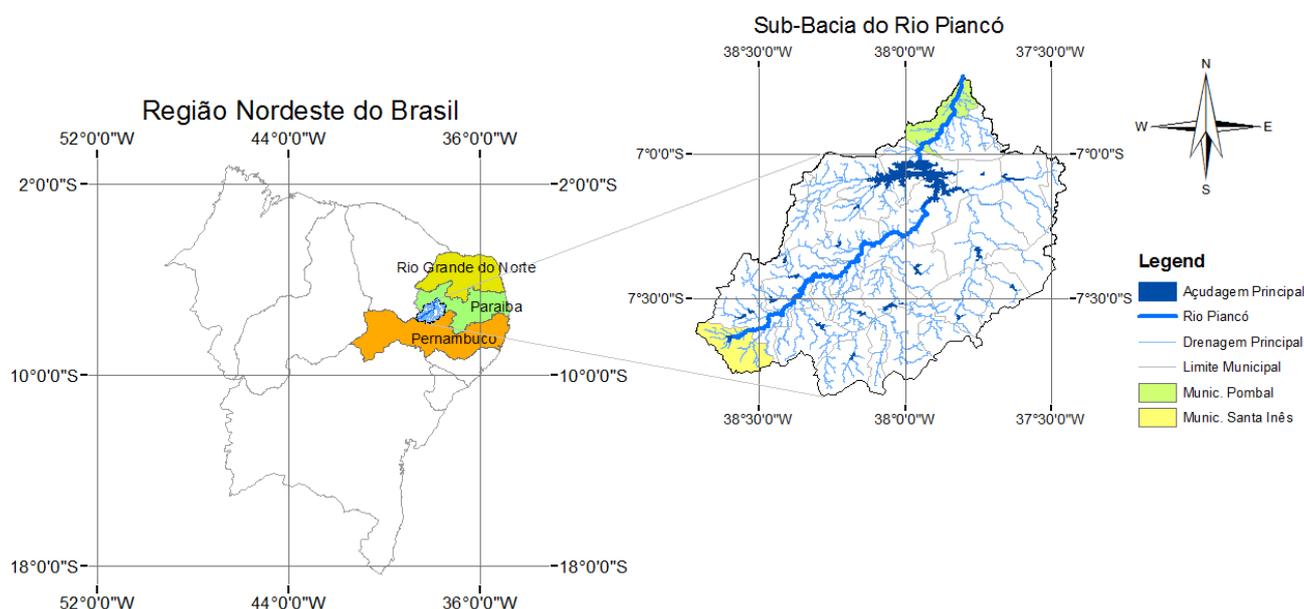


Figura 1 - Localização da Sub-bacia Hidrográfica do Rio Piancó.

O município de Pombal, localizado no sertão da Paraíba, vem em um crescente desenvolvimento, devido principalmente a instalação de um *campus* universitário, a Universidade Federal de Campina Grande. O sítio urbano da cidade está encravado nas várzeas do Rio Piancó e, recentemente, no ano de 2008, a cidade sofreu com inundações que não foram evitadas mesmo com a construção da barragem Coremas - Mãe d’Água, que na época tinha como uma de suas finalidades o controle de cheias. Neste ocorrido, as comunidades carentes localizadas as margens do Rio Piancó foram as mais afetadas. Estas comunidades ribeirinhas têm nestes locais sua forma de subsistência através da agricultura familiar ou ainda apenas por ali terem seu lugar de residência. A Figura 2 apresenta fotos do episódio de cheia observado no município de Pombal.



Figura 2 - Registro da cheia do Rio Piancó, afetando a população da cidade de Pombal que vive na várzea do rio.

2.2. Sistema Coremas–Mãe d'Água

O sistema de reservatórios Coremas–Mãe d'Água tem capacidade de armazenamento de 1,358 bilhões de m³, e possui os seguintes usos: perenização de vales, controle de cheias, irrigação, piscicultura, aproveitamento de culturas nas áreas de montante, abastecimento de água para as populações urbanas e rurais, e geração de energia.

