

XI-098 - BOMBEAMENTO DIRETO AUTOMATIZADO ATRAVÉS DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS VISANDO O AUMENTO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Laís Régis Salvino⁽¹⁾

Física pela Universidade Federal da Paraíba. Mestre em Engenharia Mecânica. Doutoranda em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba.

Kamilla Henrique Mendonça⁽²⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal da Paraíba. Mestre em Engenharia Mecânica. Doutoranda em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba.

Emmanuel Guerra de Barros Filho⁽³⁾

Engenheiro Mecânico pela Universidade Federal da Paraíba, Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba. Professor do Instituto Federal de Educação da Paraíba (IFPB).

Saulo de Tarso Marques Bezerra⁽⁴⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal da Paraíba. Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal da Paraíba. Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba. Professor do curso de Engenharia Civil do Centro Acadêmico do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco.

Heber Pimentel Gomes⁽⁵⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Campina Grande. Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Paraíba. Doutor pela Universidade de Valencia e Professor da Universidade Federal da Paraíba. Professor do curso de Engenharia Civil do Campus I da Universidade Federal da Paraíba.

Endereço⁽¹⁾: UFPB – Campos I – Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento – João Pessoa - PB - CEP: 58059-900 - Brasil - Tel: (83) 3216-7037 - e-mail: lais_regis@hotmail.com.

RESUMO

O desenvolvimento de novas tecnologias com o propósito de gerir melhor a operação de sistemas de abastecimento, visando a redução do desperdício de água e energia, representa uma realidade nos principais centros de pesquisa, em virtude da preservação dos recursos naturais e da sobrecarga da matriz energética em todo o mundo. Este trabalho apresenta o projeto e a implementação de um sistema de controle direto via Redes Neurais Artificiais, com arquitetura recorrente, para automatizar uma bancada experimental que simula um sistema de abastecimento com bombeamento direto na rede de distribuição. A bancada é instrumentalizada com medidores de vazão e pressão dispostos em pontos estratégicos. O sistema de impulsão é composto por um conjunto motor bomba e um *booster*, e são operados para atender duas zonas de consumo com topografias diferenciadas. Com o intuito de encenar a variação horária de consumo de um sistema real, uma curva de demanda é simulada a partir da alteração do ângulo de fechamento das válvulas proporcionais, localizadas próxima a extremidade no ramal de descarga de cada zona. O propósito deste trabalho foi controlar a pressão em uma das regiões abastecidas (Zona Baixa), e assim, avaliar a eficiência do controlador projetado mediante testes experimentais utilizando três cenários de operação distintos.

PALAVRAS-CHAVE: Sistemas de Bombeamento, Eficiência Energética, Redes Neurais Artificiais.

INTRODUÇÃO

A operação de bombas e *boosters* geram um gasto energético elevado, fazendo com que os setores responsáveis pelo abastecimento de água gastem uma média de 2% a 3% de toda energia elétrica consumida no mundo. (JAMES et al, 2002). No Brasil, esse consumo é de aproximadamente 12 milhões de MWh/ano, o que representa uma parcela de 2,26% do consumo total do país. (SNIS, 2014). Desta parcela, cerca de 90% da energia é consumida por motores e bombas. (GONÇALVES, 2009).

Os fatores que mais contribuem para o aumento do consumo energético dos sistemas de impulsão são: equipamentos sobre dimensionados e obsoletos, o mal dimensionamento das tubulações dos sistemas de

distribuição de água, os casos onde a região de consumo se encontra muito distante da estação elevatória e, quando o setor de consumo está localizado numa zona com topografia elevada.

