

CONTROLADOR FUZZY APLICADO EM UM SISTEMA DESCENTRALIZADO NA OPERAÇÃO OTIMIZADA DE REDES SETORIZADAS COM BOMBEAMENTO DIRETO

*Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento, Departamento de Engenharia Mecânica,
Universidade Federal da Paraíba*

Cidade Universitária – Campus João Pessoa – PB – Brasil (DECA/CT/UFPB) CEP 58.050-900

E-mails: <http://www.lenhs.ct.ufpb.br>

Abstract— In the past few years, there has been an increase in the use of tools and techniques of improvement by several sectors - fundamental to the development of society - aiming to optimize their activities and reduce their costs. Water Supply Systems (SAAs) require significant investments and are essential in maintaining a region, whether small, medium or large. In this paper, we developed a controller based on the fuzzy logic applied to a water distribution system. The purpose of the controller is to guarantee the service pressures in the two topographic zones, controlling the frequency of the drive system, formed by a motor pump assembly; and adjusting the angulation of a pressure reducing valve located upstream of the low zone. The results obtained were promising, since the controller was able to maintain the pressures in their reference values, reducing the energy consumption, when compared to the system without controller. The aim of this paper is based on the use of fuzzy logic as a robust control system, applied in an experimental bench that simulates the supply of a network with two pressure zones with differentiated topographic quota.

Keywords— Water Supply System, Fuzzy Logic, Control, Automation, Decentralized System

Resumo— Cada vez mais, diversos setores, fundamentais ao desenvolvimento de uma sociedade, recorrem a ferramentas e técnicas de melhoramento com o intuito de otimizar suas atividades e reduzir seus custos. Os Sistemas de Abastecimento de Água (SAA) requerem investimentos significativos e são imprescindíveis na manutenção de uma região, seja ela de pequeno, médio ou grande porte. Para este artigo, foi desenvolvido um controlador baseado na lógica fuzzy aplicado a um sistema piloto de distribuição de água. O objetivo do controlador é garantir as pressões de serviço nas duas zonas topográficas, a partir do controle da frequência do sistema de impulsão, formado por um conjunto motor bomba; e da angulação de uma válvula redutora de pressão situada a montante da zona baixa. Os resultados apresentados mostraram-se promissores, visto que o controlador conseguiu manter as pressões nos seus valores de referência, reduzindo o consumo energético, quando comparadas ao sistema sem controlador. A proposta desse trabalho se baseia na utilização da lógica fuzzy como sistema de controle robusto, aplicado em uma bancada experimental que simula o abastecimento de uma rede com duas zonas de pressão com cotas topográficas diferenciadas.

Palavras-chave— Sistema de Abastecimento de Água, Lógica Fuzzy, Controle, Automação, Sistema Descentralizado

1 Introdução

Atualmente é cada vez mais crescente a busca por novas tecnologias e o desenvolvimento mais eficiente de diversos setores essenciais ao pleno crescimento de uma dada sociedade ou localidade. Quão mais essenciais tais atividades, mais significativas são essas descobertas. Os Sistemas de Abastecimento de Água (SAA), presentes em regiões de pequeno, médio ou grande porte, utilizam de maneira abundante e, muitas vezes inadequada, dois insumos essenciais à sua manutenção: água e energia. Esses recursos são estratégicos e devem ser utilizados da forma mais eficiente e econômica possível, visto o crescente apelo mundial para a economia e o uso racional dos mesmos.

Um importante indicador de eficiência em um SAA é o índice de perdas de água, no Brasil este índice varia em torno de 38%, no entanto, em alguns estados alcança valores de 75%. Logo, um dos grandes desafios enfrentados pelas operadoras de sistemas de abastecimento no Brasil é a redução do índice de perdas em todos os seus processos de operação (ABES, 2013).

No entanto, um SAA não opera de maneira linear, ou mesmo previsível. A demanda de uma determinada região não é uniforme ao longo de todo um ano, ou mesmo ao longo de todo o dia. Há horários ou períodos em que uma maior vazão é solicitada, em meses ou dias mais quente, por exemplo. Neste sentido, a utilização de sistemas automatizados que monitorem de forma segura a pressão na rede, pode ser visto como uma excelente ferramenta para a operação de setores de abastecimento.