O sistema de reservatórios é formado pelos açudes Estevam Marinho (Coremas) e Mãe d'Água, construídos na década de 30 e 50, respectivamente. Eles são interligados por um canal com a capacidade máxima de vazão igual a 12 m³/s. Na cota máxima, os reservatórios formam um lago com superfície líquida de 115,6 x 10⁶ m² (Lima, 2004). A Figura 3 apresenta uma imagem do satélite Landsat-5, sensor TM, composição colorida R4G5R3, onde é possível a visualização dos dois açudes.

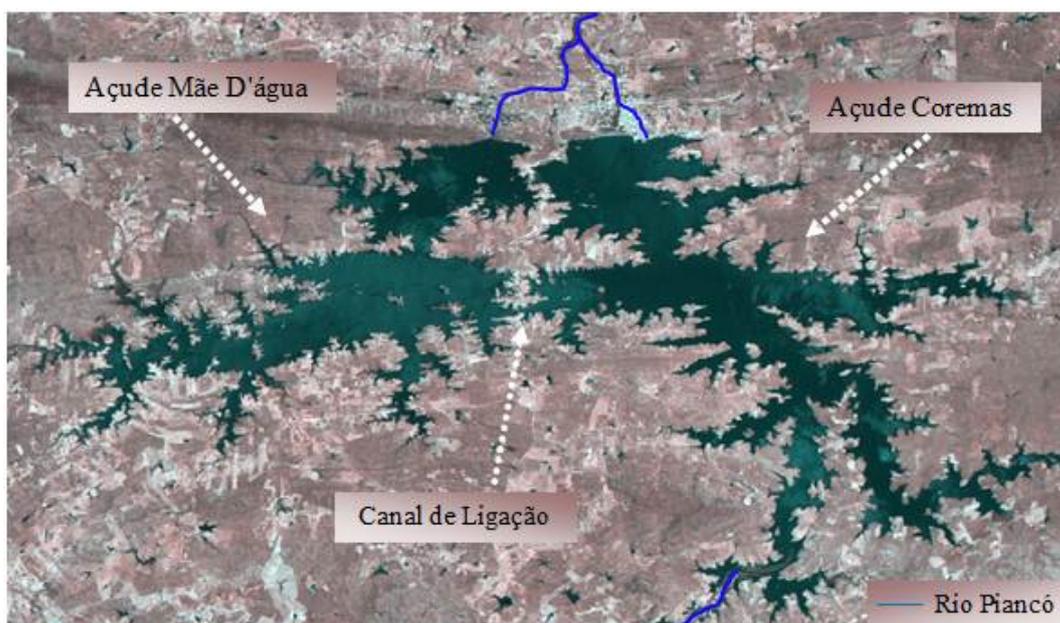


Figura 3 - Imagem de satélite dos reservatórios Coremas - Mãe D'água.

O reservatório Coremas tem uma capacidade máxima de 720 milhões de metros cúbicos. Seus principais tributários são o Rio Piancó e Rio Emas, que controlam respectivamente 59,4% e 40,6% da área hidrográfica do sistema. Ele conta com uma usina hidroelétrica com capacidade para produzir 3,52 MW de potência para uma vazão máxima turbinada de 7,3 m³/s. O reservatório Mãe d'Água tem uma capacidade de 638,7 milhões de metros cúbicos. Seu principal tributário é o Rio Aguiar, responsável por 19,8% da afluência do sistema. Deste reservatório, parte o Canal da Redenção, que hoje é responsável pelo suprimento das demandas de irrigação das Várzeas de Sousa (5000 ha), localizada entre os municípios de Sousa e Aparecida.