Neste contexto, onde as regiões de consumo se encontram localizadas em zonas com diferentes níveis topográficos, se faz necessário um acréscimo na altura manométrica no sistema de impulsão, para conseguir atender toda zona de abastecimento com a pressão requerida. Nestas situações o custo energético se torna mais elevado. Com esta configuração, a Zona Baixa apresentaria excesso de pressão, que ocasiona rompimentos na rede de distribuição e aumento do volume das perdas reais. Por isso, torna-se comum a instalação de válvulas redutoras de pressão (VRPs) na entrada das zonas com pressões excessivas, no intuito de melhorar os serviços de abastecimento. Além dessa alternativa, pode-se instalar *boosters*, para atender as zonas mais remotas ou com baixas pressões e dessa forma, diminuir a altura manométrica de bombeamento na origem. Neste último caso, esse sistema de impulsão é caracterizado pela utilização de um conjunto moto-bomba (CMB), um *booster* (BST) e VRP's, conforme pode ser observado na figura 1.

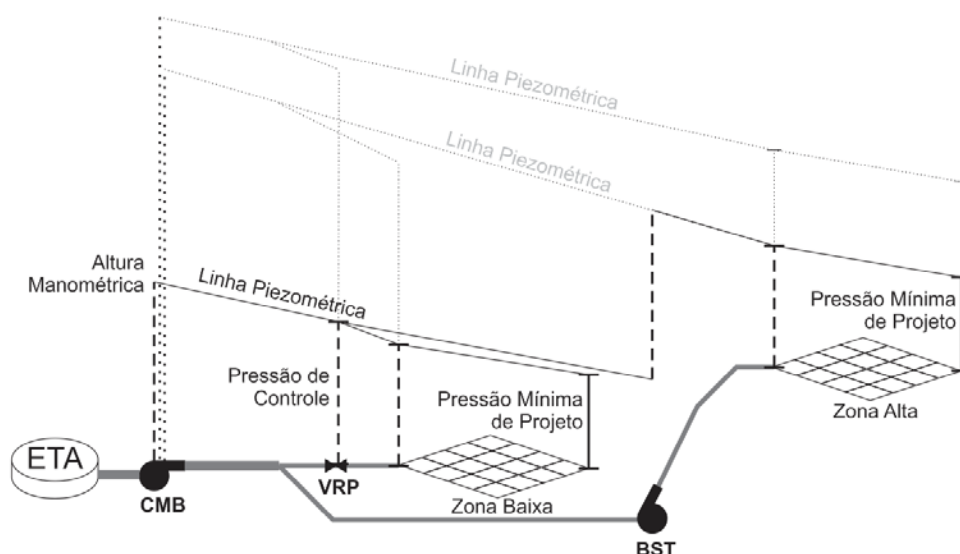


Figura 1: Sistema de Abastecimento de Água operado por um CMB, um BST e uma VRP. (SALVINO et al., 2014)

Segundo Bezerra e Cheung (2013), para que um sistema de abastecimento possua um desempenho técnico e econômico satisfatório, se torna necessário realizar o controle de pressão. A uniformização da pressão na rede de distribuição, através deste controle, reduz a frequência de rupturas, o consumo excessivo induzido pela pressão e o volume perdido em vazamentos. Portanto, automatizar um sistema de abastecimento de água proporciona uma redução significativa em relação ao custo energético desses sistemas. Essa redução ocorre, devido a um controle das pressões de serviço e um monitoramento mais eficiente dos parâmetros elétricos e hidráulicos da rede, evitando assim gastos energéticos desnecessários.

Diante do exposto, justifica-se o desenvolvimento de novas tecnologias aplicadas no gerenciamento e operação de sistemas de impulsão. O objetivo principal deste trabalho visa o controle da pressão de forma totalmente automatizada em uma bancada experimental, que simula um caso real, de um sistema de abastecimento de água com bombeamento direto na rede de distribuição, que atende duas zonas de consumo com topografias distintas. Para isso, foi projetado e implementado um sistema de controle direto via Redes Neurais Artificiais (RNA), do tipo *Perceptron* com arquitetura recorrente, com o objetivo de controlar a pressão da Zona Baixa da bancada experimental. Este sistema se encontra no Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento (LENHS) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB).