Apesar das perdas serem inerentes ao processo de operação de um sistema de abastecimento é possível reduzir esses valores a porcentagens mínimas. Para que isso aconteça é necessário um aperfeiçoamento na fase de monitoramento do sistema, visando registrar os pontos de operações mais deficientes, ou mesmo com valores acima dos propostos na fase de projeto. Sendo assim, a utilização de sistemas automatizados que monitorem de forma segura a pressão na rede, pode ser visto como uma excelente ferramenta para a operação de setores de abastecimento.

Segundo Tsutiya (2006), a automação no abastecimento pode ser aplicada nas operações de captação e distribuição, por exemplo. Enquanto que, equipamentos de medição e transdutores, possibilitam a rea-

lização da supervisão e os controles necessários para manter o sistema operando de forma mais eficiente. Os sistemas de abastecimento automatizados permitem a utilização de ferramentas mais sofisticadas, que irão intervir de maneira direta na operação da rede. Esses controles, proporcionados por algoritmos robustos implantados no sistema, podem realizar manobras sem a intervenção do operador, conforme a necessidade de demanda hídrica. Ainda segundo Bezerra e Cheung (2013), uma diminuição de 10% na pressão resulta em uma redução aproximada de 12% no volume perdido por vazamentos.

Os sistemas de controle utilizam diversas ferramentas com o intuito de manobrar uma determinada planta para se chegar a um dado resultado. Os controladores variam de acordo com a necessidade da planta ou processo a ser controlado. Para modelos físicos cuja modelagem matemática seja mais complexa, tais como as redes de abastecimento de água, existem alternativas na aplicação de um controlador.

A lógica *fuzzy* trabalha com problemas cujas fronteiras não são bem definidas. Os sistemas que utilizam esta lógica necessitam de valores mais suaves do que os extremos apresentados pela lógica binária. Para Camboim *et al* (2014), os sistemas de abastecimento de água envolvem diversos parâmetros com consideráveis níveis de imprecisão, por tanto, *fuzzy* apresenta-se como uma linguagem apropriada para sua aplicação em tais sistemas.

Os sistemas de controle baseados na lógica *fuzzy* apresentam uma metodologia mais simplificada, quando comparado a outros controles. No entanto, sua implantação exige um conhecimento detalhado da planta ou processo a ser trabalhado. Isto porque sua base de regras e suas funções de pertinência devem ser baseadas no conhecimento dos controladores e técnicos que operam a planta real.

Conforme interação entre as variáveis de controle e as variáveis de estado, o sistema pode-se mostrar centralizado ou descentralizado. Em um sistema descentralizado é elaborado um grupo de regras para cada variável de controle, ou seja, cada ponto será controlado de forma independente (PINTO, MOTA ALMEITA, 2010).

2 Objetivo

Este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um sistema descentralizado de controle inteligente, sob a ação da lógica *fuzzy*, para a eficiência da operação de uma bancada experimental que simula um sistema de abastecimento de água com duas zonas de pressão, com topografias diferenciadas, com vistas à redução de perdas de água.

3 Materiais e Métodos

Este artigo foi desenvolvido em uma bancada experimental do Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento da Universidade Federal da Paraíba – LENHS/UFPB. O Sistema Automatizado de Distribuição de Água (SADA) é uma bancada experimental pressurizada que simula um sistema de abastecimento de água com duas zonas topográficas diferenciadas, conforme Figura 1.



Figura 1. Rede experimental SADA

O SADA é composto por duas zonas de pressão, a zona baixa (ZB) possui cota de 1,50 m e a zona alta (ZA) uma cota de 6,50 m. Entende-se por zona baixa o trecho percorrido desde o reservatório de alimentação (RNF) até o ramal de descarga RD-1. A zona alta é representada pelo trecho percorrido do reservatório até o ramal de descarga RD-2. A estação elevatória desse sistema é composta por um conjunto motor bomba (CMB) de 3 CV de potência cujo acionamento é realizado através de um conversor/inversor de frequência. Quando associado a um sistema de controle automático, o conversor permite manter as pressões de serviço em níveis constantes pré-estabelecidos, adequando assim o funcionamento da elevatória às frequentes variações de demanda ocasionalmente ocorridas. Evitando eventuais sobrepressões e gastos energéticos desnecessários.

