

IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA PARA O MONITORAMENTO DE BARRAGENS UTILIZANDO LÓGICA FUZZY

MARCELLY H. COELHO, THIAGO R. DAL PONT, LIZ CRISTINE M. COUTINHO, ANDERSON F. PEREZ

*Laboratório de Tecnologias Computacionais, Universidade Federal de Santa Catarina
Rodovia Governador Jorge Lacerda, nº 3201. Bairro Jardim das Avenidas, 88906-072, Araranguá, SC
E-mails: marcelly_homem@hotmail.com, thiago.dalpont@outlook.com,
lizcmoreira@hotmail.com, anderson.perez@ufsc.br*

Abstract— This article describes the construction of an automated system for monitoring dams. These artificial barriers retain large quantities of water and, therefore, need effective strategies to receive signals and warn emergency situations. The goal of the system is automatically update the dam conditions and, in case of need, from the forecast behavior of the dam due to the depth of the water level and the level of rain, allow access of information to the community safety. The computational modeling for the control was based on fuzzy logic and embedded in Arduino. From the results, it can be concluded that the fuzzy controllers are applicable in the data analysis of systems with treatment of indeterminate states, allowing the use of this methodology to control the system.

Keywords— Fuzzy logic, automated system, monitoring, dam.

Resumo— O presente artigo descreve a construção de um sistema automatizado para o monitoramento de barragens. Estas barreiras artificiais retêm abundante quantidade de água e, em vista disso, precisam de eficazes estratégias de percepções e avisos para situações de emergência. O objetivo do sistema é atualizar automaticamente as condições da barragem e, em casos de necessidade, a partir da previsão do comportamento da represa em função da profundidade do nível de água e do nível da chuva a ela atingida, permitir o acesso das informações para a segurança da comunidade. A modelagem computacional para o controle foi baseada em lógica fuzzy e embarcada em Arduino. A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que os controladores fuzzy são aplicáveis na análise dos dados de sistemas com tratamento de estados indeterminados, possibilitando o uso desta metodologia para o controle do sistema.

Palavras-chave— Lógica fuzzy, sistema automatizado, monitoramento, barragem.

1 Introdução

O monitoramento de represas é de fundamental importância, tendo em vista que problemas climáticos podem representar prejuízos econômicos, danos ao meio ambiente e, em casos extremos, risco de morte das populações de regiões próximas às barragens (Velooso et al., 2007).

Neste trabalho são apresentados os subsídios para a implementação de um sistema de monitoramento de barragens, bem como as metodologias desenvolvidas para a obtenção e análise dos dados obtidos, através do comportamento ambiental e condições físicas, como elementos principais para a prevenção de acidentes.

O presente artigo propõe a elaboração de um sistema automatizado para o monitoramento de represas, a fim de auxiliar no controle de água e advertir a população local em caso de emergência. O protótipo desenvolvido é constituído de módulos de sensoramento internos e externos, responsáveis pela medição do nível de água contido na barragem e o índice pluviométrico, respectivamente. Esses valores referentes à segurança da barragem são enviados em tempo real para um dispositivo móvel, com o propósito de transmitir informações relacionadas ao nível de água retida na represa.

Além da implementação, detalha-se ainda a integração e realização de testes e de avaliações baseadas em lógica fuzzy a um conjunto de bibliotecas livres voltadas para o auxílio do desenvolvimento da aplicação.

As demais seções deste artigo estão estruturadas da seguinte forma: na Seção 2 são apresentados alguns conceitos sobre lógica fuzzy e a utilização desta tecnologia no sistema de monitoramento de barragens; a seção 3 apresenta o sistema de controle fuzzy desenvolvido; a Seção 4 relata os resultados dos experimentos realizados com o protótipo criado; e a última Seção, 5, descreve as considerações finais.

2 Lógica Fuzzy

Na teoria clássica dos conjuntos, o conceito de pertinência de um elemento é bem definido, os elementos, exclusivamente, pertencem ou não a determinado conjunto. Este conceito é denominado bivalência e define a utilização de apenas dois valores: um ou zero, verdadeiro ou falso. Entretanto, examinando que os seres humanos lidam com informações imprecisas ou aproximadas, adotou-se uma nova estratégia, a lógica fuzzy, que possibilitou expressar dados através de termos linguísticos.