MATERIAIS E MÉTODOS

A figura 2 apresenta a bancada experimental, objeto de estudo desse trabalho, que simula um sistema de abastecimento, que fornece água para duas zonas de consumo com topografias diferenciadas.



Figura 2: Visão geral da bancada experimental.

O sistema de bombeamento é composto por um conjunto motor bomba (CMB), o qual é responsável por impulsionar a água do reservatório para todo o sistema, e um *booster* (BST) para garantir o fornecimento de água até a região de pressão elevada (Zona Alta). À montante da zona baixa está presente uma válvula proporcional, que para este estudo ela atuou como uma válvula redutora de pressão (CV-1). A água fica reservada em duas câmaras de 310 L cada, interligadas entre si, dessa forma funcionando como um ponto de sucção e o outro de descarga. Os sistemas de impulsão são acionados por dois inversores de frequência independentes, dessa forma, é possível alterar a velocidade de rotação do conjunto motor bomba e do *booster*. As medições referentes à pressão do sistema são coletadas através de cinco transdutores de pressão (PT-1, PT-2, PT-3, PT-4 e PT-5) que estão distribuídos em pontos estratégicos da rede, e os dados de vazão das duas zonas são aferidos por dois medidores de vazão (FT-1 e FT-2). Para simular a demanda do sistema, estão presentes duas válvulas proporcionais (CV-2 e CV-3), cada uma fica localizada no final dos ramais das zonas de abastecimento.

Com o intuito de controlar a pressão dada por PT-3 na região denominada de Zona Baixa da bancada experimental, projetou-se um sistema de controle utilizando a técnica da Rede Neural Artificial com arquitetura recorrente. Entende-se por redes neurais com arquitetura recorrente ou alimentação retroativa, as redes as quais os sinais de entrada são realimentados com os sinais de saída dos neurônios da última camada. Devido a esse processo de realimentação, essas redes produzem saídas atualizadas levando em conta os sinais de saída calculados nos tempos anteriores, sendo comumente utilizadas em sistemas dinâmicos para otimização, identificação e controle de processos. (SILVA et al, 2010). A rede neural utilizada tem como principal objetivo, minimizar o erro entre o valor de pressão real medido pelo transdutor de pressão PT-3 e o valor de referência dado para essa pressão. Para minimização do erro, foi empregado o algoritmo denominado de Retropropagação do Erro em conjunto com o método do gradiente descendente desenvolvido por Widrow e Lehr (1990). A figura 3 apresenta a rede neural utilizada para realizar o controle da pressão.

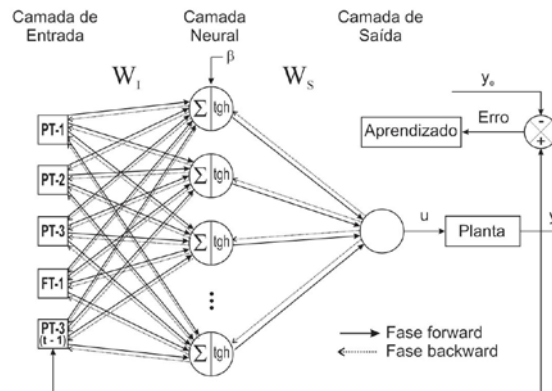


Figura 3: Esquema ilustrativo da rede neural artificial projetada.

A rede neural utilizada é constituída por uma camada de entrada, uma intermediária e uma de saída. A camada de entrada é composta pelos valores de pressão dados por PT-01, PT-02 e PT-03, a vazão dada por FT-01 e o valor de atraso da resposta da planta, que neste caso é a ação do controlador. A camada intermediária possui 14 neurônios e a função de ativação utilizada foi a tangente hiperbólica. A última camada é composta por um único neurônio, o qual é responsável pela saída da rede que atua como sinal de controle na planta. Neste caso, o sinal de saída é em valor de frequência e atua diretamente no inversor associado ao conjunto motor bomba, com o objetivo de alterar a velocidade de rotação dos rotores, e conseqüentemente, a pressão na Zona Baixa. O sistema de controle projetado assim como toda a programação que envolve a parte de aquisição de dados da bancada experimental e monitoramento dos parâmetros elétricos e hidráulicos, foi desenvolvida em ambiente LabVIEW® (ver figura 4).