Além do CMB, o sistema também apresenta um booster, instalado no abastecimento da zona alta, cujo funcionamento varia conforme as oscilações das demandas. A bancada também está equipada com cinco transdutores de pressão: PT-1, PT-2, PT-3, PT-4 e PT-5, sendo o PT-3 responsável pela medição da pressão da zona baixa e o PT-5 da zona alta. Dois medidores de vazão: FT-1, para zona baixa, e FT-2, para zona alta. Além de três válvulas redutoras de pressão: CV-1, CV-2 e CV-3, onde a CV-1 simula a variação de consumo na zona baixa e a CV-3 realiza a simulação de consumo na zona alta. Em testes realizados, foi constatado que o máximo consumo registrado ocorre quando a CV-2 e CV-3 estão operando com um grau de abertura de 40°, e mínimo consumo,

a 60°. Valores para mais ou para menos não registram variações significativas.

A leitura dos parâmetros hidráulicos fornecidos pelos sensores e atuadores é realizada a partir da comunicação estabelecida entre a placa de aquisição de dados da *National Instruments* e o software supervisor LabVIEW®. Bem como a execução de ações de comando sobre as válvulas proporcionais e os conversores de frequência. A Figura 2 apresenta o layout do supervisor utilizado desenvolvido.

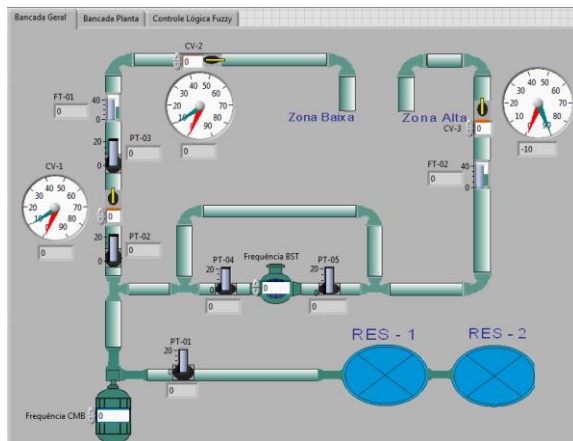


Figura 2. Apresentação da bancada no LabVIEW®

O desenvolvimento deste artigo foi realizado a partir de um estudo minucioso do comportamento do sistema, analisando a operação da válvula redutora de pressão e do CMB; desenvolvendo, em seguida, o controlador *fuzzy* a ser aplicado no SADA. E finalmente a utilização do controlador executado em um sistema descentralizado. A Figura 3 apresenta o diagrama de blocos para o controle descentralizado aplicado no inversor de frequência.

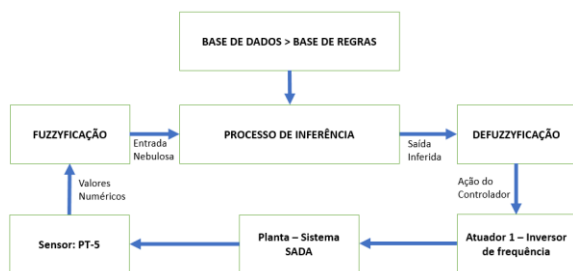


Figura 3. Diagrama de blocos da zona alta.

A Figura 4 apresentam o diagrama de blocos utilizado para implementação do controlador na CV-1.

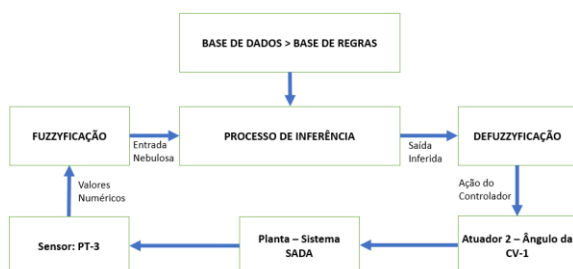


Figura 4. Diagrama de blocos da zona baixa.