3 – OCORRÊNCIA E PREVISÃO DE VAZÕES

Inicialmente foi desenvolvido um modelo de RNA que pudesse prever a ocorrência de vazão diária. O modelo indica com valores de saída 0 (zero) e 1 (um) a não ocorrência de vazão e a ocorrência, respectivamente. Após a determinação da ocorrência da vazão, o próximo passo seria a utilização de um outro modelo, também baseado em RNA, para a previsão de vazões com valores maiores que zero. Este procedimento foi aplicado para evitar os vários problemas normalmente encontrados quando da calibração de modelos para previsão de vazões em rios intermitentes, como é o caso do Rio Piancó até ser barrado pelo sistema de reservatórios.

4 – DADOS DOS MODELOS

As séries de dados históricos de vazão e precipitação foram obtidas a partir do website Hidroweb, que pertence a Agência Nacional das Águas (ANA, 2010). Após a coleta dos dados dos postos que compõe a área de estudo, foi feita uma seleção criteriosa para a escolha da série de anos disponíveis para servirem de entrada nos modelos de RNA, sendo esta uma etapa de fundamental importância. Foram escolhidos anos que não tivessem falhas de leituras, pretendendo assim dar mais veracidade aos dados. Os anos que apresentaram características muito discrepantes em relação ao comportamento das chuvas e vazões da região também foram excluídos, tendo em vista a probabilidade de leituras errôneas e/ou de problemas no sistema de banco de dados. A Tabela 1 apresenta os postos e período de dados utilizados no trabalho. Na Figura 4 pode-se ver a localização dos postos da área de estudos com seus respectivos códigos.

Tabela 1 - Postos utilizados.

Tipo	Nome	Código	Anos
Fluviométrico	Piancó	37340000	1966, 1967, 1972, 1973, 1976, 1978, 1979, 1982, 1987.
Pluviométrico	Conceição	738020	”
	Ibiara	738018	”
	Nova Olinda	738014	”
	Princesa Isabel	738013	”
	Piancó	737006	”
	Boa Ventura	738012	”
	Manaira	738015	”

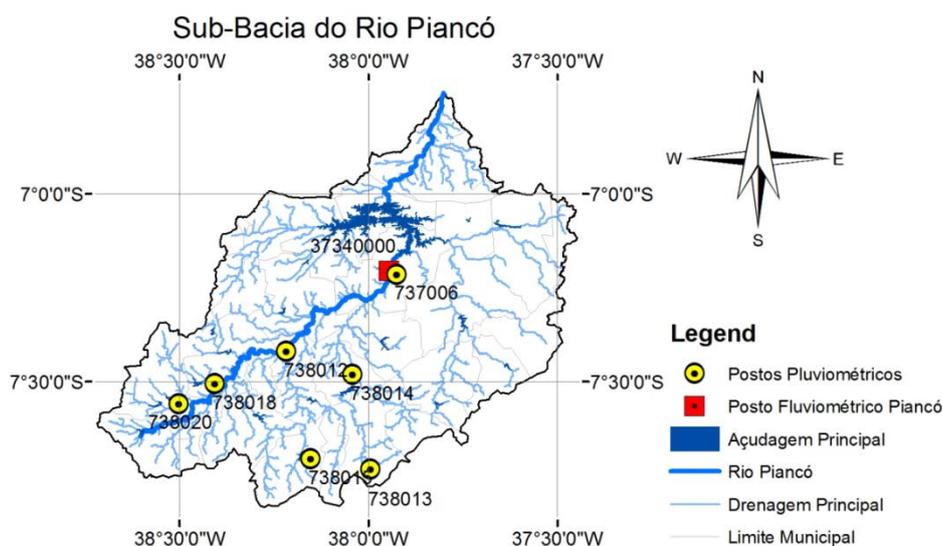


Figura 4 - Localização dos postos na Sub-bacia do Rio Piancó.

5 – MODELOS DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

As redes utilizadas foram do tipo perceptron de multicamadas, do inglês *multilayer perceptron* (MLP), que neste estudo são formadas por uma camada de entrada, uma oculta (ou intermediária) e uma de saída. A topologia das redes é do tipo alimentada adiante, ou seja, o sinal é propagado para frente através da rede, camada por camada.