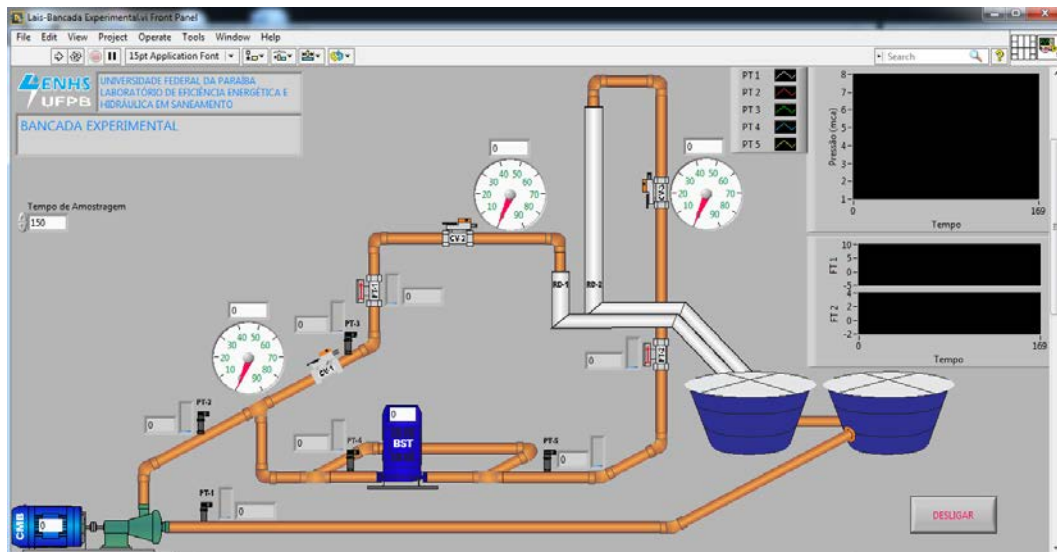


Figura 4: Tela principal do programa desenvolvido em LabVIEW®.

Com o propósito de avaliar a eficiência do sistema de controle projetado, foram realizados três cenários experimentais distintos:

- **Cenário 1** - Neste primeiro teste, o objetivo foi controlar a pressão do sistema a 10 mca, sob ação da variação da demanda. A simulação da curva de demanda da Zona Baixa foi realizada alterando-se o ângulo de fechamento da válvula CV-2 de 5 em 5 graus a cada 1 (um) min. Quando a mesma se encontra num ângulo de 40° simula uma demanda máxima, no momento em que este ângulo passa a ser 65° se encena uma demanda mínima.
- **Cenário 2** - Este teste serviu para avaliar o comportamento do controlador numa situação onde a demanda varia em intervalos maiores. A cada 2 (dois) min o ângulo da CV-2 foi alterado, começando

com 40° de fechamento, depois foi modificado para 60° e posteriormente o ângulo voltou a ser 40°. Durante todo o processo, a pressão de referência dada por PT-3 deve-se manter em 10 mca.

- **Cenário 3** - Neste experimento, foi criado um *setpoint*, alterando-se a pressão de referência em PT-3 de 10 mca para 15 mca e depois retornando novamente para 10 mca a cada 1 (um) min. O objetivo foi verificar se o sistema de controle consegue acompanhar essa alteração da pressão de referência. No decorrer deste ensaio, a válvula CV-2 se manteve com um ângulo de fechamento equivalente a 65° simulando uma demanda mínima.