3.1 Controlador Fuzzy – Zona Alta

Como o objetivo do controlador é garantir que as pressões nas zonas altas e baixas sejam 16,5 mca e 11,5 mca, respectivamente, o controlador irá atuar no CMB, para pressurizar a ZA, e na CV-1, para garantir as pressões de serviço na ZB. Iniciando pela ZA, foram criadas duas variáveis de entrada e uma de saída. Como variáveis de entrada, tem-se: o erro e a derivada da pressão. Como erro entende-se a diferença entre o set-point considerado e a pressão medida no instante de tempo. A variável de saída foi dada por um delta de rotação a ser incrementado ou retirado do CMB. Optou-se por utilizar cinco funções de inferência por variável, sendo três triangulares e duas trapezoidais. O processo de inferência adotado foi o método Mamdani. A Figura 5 traz os gráficos das variáveis de entrada, enquanto que a Figura 6 representa a saída do controle.

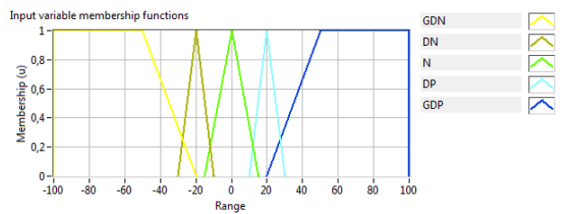
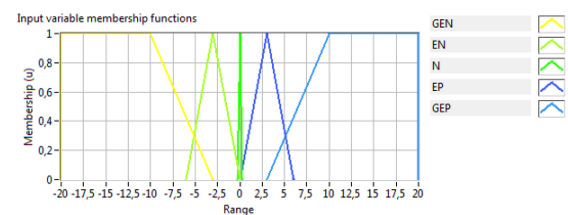


Figura 5. Variáveis de entrada do controle descentralizado para a ZA.

Onde as funções abaixo representam as funções de inferência das variáveis de entrada:

GEN: Grande Erro Negativo

EN: Erro Negativo

N: Erro Normal

EP: Erro Positivo

GEP: Grande Erro Positivo

GDN: Grande Derivada Negativa

DN: Derivada Negativa

N: Derivada Normal

DP: Derivada Positiva

GDP: Grande Derivada Positiva

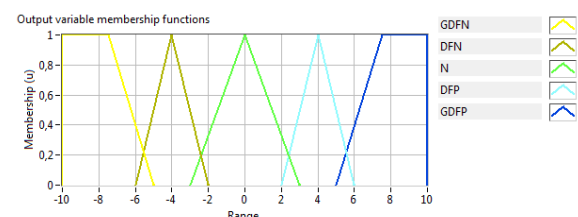


Figura 6. Variável de saída do controle descentralizado para a ZA.

Onde as funções abaixo representam as funções de inferência da variável de saída:

GDFN: Grande Delta de Frequência Negativo

DFN: Delta de Frequência Negativo

N: Delta de Frequência Normal

DFP: Delta de Frequência Positivo

GDFP: Grande Delta de Frequência Positivo

Os gráficos acima foram construídos após um longo processo de conhecimento do comportamento do sistema. As regras inseridas foram criadas com base na experiência do operador sobre a planta. Sabe-se que quando o consumo é alto, haverá uma maior necessidade de pressurização na rede, devendo o CMB atuar de maneira mais incisiva. Em contrapartida, quando esse consumo cai, à noite, por exemplo, para se evitar grandes pressões, reduz a frequência do CMB. Ao todo, foram construídas 25 regras, a Tabela 1 apresenta cinco delas.

Tabela1. Regras fuzzy para controlar a pressão da ZA

Nº	Regra
1	IF 'Erro' IS 'GEN' ADN 'Derivada da Pressão' IS 'GDN' THEN 'Delta de Frequência' IS 'GDFN'
6	IF 'Erro' IS 'EN' ADN 'Derivada da Pressão' IS 'GDN' THEN 'Delta de Frequência' IS 'DFN'
11	IF 'Erro' IS 'N' ADN 'Derivada da Pressão' IS 'GDN' THEN 'Delta de Frequência' IS 'N'
16	IF 'Erro' IS 'EP' ADN 'Derivada da Pressão' IS 'GDN' THEN 'Delta de Frequência' IS 'DFP'
21	IF 'Erro' IS 'GEP' ADN 'Derivada da Pressão' IS 'GDN' THEN 'Delta de Frequência' IS 'DFP'

3.2 Controlador Fuzzy – Zona Baixa

O controle da ZB foi feito a partir da regulação do grau de fechamento da CV-1. Assim como no controlador da ZA, o sistema possuirá duas entradas e uma saída, sendo as entradas o erro e a derivada de pressão, enquanto que a saída regulou o grau de funcionamento da CV-1. A Figura 7 traz os gráficos das variáveis de entrada, enquanto que a Figura 8 representa a saída do controlador ou do sistema de controle.