A Figura 5 mostra os detalhes de como funciona um neurônio. Nesta rede, cada elemento do vetor de entrada está conectado a cada neurônio na camada oculta, e cada elemento da camada

oculta está conectado ao neurônio de saída. Analisando a Figura 4, nota-se que o i -ésimo neurônio da camada oculta possui um somatório que coleta o valor de entrada multiplicado pelo peso de sua conexão (w_{ij}) e o bias (b_i) para formar o valor de saída ou campo local induzido (m_i). Cada campo local induzido é submetido a uma função de ativação (ϕ_i) para que se torne o valor de entrada do neurônio da camada de saída. O neurônio da camada de saída possui o mesmo esquema dos neurônios da camada oculta e o seu campo local induzido, depois de submetido à função de ativação, se torna a saída final da RNA.

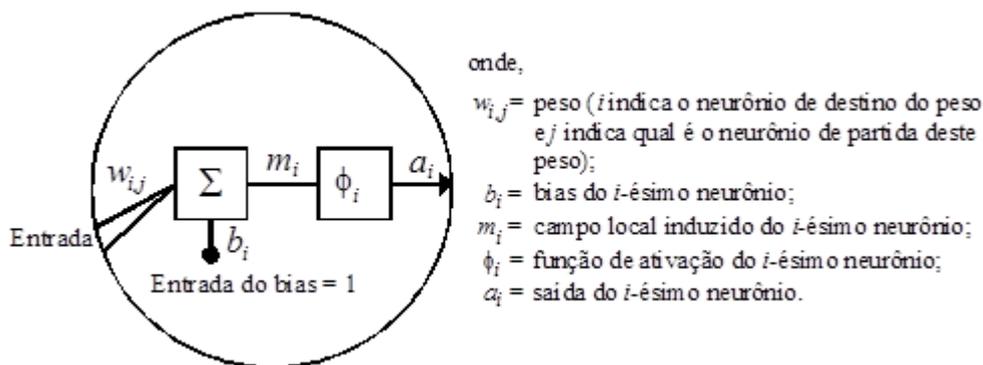


Figura 5 - Detalhe de um neurônio.

São necessárias funções diferenciáveis e contínuas para relacionar as entradas e saídas das RNA. De acordo com Haykin (1999), a função sigmóide é uma boa função de ativação para cada neurônio devido ao seu comportamento geralmente aceitável. Funções sigmóides e lineares serão utilizadas neste estudo.

5.1. Dados de entrada dos modelos de RNA

Primeiramente, fez-se um estudo para a escolha das entradas das RNA. O critério escolhido consistiu em calcular as correlações entre cada conjunto de possíveis dados de entrada dos modelos (dados passados de vazão e precipitação) e a vazão observada. Os valores das correlações podem ser vistas nas Tabelas 2 e 3. Nestas tabelas t indica o índice para dia; $Q(t)$ é a vazão no dia t e $P(t)$ é a precipitação no dia t .

Tabela 2 – Valores de autocorrelação da vazão para os dados observados.

Variáveis	Correlação
$Q(t) \times Q(t-1)$	0,81
$Q(t) \times Q(t-2)$	0,67
$Q(t) \times Q(t-3)$	0,61
$Q(t) \times Q(t-4)$	0,51
$Q(t) \times Q(t-5)$	0,47

Tabela 3 – Valores de correlação entre vazão e precipitação para os dados observados.

Postos	Correlação		
	$Q(t) \times P(t)$	$Q(t) \times P(t-1)$	$Q(t) \times P(t-2)$
Conceição	0,21	0,28	0,27
Ibiara	0,34	0,41	0,36
Nova Olinda	0,23	0,32	0,25
Princesa Isabel	0,28	0,33	0,25
Piancó	0,35	0,41	0,35
Boa Ventura	0,29	0,33	0,30
Manaira	0,14	0,22	0,18