Durante todos os testes a válvula CV-1 se conservou totalmente aberta, com um ângulo de fechamento de 0° (zero) e a válvula CV-3 permaneceu totalmente fechada com um ângulo de 90°. Tais manobras foram necessárias para abastecer, apenas, um dos pontos de descarga da rede, neste caso a Zona Baixa

RESULTADOS

O gráfico com os resultados obtidos, através da implementação da técnica de controle via redes neurais proposta para o Cenário 1 está exposto na figura 5.

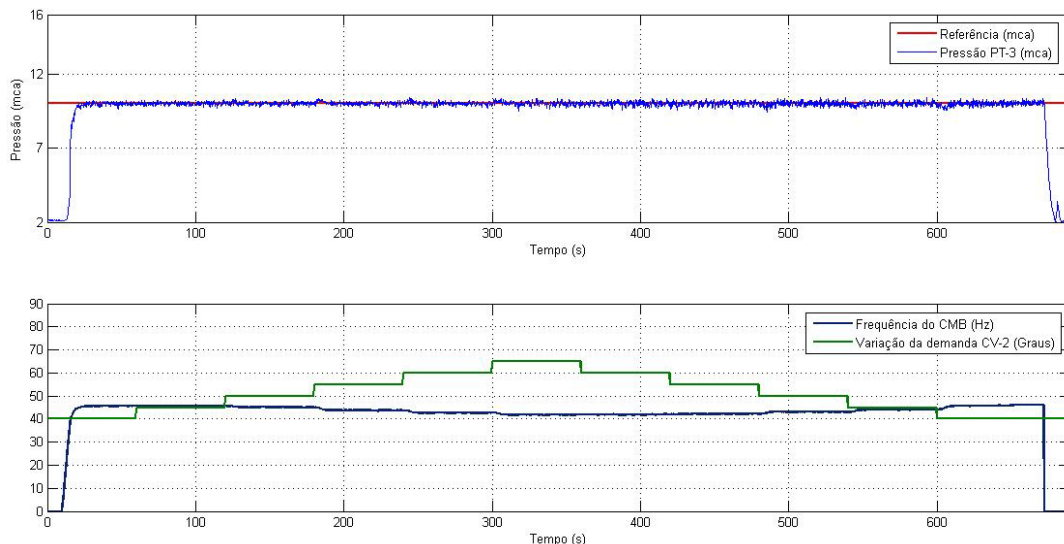


Figura 5: Controle da pressão PT-3 durante a variação da demanda na Zona Baixa.

Após o controlador ser acionado, o sistema levou 11,63 s para que a pressão no ponto PT-3 atingisse o valor de referência desejado de 10 mca, com ausência de sobressinal. Durante toda a variação da demanda, a pressão do sistema se manteve próxima à desejada. O valor de frequência máximo requerido pelo conjunto motor bomba, para conseguir alcançar o valor desejado para a pressão na Zona Baixa foi de aproximadamente 46 Hz, no momento em que o sistema se encontrava na máxima demanda, e de 41 Hz durante a mínima demanda. Todo o ensaio teve duração de aproximadamente 11 min e 30 s.

A figura 6 apresenta os resultados obtidos quando a técnica de controle proposta foi utilizada para o caso do Cenário 2.