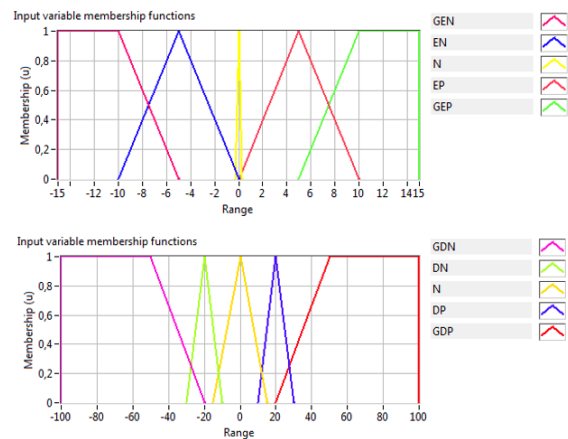


Figura 7. Variáveis de entrada do controle descentralizado para a ZB.

Onde as funções abaixo representam as funções de inferência das variáveis de entrada:

GEN: Grande Erro Negativo

EN: Erro Negativo

N: Erro Normal

EP: Erro Positivo

GEP: Grande Erro Positivo

GDN: Grande Derivada Negativa

DN: Derivada Negativa

N: Derivada Normal

DP: Derivada Positiva

GDP: Grande Derivada Positiva

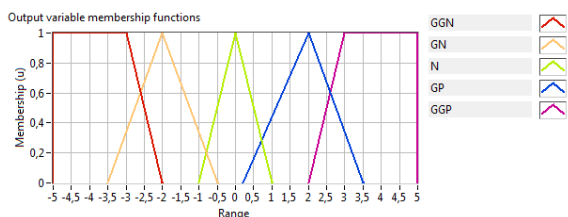


Figura 8. Variável de saída do controle descentralizado para a ZA.

Onde as funções abaixo representam as funções de inferência da variável de saída:

GGN: Grande Grau Negativo

GN: Grau Negativo

N: Grau Normal

GP: Grau Positivo

GGP: Grande Grau Positivo

Para a zona baixa, sabe-se que quando o consumo é alto, haverá uma maior necessidade de pressurização na rede, logo, além da atuação do CMB, é preciso que a válvula se mantenha aberta, reduzindo as perdas a jusante. Em contrapartida, quando esse consumo cai, à noite, por exemplo, para se evitar grandes pressões, há uma atuação conjunta do CMB e da CV-1. Foram construídas 25 regras, a Tabela 2 apresenta cinco delas.

Tabela 2. Regras fuzzy para controlar a pressão da ZA

Nº	Regra
1	IF 'Erro' IS 'GEN' ADN 'Derivada da Pressão' IS 'GDN' THEN 'Delta Grau CV' IS 'GGP'
6	IF 'Erro' IS 'EN' ADN 'Derivada da Pressão' IS 'GDN' THEN 'Delta Grau CV' IS 'GP'
11	IF 'Erro' IS 'N' ADN 'Derivada da Pressão' IS 'GDN' THEN 'Delta Grau CV' IS 'N'
16	IF 'Erro' IS 'EP' ADN 'Derivada da Pressão' IS 'GDN' THEN 'Delta Grau CV' IS 'GN'
21	IF 'Erro' IS 'GEP' ADN 'Derivada da Pressão' IS 'GDN' THEN 'Delta Grau CV' IS 'GN'

4 Resultados e Discussões

Os controles desenvolvidos, baseados na lógica fuzzy, foram aplicados em duas situações: com a máxima demanda, ou seja, as válvulas CV-2 e CV-3 a 40° de ângulo de fechamento; e com a mínima demanda: as válvulas CV-2 e CV-3 a 60° de ângulo de fechamento.

Além das duas situações acima descritas, foram realizadas perturbações na planta, com o intuito de constatar o comportamento do controlador e sua capacidade em retornar as pressões de serviço, mesmo após variações bruscas de demanda. A Figura 9 representa a variação das pressões no PT-3 e PT-5, com o CMB trabalhando a uma frequência de 60 Hz e a CV-01 totalmente aberta a 0°, e as válvulas CV-2 e CV-3 a 40°, sem a aplicação do controlador.