Para os valores passados de vazão, optou-se por considerar os valores com correlação acima de 0,6, ou seja, $Q(t)$, $Q(t-1)$ e $Q(t-2)$. No caso dos valores de precipitação, foram escolhidos os postos e precipitações cuja correlação com os dados de vazão eram maiores ou iguais a 0,30. Os postos e precipitações escolhidos são: Ibiara ($P(t)$, $P(t-1)$ e $P(t-2)$); Nova Olinda ($P(t-1)$), Princesa Isabel ($P(t-1)$), Piancó ($P(t)$, $P(t-1)$ e $P(t-2)$) e Boa Ventura ($P(t-1)$ e $P(t-2)$). Sendo assim, as camadas de entrada das RNA contaram com 13 neurônios. Na Figura 6 pode-se ver um esquema detalhado da arquitetura das RNA.

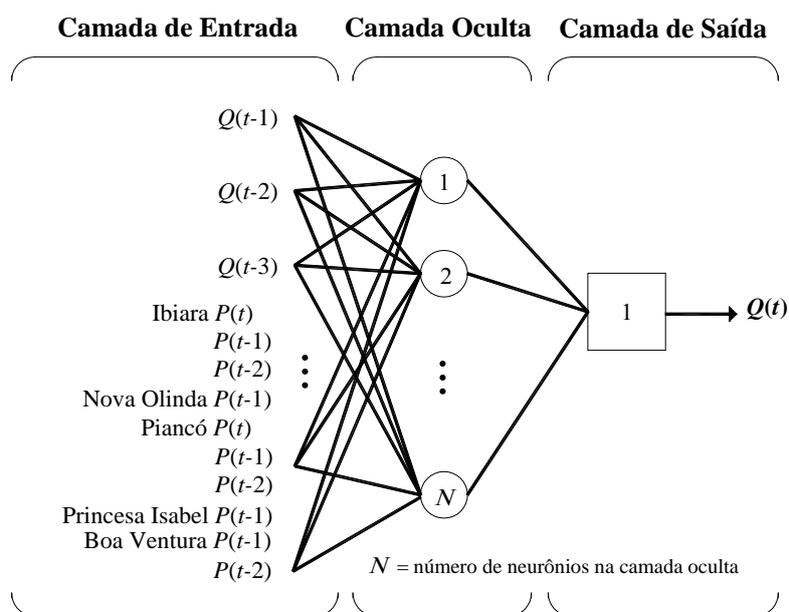


Figura 6 - Arquitetura das RNA.

Na saída do modelo de ocorrência de vazões, os valores de vazão assumiram valores iguais a “1”, quando as mesmas eram maiores que zero, e “0”, quando não havia vazão.

5.2. Calibração dos modelos de RNA

Os dados originais (entradas e saídas desejadas) são convenientemente escalonados para melhorar a eficiência na calibração dos modelos de RNA. O processo de escalonamento consiste em normalizar as entradas e saídas desejadas de forma que tenham média igual a zero e desvio padrão unitário (Demuth *et al.*, 2008).

Tanto o modelo de RNA para previsão de ocorrência quanto o de previsão de vazão foram treinados utilizando o conhecido algoritmo de retropropagação de erros, o qual tem sido utilizado com sucesso em vários campos da engenharia. A calibração das RNA é do tipo supervisionada, ou seja, os pesos sinápticos e níveis de bias entre os neurônios são ajustados através das iterações (ou épocas) com o intuito de adequar uma série de dados de entrada a outra série de respostas conhecidas. As RNA têm sua calibração encerrada pelo processo conhecido como *Early Stopping Method* (Demuth *et al.*, 2008). Este método divide os dados de calibração em dois subconjuntos: um de treinamento e outro de validação. O subconjunto de treinamento é usado para calcular gradientes e ajustar os pesos e níveis de bias. O subconjunto de validação tem seus erros monitorados para evitar *overfitting* dos dados e conseqüentemente melhorar o grau de generalização da RNA. A

calibração é parada quando o erro no subconjunto de validação cresce por um determinado número de iterações.