Os fundamentos da teoria de lógica fuzzy têm origem nos conjuntos nebulosos (fuzzy sets), publicados em 1965, no Journal of Information and

Control (Zadeh, 1965). O termo fuzzy significa nebuloso, difuso, e se refere ao fato de, em muitos casos, não se conhecer completamente os sistemas que se analisa (Ortega, 2001). A modelagem e o controle fuzzy (Lee, 1990), são estratégias para manipular dados qualitativos de maneira precisa. Assim, esta teoria abrange uma ampla caracterização, fornecendo ferramentas matemáticas para proceder com informações como expressões verbais abstratas (baixo, alto, muito quente, longe), definidas como variáveis linguísticas, cujos valores são nomes de conjuntos fuzzy.

2.1 Sistema de Controle Fuzzy para Monitoramento de Barragens

Para monitorar uma barragem através de um sistema de controle fuzzy, analisou-se a composição do sistema de monitoramento e seu modelo foi desenvolvido em Matlab. As entradas no sistema foram “Profundidade” e “Índice de Chuva” e as saídas foram quais mensagens, situação de “Economizar água”, “Estável”, “Alerta” ou “Perigo”, deveriam ser enviadas para o módulo *display*. Este serviu como protótipo de um *outdoor* eletrônico, informando o estado da represa à população.

Como é possível analisar a partir da Figura 1, primeiramente, deve-se coletar os dados iniciais e realizar a etapa de Fuzzificação, em que os dados são transformados em variáveis linguísticas dos conjuntos, que neste caso são dados por $T(\text{profundidade})$ e $T(\text{indiceChuva})$, de acordo com as descrições abaixo.

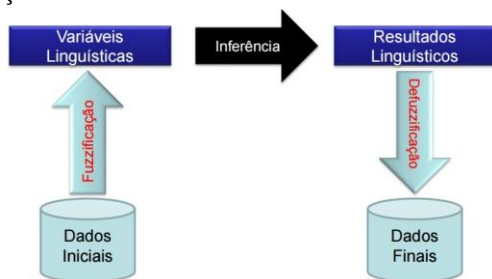


Figura 1. Processos de tratamento de dados por lógica fuzzy

Sobre o conjunto “Profundidade”, foram inferidos valores entre [0, 60], de acordo com a altura do galão utilizado para simular a barragem, o qual media 60 centímetros de profundidade. Assim, três faixas de valores foram estabelecidas e denominadas “Alta”, “Média” e “Pequena”.

$T(\text{profundidade}) = \{\text{alta, média, pequena}\}$

Salienta-se que a faixa denominada “Alta” é caracterizada pelo intervalo [0, 20], pois quando o sensor lê uma distância pequena, a barragem está cheia. Na Figura 2, pode-se observar a distribuição deste e dos demais intervalos das variáveis.

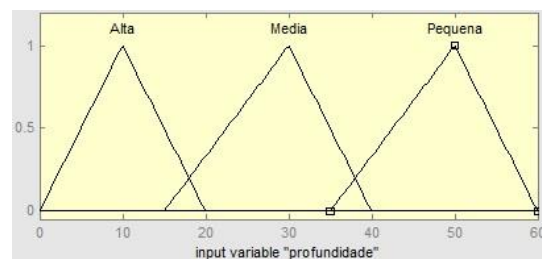


Figura 2. Modelagem da entrada “profundidade” no Matlab

Os valores do conjunto “Índice de Chuva”, mapeados a partir do sensor de água, têm sua cobertura entre [0, 750]. Dentro disto, foram estipuladas três faixas de valores, designadas como “Pouca”, “Média” e “Muita”.

$T(\text{indiceChuva}) = \{\text{pouca, média, muita}\}$

A partir da Figura 3, pode-se analisar a disposição dos intervalos de valores.