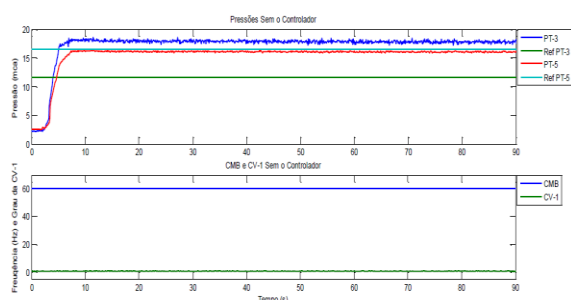


Figura 9. Relação entre as pressões de serviço nas duas zonas de pressão e seus valores de referência, sem a aplicação do controlador na máxima demanda.

A Tabela 3 apresenta os valores médios obtidos dos principais parâmetros do sistema, com a CV-2 e CV-3 a 40°, CV-1 totalmente aberta a 0° e a frequência a 60 Hz.

Tabela 3. Parâmetros da planta sem aplicação do controlador (máxima demanda)

Parâmetro	Zona Alta	Zona Baixa
Pressão (mca)	16,46	17,19
Vazão (m³/s)	4,39	6,79

Além da operação do sistema, com as válvulas CV-2 e CV-3 simulando a máxima demanda, também foram realizados experimentos para simulação de mínima demanda, ou seja, CV-2 e CV-3 trabalhando a 60°. A Figura 10 apresenta os valores das pressões registradas para este cenário.

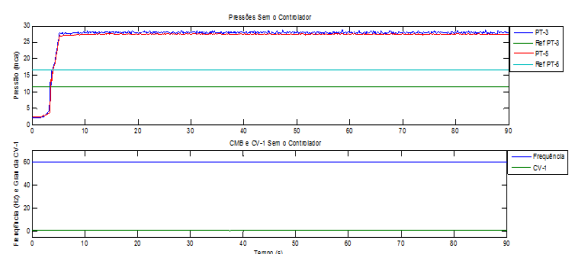


Figura 10. Relação entre as pressões de serviço nas duas zonas de pressão e seus valores de referência, sem a aplicação do controlador na mínima demanda.

A Tabela 4 apresenta os valores médios obtidos dos principais parâmetros do sistema, com a CV-2 e CV-3 a 60°, CV-1 totalmente aberta a 0° e a frequência a 60 Hz.

Tabela 4. Parâmetros da planta sem aplicação do controlador (mínima demanda)

Parâmetro	Zona Alta	Zona Baixa
Pressão (mca)	26,38	26,86
Vazão (m³/s)	4,78	6,37

A aplicação do controlador visa reduzir as pressões na zona baixa, diminuindo a angulação da CV-1, e elevar as pressões na zona alta com a regulação da frequência do CMB, a partir da variação da rotação com o inversor de frequência. A Figura 11 apresenta os resultados obtidos na máxima demanda, ou seja, CV-2 e CV-3 a 40° com a aplicação do controlador.

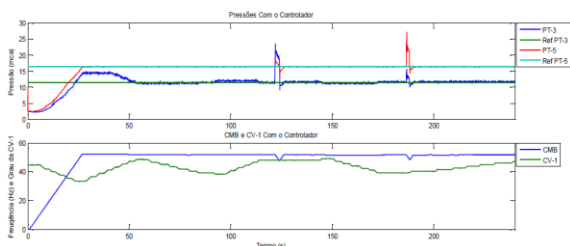


Figura 11. Relação entre as pressões de serviço nas duas zonas de pressão e seus valores de referência, com a aplicação do controlador na máxima demanda.

A Figura 11 traz o comportamento do sistema após a aplicação do controlador no sistema descentralizado. Na parte superior do gráfico, é possível observar que o PT-3 apresentou sobressinal, no entanto, após 50 segundos de acionamento do controle, adquiriu estabilidade, atingindo o valor de referência desejado, de 11,50 mca. O PT-5, por outro lado, não registrou sobressinal, e 26,4 s após o acionamento do controle, atingiu a pressão de referência de 16,50 mca.