Como o critério de parada para a calibração dos modelos de RNA foi o *Early Stopping Method*, o conjunto de dados foi dividido em três subconjuntos: treinamento (1966, 1967, 1972, 1973 e 1978), validação (1976) e teste (1979, 1982 e 1987). É importante salientar que a calibração do modelo de RNA para previsão de vazões contou apenas com os dados de vazão (saída desejada do modelo) cujos valores eram diferentes de zero.

5.3. Modelo de RNA para previsão de ocorrência de vazões

O número de cinco neurônios ($N = 5$) na camada oculta do modelo foi obtido através de um processo baseado em tentativa-e-erro. Um único neurônio da camada de saída processa os dados de ocorrência de vazão, de forma que, valores iguais a "0" indicam o não acontecimento de vazão naquele dia e valores iguais a "1", a ocorrência da mesma.

Nesta aplicação, o algoritmo *Levenberg-Marquardt* (LM) foi utilizado para retropropagação. Uma explicação detalhada do algoritmo LM pode ser encontrada em Hagan e Menhaj (1994). Funções sigmóides foram utilizadas para os neurônios da camada oculta e uma função linear foi usada para o neurônio da camada de saída.

5.4. Modelo de RNA para previsão de vazão

O modelo desenvolvido para a previsão diária de vazão tem basicamente a mesma arquitetura e topologia do modelo de ocorrência diária de vazão. O número de dez neurônios ($N = 10$) na camada oculta do modelo foi obtido através de um processo baseado em tentativa-e-erro. Foram utilizadas funções de ativação lineares em todos os neurônios da RNA. A calibração da rede foi pelo método *Scaled Conjugate Gradient* (Moller, 1993).

Aplicou-se o modelo apenas quando os valores de vazão desejada eram maiores que zero. A princípio, o modelo não integra os valores obtidos através da RNA de previsão de ocorrência de vazão, pois ainda está em fase de implementação. Desta forma, os dois modelos foram aplicados de forma independente.

6 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

O desempenho do modelo de RNA para determinar a ocorrência de vazão foi verificado através da porcentagem de acertos, que é dada pela divisão da quantidade de acertos pela quantidade total de previsões. Os resultados podem ser vistos na Tabela 4.

Tabela 4 – Porcentagem de acertos do modelo de RNA para ocorrência de vazões.

	Anos	Acertos (%)
Treinamento	1966, 1967, 1972, 1973 e 1978	98,33
Validação	1976	95,63
Teste	1979, 1982 e 1987	98,63

Os resultados obtidos foram bastante satisfatórios, uma vez que a porcentagem de acertos do conjunto de testes foi maior que 98%. É importante lembrar que os dados utilizados para o teste são totalmente independentes dos utilizados para calibração do modelo.

A avaliação do desempenho do modelo de previsão de vazões foi realizada com base nos seguintes índices: correlação (R), viés relativo (VR) e eficiência de Nash-Sutcliffe ($NASH$). A correlação mede o grau de dependência linear entre os valores calculados e observados. O viés relativo mostra se o sistema de previsão de vazões possui uma tendência a subestimar ou superestimar as vazões observadas e o $NASH$ expressa a aderência entre as vazões calculadas e as observadas, incorporando tanto os erros sistemáticos como os randômicos. Para esta análise, as vazões com valores iguais a zero foram incluídas nos cálculos dos índices.

A Figura 7 mostra um comparativo entre as previsões diárias de vazão obtidas com o modelo de RNA e os correspondentes valores observados de vazão para o posto fluviométrico investigado. Vale notar que este gráfico mostra os resultados para o período de testes.

Os resultados mostram que as previsões com o modelo de RNA e os valores observados possuem alta correlação e baixo valor de viés relativo. Os valores do $NASH$ também foram elevados, o que indica que as previsões diárias de vazão possuem boa qualidade.