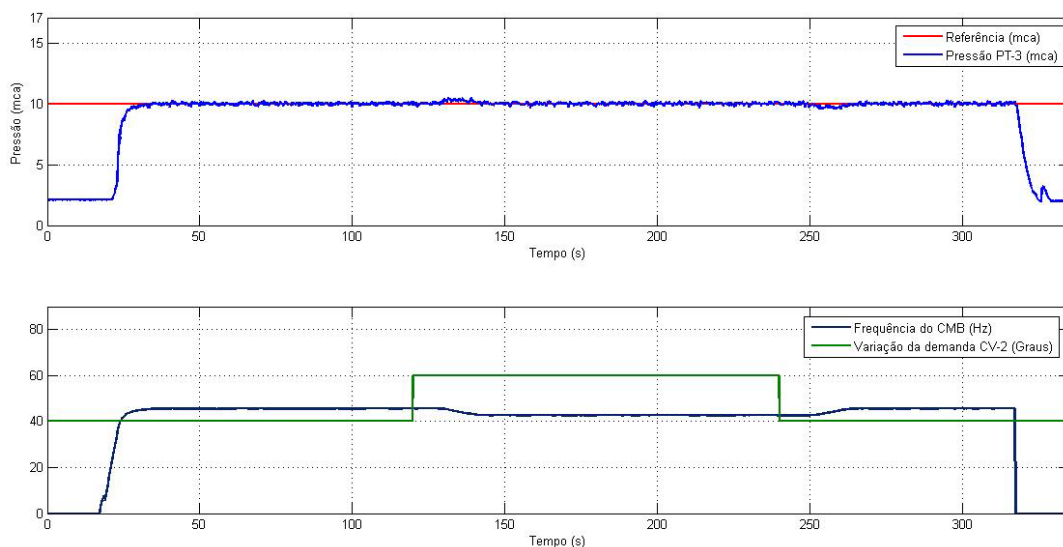


Figura 6: Controle da pressão PT-3 durante a variação brusca da demanda na Zona Baixa.

Assim como no ensaio experimental anterior, não houve presença de sobressinal para que a pressão em PT-3 alcançasse o valor de referência escolhido de 10 mca. Quando a válvula CV-2 alterou seu ângulo de fechamento de 40° para 60°, o valor da pressão em PT-3 apresentou um erro de 4,6% em relação à pressão requerida. Na situação onde ocorreu a mudança do ângulo da CV-2 de 60° para 40°, o erro calculado foi de 4,4%. Quando a válvula se encontra nas posições que simulam a máxima ou a mínima demanda, a pressão em PT-3 permanece próxima à requerida. A frequência máxima atingida pelo CMB assumiu um valor de 45 Hz, durante a simulação da demanda máxima. A frequência mínima alcançada foi de 42 Hz, quando se foi exigida uma mínima demanda. Todo o teste ocorreu em 5 min e 35 s, aproximadamente.

A figura 7 reúne os resultados obtidos durante o Cenário 3.

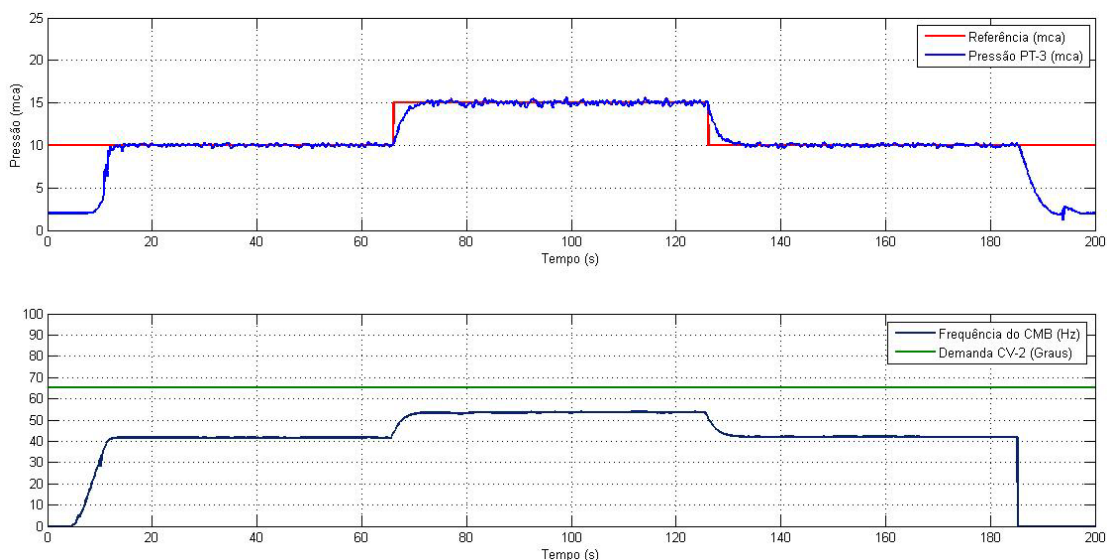


Figura 7: Controle da pressão PT-3 durante a variação da pressão requerida.