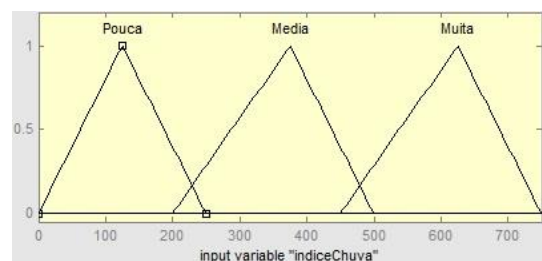


Figura 3. Modelagem da entrada “indiceChuva” no Matlab

Ao finalizar a fase de Fuzzificação, seguiu-se para a Inferência, passo que determina como as regras são ativadas e combinadas. Regras são expressas através de implicações lógicas da forma se ... então, representando uma relação entre um ou mais antecedentes e um ou mais consequentes (Tanscheit, 2004). Portanto, foram implementadas regras de inferência composicional para gerar graus de inferência e resultar nos valores de saída. É possível verificar através da Figura 4 os antecedentes e consequentes estabelecidos para cada uma das regras listadas. Pode-se observar que a partir de diferentes situações das entradas do sistema tem-se a mesma resposta, ou seja, uma mesma mensagem de saída. Essa modelagem foi criada observando as características obtidas nas simulações reais no protótipo desenvolvido.

```

1  if (profundidade is Pequena) and (indiceChuva is Pouca)
2  then (mensagem is msg1)
3  if (profundidade is Pequena) and (indiceChuva is Média)
4  then (mensagem is msg1)
5  if (profundidade is Pequena) and (indiceChuva is Muita)
6  then (mensagem is msg1)
7  if (profundidade is Média) and (indiceChuva is Pouca)
8  then (mensagem is msg2)
9  if (profundidade is Média) and (indiceChuva is Média)
10 then (mensagem is msg2)
11 if (profundidade is Média) and (indiceChuva is Muita)
12 then (mensagem is msg3)
13 if (profundidade is Alta) and (indiceChuva is Pouca)
14 then (mensagem is msg3)
15 if (profundidade is Alta) and (indiceChuva is Média)
16 then (mensagem is msg4)
17 if (profundidade is Alta) and (indiceChuva is Muita)
18 then (mensagem is msg4)

```

Figura 4. Regras de inferência

A fase de Defuzzificação recebe o conjunto fuzzy de saída, analisado na fase de Inferência, e fornece uma saída precisa. Para assegurar esta precisão, utilizou-se o método de Defuzzificação “Média dos Máximos”, realizando a média entre os dois elementos extremos no universo, ou seja, os maiores valores da função de pertinência do consequente.

Para melhor visualização, a Figura 5 ilustra a disposição das quatro faixas estipuladas para saída “Mensagem”, com valores entre [0, 80]. Este intervalo foi utilizado para mapear de forma adequada as mensagens que informarão a situação da barragem.

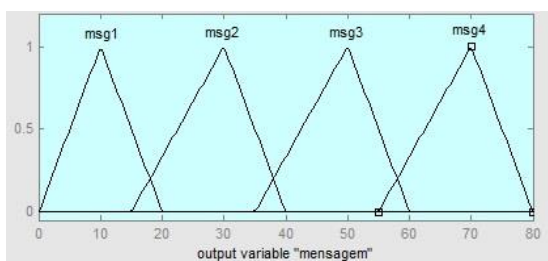


Figura 5. Modelagem da saída “mensagem” no Matlab

3 Sistema Proposto

A fim de automatizar a situação de barragens, foi proposta a criação de um protótipo de baixo custo, conforme a Figura 6, baseado em micro controlador da placa Arduino Uno.

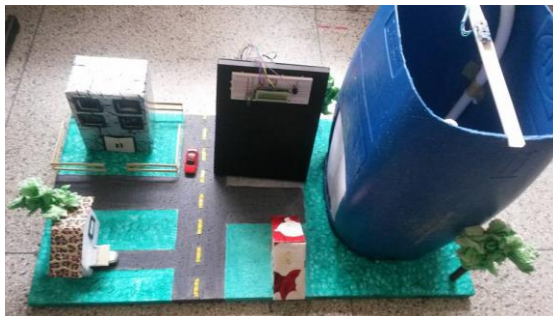


Figura 6. Protótipo de barragem em escala reduzida

Ao longo da montagem da barragem, utilizaram-se componentes eletrônicos e ferramentas computacionais, como *hardware*, *software* e linguagens de programação. Inicialmente, modelou-se o sistema fuzzy em Matlab. Na sequência, implementou-se em Linguagem C++ e, posteriormente, embarcou-se na Plataforma de desenvolvimento Arduino. Ao fim, o aplicativo móvel Bluetooth Spp Pro foi usado com objetivo de receber periodicamente a informação sobre a profundidade da represa.