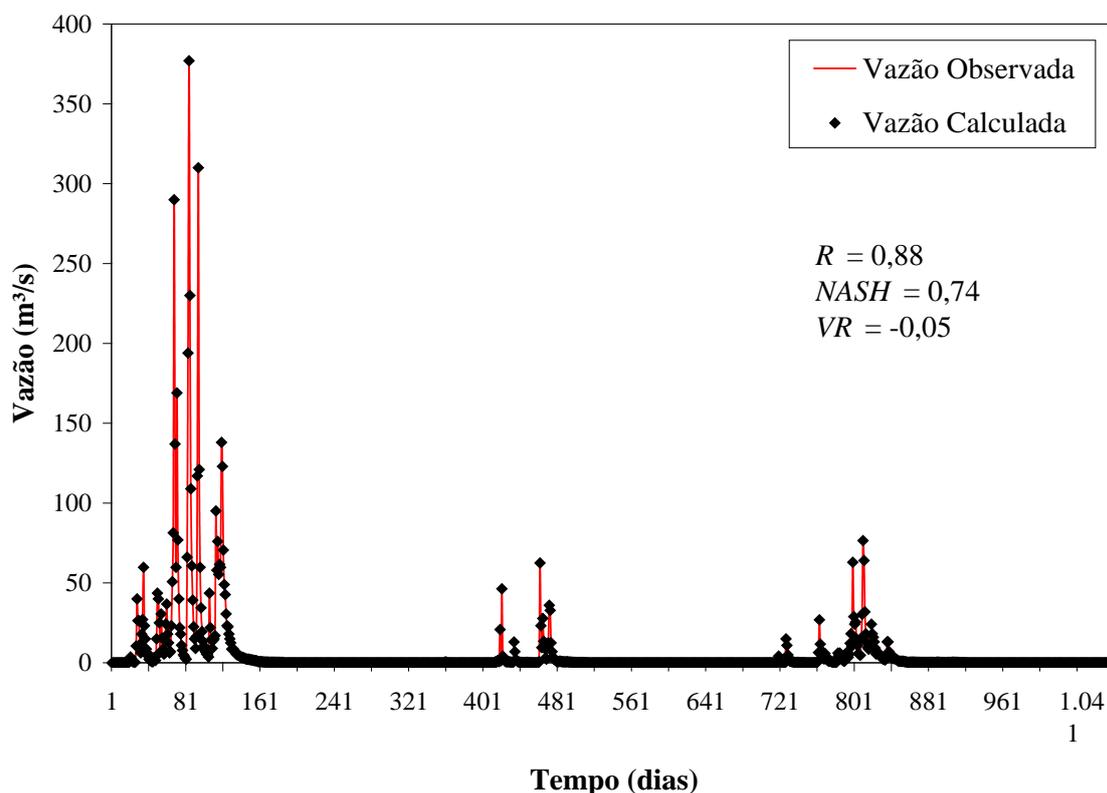


Figura 7 - Comparação entre previsões diárias de vazão obtidas com o modelo RNA e os valores observados no posto Piancó durante o período de testes (1979, 1982 e 1987).

7 – CONCLUSÕES

Este trabalho teve como principal objetivo a previsão diária de vazões em regiões semiáridas, que teve como estudo de caso o Rio Piancó, localizado no sertão paraibano. Esta região sofre com eventos extremos, como longos períodos de seca e períodos de elevados índices pluviométricos, ambos causando impactos sociais, ambientais e econômicos. A operação adequada dos reservatórios existentes nestas regiões pode ser considerada a forma mais eficaz de manter a sustentabilidade hídrica destes sistemas, de forma a mitigar os impactos resultantes das cheias e secas.

O fato de o Rio Piancó ser intermitente trouxe mais uma dificuldade para a previsão diária de vazões nesta região, pois além de se trabalhar com um grande volume de dados diários, estes dados possuem grande quantidade de valores zeros, ou seja, dias em que não ocorreram vazões. A existência de muitos valores nulos prejudica o mapeamento de dados de entrada e saída durante a calibração da RNA. Para contornar este problema, um modelo de previsão de ocorrência de vazão foi proposto. O modelo de ocorrência indicava a ocorrência de vazão no dia, para só então ser aplicado um outro modelo, também baseado em RNA, que pudesse fazer a previsão diária de vazão.