Na região inferior do gráfico, é possível analisar o comportamento das duas variáveis de controle, o CMB e a CV-1. O PT-5 acompanha o desenvolvimento do CMB, que registra uma frequência de 48,7 Hz, quando o PT-5 atinge o estado estacionário. O comportamento da CV-1, no entanto, não apresenta a mesma regularidade em torno de apenas um valor, suas variações são mais visíveis, no entanto, não interferem na chegada do PT-3 a seu valor de referência.

Nos instantes de 2 e 3 minutos foram realizadas variações bruscas na demanda na zona baixa e zona alta, respectivamente. O objetivo era garantir que mesmo após interrupções bruscas no sistema com o fechamento do registro de saída, o controle se mostraria eficiente a ponto de restabelecer as pressões aos valores de referência. Conforme ilustrado no próprio gráfico, o controle reagiu de maneira satisfatória e garantiu a estabilidade do sistema com suas pressões de serviço. Após essas interrupções, é possível detectar a diminuição simultânea na frequência do CMB. O teste acima foi realizado em um período de 4 minutos, com aquisição on-line dos resultados. O controlador obteve uma resposta mais eficiente e atuante no PT-5, visto que nesse ponto não houve registro de sobressinal e seu tempo de estabelecimento foi bem inferior ao do PT-3. Na ZB, após a realização das duas perturbações, não foi registrado erro em regime permanente, garantindo uma pressão de 11,50 mca. Apesar do tempo de estabelecimento verificado ter sido quase o dobro, em relação à ZA, o controlador atuou de maneira satisfatória, controlando a pressão necessária ao funcionamento eficiente da rede. A Tabela 5 apresenta os valores médios obtidos dos principais parâmetros hidráulicos do sistema com a CV-2 e CV-3 a 40°.

Tabela 5. Começo de uma Tabela de uma Única Coluna.

Parâmetros	Zona Alta	Zona Baixa
Pressão (mca)	16,50	11,50
Vazão (m³/h)	6,67	4,70
CV-1	42,98°	
Frequência do CMB (Hz)	48,68	

A partir da análise dos dados registrados na Tabela 5, constata-se a eficiência do controlador em reduzir as pressões aos valores inicialmente estipulados como necessários à operação da rede. Além da redu-

ção das pressões, observa-se uma diminuição de 18,85% na frequência do CMB, o que pode gerar uma queda no consumo energético do sistema de distribuição.

Também foram realizados testes simulando uma rede a mínima demanda, ou seja, com as válvulas CV-2 e CV-3 a 60° com a aplicação do controlador, para o mesmo sistema descentralizado. A Figura 12 apresenta os resultados obtidos.

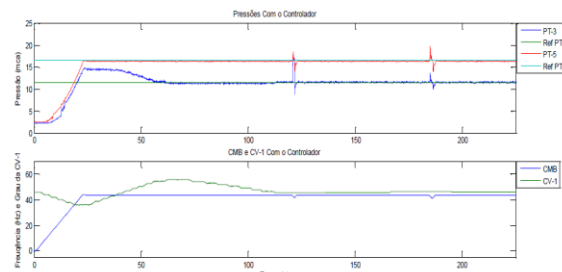


Figura 12. Relação entre as pressões de serviço nas duas zonas de pressão e seus valores de referência, com a aplicação do controlador na mínima demanda.

A Figura 12 traz o comportamento do sistema também operando de maneira descentralizada. Na parte superior do gráfico, observa-se que o PT-3 apresentou sobressinal, no entanto, após 58 segundos de acionamento do controle, adquiriu estabilidade, atingindo o valor de referência desejado de 11,50 mca. O PT-5, por outro lado, não registrou sobressinal, e 23 s após o acionamento do controle, atingiu a pressão de referência de 16, 50 mca.

Na região inferior do gráfico, é possível analisar o comportamento das duas variáveis de controle, o CMB e a CV-1. O PT-5 acompanha o desenvolvimento do CMB, que registra uma frequência de 43,17 Hz, quando o PT-5 atinge o estado estacionário. O comportamento da CV-1, de forma análoga, acompanha o desempenho do PT-3, atingindo valores mais constantes, após a fase de estabilização do controle. Na mínima demanda, é possível constatar que a válvula influencia, de maneira mais direta e eficiente no comportamento de PT-3, fazendo com que as pressões de serviço sejam atingidas, sem grandes variações em sua angulação.