3.1 Desenvolvimento

Ao longo da construção do protótipo foi utilizado o módulo de sensoriamento interno e externo de represas. Internamente, o protótipo possuía um sensor ultrassônico, responsável pela medição do nível de água contido na barragem. Externamente, possuía um sensor de nível de água, cujo objetivo era informar o índice pluviométrico. Estes dois sensores eram responsáveis pela entrada de dados no sistema fuzzy.

O sistema capta as leituras dos sensores e a partir disso processa as informações e, caso necessário, aciona os atuadores. Esse acionamento é feito através de um conjunto de regras pré-estabelecidas na programação, a qual foi implementada usando a interface de desenvolvimento do próprio Arduino.

O protótipo contava com meios de divulgação das informações. Primeiramente, adicionou-se ao sistema um módulo *display*, o qual simularia um *outdoor* eletrônico e era responsável por informar a população qual era a situação em que a represa se encontrava naquele instante, de forma confiável e segura. Essa informação era disponibilizada através de mensagens, como situação “estável”, “alerta” e entre outras. Posteriormente, um módulo *bluetooth* foi inserido e utilizou-se o aplicativo Bluetooth Spp Pro que transferia a profundidade do nível de água retida na barragem, em tempo real, utilizando a comunicação entre o módulo e o aplicativo. Ao passar do tempo, o app recebeu múltiplas leituras e, assim, manteve um histórico de medidas, dando suporte a tomada de decisão por parte do operador da represa. A Figura 7 exemplifica o funcionamento do aplicativo.

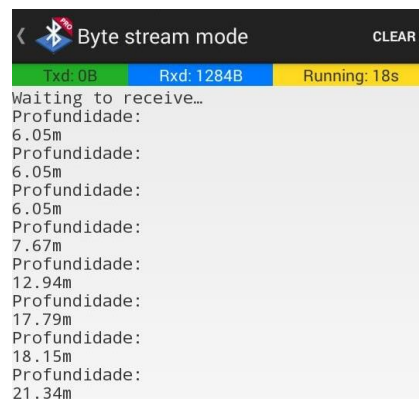


Figura 7. Aplicativo Bluetooth Spp Pro recebendo dados

4 Resultados e Discussão

Para a realização dos testes, com destaque, duas situações foram criadas no protótipo de barragem em escala reduzida, as quais podem acontecer em represas reais.

Dentre as várias simulações realizadas, a primeira situação do sistema teve como entrada no sensor ultrassônico, responsável por informar a profundidade da barragem, aproximadamente 50 centímetros. Porém, como o sensor foi colocado na

parte superior da barragem, medindo, assim, a altura que não contém água, com esta profundidade no leitor, a barragem estava com 10 centímetros de água. Esta inversão é tratada adequadamente via *software*. Na segunda entrada do sistema, decidiu-se não acionar água no sensor, logo, a leitura do sensor de índice de chuva foi zero. Com essas duas entradas passando por todos os processos da aplicação em questão e utilizando a lógica fuzzy, a saída no *display* deveria ser o estado “Economizar água”, visto que a barragem estava com uma profundidade pequena e não havia chuva naquele momento. A resposta desta simulação resultou conforme o esperado e está representada na Figura 8.

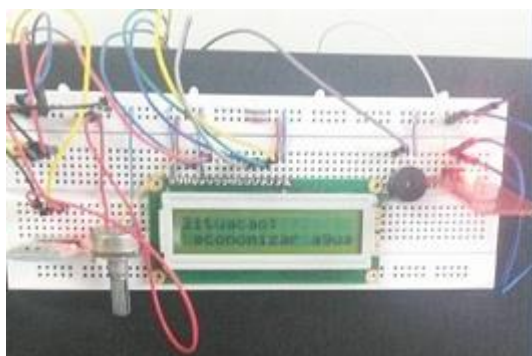


Figura 8. Display informando o estado da barragem “economizar água”