O modelo para previsão de ocorrência apresentou resultados bem satisfatórios com acertos acima dos 98%, possibilitando assim uma melhor calibração do modelo para previsão diária de vazões, que por sua vez também mostrou bons resultados quando analisados os índices estatísticos de desempenho. Desta forma, os modelos propostos neste trabalho podem desempenhar um grande papel no gerenciamento de recursos hídricos de regiões semiáridas, auxiliando nas decisões a serem tomadas quanto à operação dos reservatórios existentes nesses locais.

8 – AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado com apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq (Processo n.º 475778/2010-3). Os autores também agradecem ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Iniciação PIBITI/CNPq – UFCG.

BIBLIOGRAFIA

ANA – Agência Nacional de Águas. Disponível em <http://hidroweb.ana.gov.br/>, acessado em 27/09/2010.

AESA (2006), Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba: “*Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba*”, Brasil.

AB’SABER, A. N. (1999). “*O Sertão e os Sertanejos: Uma Geografia Sofrida*”. In: Dossiê Nordeste Seco – Revista de Estudos Avançados. São Paulo: USP, v. 13, nº36, p. 7-59.

CELESTE, A. B.; SUZUKI, K.; KADOTA, A.; SANTOS, V. S. (2005). “*Derivation of reservoir operating rules by implicit stochastic optimization*”. Annual Journal of Hydraulic Engineering – JSCE 49(2), pp. 1111–1116.

DEMUTH H.; BEALE, M.; HAGAN, M. (2008). *Neural Network Toolbox 6: User’s Guide*. The MathWorks Inc Natick, USA, 907 p.

FARIAS, C. A. S.; CELESTE, A. B.; SAKATA, Y.; KADOTA, A.; SUZUKI, K. (2006). “*Use of Monte Carlo optimization and artificial neural networks for deriving reservoir operating rules*”. Annual Journal of Hydraulic Engineering – JSCE 50(1), pp. 25-30.

FARIAS, C. A. S.; KADOTA, A.; SUZUKI, K. (2008). “*An intelligent model for predicting daily stream flows up to one week ahead*” in Proceedings of the International Conference on Fluvial Hydraulics, River Flow, Cesme, Set. 2008, 1, pp. 2143-2148.

FARIAS, C. A. S. (2009). *Derivation of hedging rules and forecasts by artificial neural networks for optimal real-time management of an integrated water resources system*. Tese de Doutorado, Ehime University, Matsuyama – Japão, 127 p.

HAGAN, M. T.; MENHAJ, M. B (1994). “*Training feedforward networks with the Marquardt algorithm*”. IEEE Transactions on Neural Networks 5(6), pp. 989-993.

HAYKIN, S. (1999). *Neural Networks: a Comprehensive Foundation*. Prentice Hall, Upper Saddle River, USA.

LOUCKS, D. P. (2000) “*Sustainable water resources management*”. Water International, IWRA 25(1), pp. 3-10.

NEELAKANTAN, T. R.; PUNDARIKANTHAN, N. V. (1999). “*Hedging rule optimization for water supply reservoir system*”. Water Resources Management 13, pp. 409-426.

SALAS, J. D. (1993). “*Analysis and modeling of hydrologic time series*”, in *Handbook of Hydrology*. Org. por Maidment, D. R., McGraw-Hill Inc., New York, USA, pp. 19.1-19.72.

SCIENTEC (1997), Associação para Desenvolvimento da Ciência e Tecnologia: “*Plano Diretor de Recursos Hídricos da Paraíba: Bacias do Piancó e do Alto Piranhas*”, SEPLAN, Brasil.

UNESCO (1998), United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization: “*Water Use in the World: Present Situation/Future Needs*”. 7 Place de Fontenoy, 75352 Paris 07 SF, pp. 40.

VAJPEYI, D. K. (1998). “*Water Resource Management: A Comparative Perspective*”, Praeger Publishers, USA, 1998.