Nos instantes de 2 e 3 minutos foram realizadas variações bruscas na demanda na zona baixa e zona alta, respectivamente. Conforme ilustrado no próprio gráfico, o controle reagiu de maneira satisfatória e garantiu a estabilidade do sistema, com suas pressões de serviço. Após estas interrupções, é possível detectar a diminuição simultânea na frequência do CMB e sua ágil resposta ao retorno das condições normais de operação.

O teste acima foi realizado em um período de 3 minutos e 50 segundos, com aquisição on-line dos resultados. O controlador obteve uma resposta mais eficiente e atuante no PT-5, visto que nesse ponto não houve registro de sobressinal, e seu tempo de estabelecimento foi bem inferior ao do PT-3. Na ZB, após a realização das duas perturbações, não foi re-

gistrado erro em regime, garantindo uma pressão de 11,50 mca. Apesar do tempo de estabelecimento verificado ter sido quase o dobro, em relação à ZA, o controlador atuou de maneira satisfatória, controlando a pressão necessária ao funcionamento eficiente da rede. A Tabela 6 apresenta os valores médios obtidos dos principais parâmetros hidráulicos do sistema com a CV-2 e CV-3 a 60°.

Tabela 6. Começo de uma Tabela de uma Única Coluna.

Parâmetros	Zona Alta	Zona Baixa
Pressão (mca)	16,50	11,52
Vazão (m³/h)	3,6	5,8
CV-1	46,53°	
Frequência do CMB (Hz)	40,99	

A partir da análise dos dados registrados na Tabela 6, constata-se a eficiência do controlador em reduzir as pressões aos valores inicialmente estipulados como necessários à operação da rede. Além da redução das pressões, observa-se uma redução de 31,68% na frequência do CMB, o que pode gerar uma queda no consumo energético do sistema de distribuição. Uma redução bem superior àquela registrada no sistema na operação de máxima demanda.

5 Conclusão

O controle fuzzy mostrou-se de fácil manuseio e extremamente interativo, simulando as manobras feitas por operadores. No entanto, o controle tinha como base de regras requisitos hidráulicos e teóricos, o que garante uma operação mais eficiente do que as situações encontradas no dia a dia das intervenções feitas em um SAA. Pelos resultados apresentados, o controle se mostrou eficiente e com respostas ágeis. Nas duas situações, de máxima e mínima demanda foi possível constatar a influência mais significativa do CMB na pressurização das duas zonas, no entanto, a CV-1 foi de extrema importância na regulação dessas pressões. O controle aplicado no sistema descentralizado, para as situações de máxima e mínima demanda, se mostrou eficiente ao controlar as pressões na bancada.

Os resultados apresentados validam a utilização de controladores em redes pressurizadas de abastecimento de água, garantindo maior eficiência e uma operação técnica mais centrada em parâmetros científicos. Desta forma, o objetivo final, de garantir pressões e vazões, com a redução de consumo de água e energia, pode ser alcançado de maneira satisfatória.

Agradecimentos

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a todos que compõem o Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento (LENHS-UFPB).

Referências Bibliográficas

- [ABES] – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Perdas em Sistemas de Abastecimento de Água: Diagnóstico, Potencial de Ganhos com sua Redução e Propostas de Medidas para o Efetivo Combate. 2013.
- BEZERRA, S.T.M.; CHEUNG, P.B. Perdas de Água – Tecnologias de Controle. 1 ed. João Pessoa: Editora Universitária da Universidade Federal, 220p. ISBN: 9788523707019, 2013.
- TSUTIYA, M. T., Redução do Custo de Energia Elétrica em Sistemas de Abastecimento de Água. ABES Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. São Paulo, 2006.
- CAMBOIM, W. L. L.; SILVA, S.A.; GOMES, H.P. Aplicação de técnicas de controle Fuzzy em sistemas de abastecimento. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental. v.19, n.1, Rio de Janeiro, 2014.
- PINTO, M. B. B.; MOTA, J. G. R.; ALMEIDA, O. M. Pid self-adjustable fuzzy logic mimo case: method and application. 9th IEEE/IAS International Conference on Industry Applications - INDUSCON, 2010.