No início do teste, com o acionamento do controlador, o sistema levou 3,75 s para se acomodar na pressão requerida. Nas duas alterações do *setpoint* não houve a presença de sobressinal. O tempo de assentamento quando a pressão é alterada de 10 mca para 15 mca foi de 4,82 s, e de 5,08 s no momento em que a mudança ocorreu de 15 mca para 10 mca. Nas demais etapas do ensaio, a pressão em PT-3 se manteve próximo ao valor desejado. No momento em que a referência exigida assume um valor de 10 mca, o sistema de impulsão atinge uma frequência máxima de 42 Hz, quando esse valor é alterado para 15 mca, a velocidade máxima de rotação

do rotor passou a ser de 53 Hz. Durante todo o ensaio, a demanda exigida foi mínima, onde a válvula CV-2 se manteve constante com um ângulo de fechamento de 65°. A duração de todo o teste ocorreu em 3 min e 20s.

CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos pode-se concluir que, o sistema de controle projetado utilizando-se a técnica das Redes Neurais Artificiais com arquitetura recorrente, se mostrou satisfatório nos três cenários apresentados. Em todas as situações o controlador ficou dentro das especificações de desempenho exigidas, onde a pressão em PT-3 foi controlada de acordo com o valor de referência desejado em menos de 12 s, sem a presença de sobressinal. O erro em regime permanente conservou-se na faixa esperada, cujo valor máximo atingido foi de 5%, quando o sistema precisou manter a pressão em 15 mca, durante a simulação da mínima demanda no Cenário 3.

Desse modo, o sistema de controle projetado torna-se apto a ser implementado para obter o controle da pressão em diferentes pontos, nas duas zonas de abastecimento da bancada experimental, assim como utilizar o Consumo Específico de Energia (CE) como variável de entrada na RNA, possibilitando sua minimização em conjunto com o controle da pressão.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), do Brasil, pelo apoio financeiro para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. JAMES, K.; CAMPBELL, S. L.; GODLOVE, C. E. Água e Energia – Aproveitando as oportunidades de eficiência de água e energia não exploradas nos sistemas municipais. Washinton: Alliance – Aliança para Conservação de Energia, 2002.
2. SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2013. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2014.
3. GONÇALVES, F. V., RAMOS, H. M. Modelo de rede neuronal artificial para a avaliação de sistemas híbridos de energia em redes de abastecimento de água. IX SEREA – Seminário Iberoamericano sobre Planificación, Proyecto y Operación de Sistemas de Abastecimento de Agua. Anais. Valencia, Espanha, 2009.
4. BEZERRA, S. T. M.; CHEUNG, P. B. Perdas de água: Tecnologias de controle. João Pessoa: Editora Universitária da UFPB, 2013.
5. COSTA, E. R. H. Estudo de Polímeros Naturais como Auxiliares de Flocculação com Base no Diagrama de Coagulação do Sulfato de Alumínio. São Carlos. 1992. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, 1992.
6. SILVA, I. N., SPATTI, D. H., FLAUZINO, R. A. Redes Neurais Artificiais para Engenharia e Ciências Aplicadas. ISBN: 978-85-88098-53-4, Editora Artliber, São Paulo, Brasil, 2010.
7. WIDROW, B., LEHR, M. A. 30 years of adaptive neural networks: perceptron, madaline and backpropagation. Proceedings of the IEEE, U.S.A., v. 78, n. 9, p. 1415 – 1442, 1990.