A segunda situação simulada foi um caso de extrema emergência. O sensor ultrassônico teve uma entrada de aproximadamente 10 centímetros, ou seja, 50 centímetros de água na barragem, e a entrada do índice de chuva foi colocada em seu valor máximo, de acordo com o valor máximo mapeado pelo sensor, aproximadamente 700 mililitros. A partir destas entradas, esperava-se que o sistema entrasse em estado de emergência, alertando a população local que a situação da barragem estava em perigo, através do *outdoor* eletrônico e de um *buzzer*, o qual emitia continuamente sinais sonoros. A saída do sistema fuzzy foi o estado “Perigo” (Msg4), o que comprova que este sistema de controle resultou o esperado, visto que a barragem estava com uma profundidade extremamente alta e também havia muita chuva naquele momento. A resposta desta simulação está representada na Figura 9.

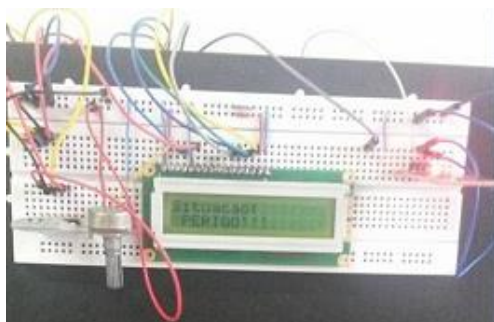


Figura 9. Display informando o estado da barragem “perigo”

As entradas da segunda situação provocariam um possível estouro na represa, trazendo riscos para a comunidade. Assim, esta resposta de perigo começou a ser exibida a partir do momento em que o nível de água na barragem atingia 40 cm, pois após testes consecutivos inferiu-se que havia o rompimento da barragem em 50 cm, fornecendo tempo para a população se retirar do local. Em ambas as simulações um dispositivo móvel estava recebendo o nível de água retido na barragem para avisar o responsável pela segurança na represa.

A tecnologia resultante de lógica fuzzy vem concebendo aplicações e produtos em diversas áreas. Como as ações são modeladas através de conhecimento especialista, tem-se uma abordagem diferente dos métodos convencionais de controle de processos, onde os mesmos são desenvolvidos via modelagem matemática dos processos de modo a derivar as ações de controle como função do estado do processo (Gomide et al., 1994). Para o controle do problema proposto neste artigo, pode-se afirmar que a utilização da teoria de conjuntos fuzzy e de lógica fuzzy apresentaram resultados bastante satisfatórios.

5 Conclusão

Este trabalho teve como objetivo apresentar o desenvolvimento de uma aplicação relacionada à teoria de lógica fuzzy em problemas ambientais, particularmente sobre o monitoramento das condições de segurança de barragens. A partir dos testes realizados com o protótipo criado, foram mapeadas diferentes condições do nível de água contido e o índice pluviométrico.

O mapeamento numérico dos sensores permitiu a determinação dos dados iniciais e posteriormente a transformação para variáveis linguísticas. Depois de estabelecidas as condições da represa, no sistema que simulou uma barragem, foi possível reproduzir diferentes níveis no reservatório, associando diferentes leituras dos sensores.

Com base nos dados obtidos e nas análises de estabilidade foram definidas 4 categorias de saída do sistema. Sendo assim, os resultados, obtidos por meio dos testes, mostraram que é possível o desenvolvimento de um sistema embarcado que determine, com certo grau de precisão, a ocorrência de prováveis situações perigosas em represas e uma forma simultânea de envio destas informações para a população, com a finalidade de alertar antecipadamente os mesmos em casos de desastres ambientais.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Universidade Federal de Santa Catarina, em especial aos professores Anderson Luiz Fernandes Perez e Giuliano Arns Rampinelli e colegas Gabriel Ganzer, Joice Preuss e Heron Pereira.

Referências Bibliográficas

- Gomide, A. C. e Gudwin, R. R. (1994). Modelagem, Controle, Sistemas e Lógica Fuzzy. SBA Controle & Automação, Vol.4, No. 3.
- Lee, C. C. (1994). Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller – Part I. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. Vol.20, No. 2, pp. 404- 418.
- Ortega, S. N. (2001). Aplicação da Teoria de Conjuntos Fuzzy a Problemas da Biomedicina. Dissertação – Instituto de Física, USP, São Paulo – SP.
- Tanscheit, R. (1983). Sistemas Fuzzy. DEE-PUC-Rio, Rio de Janeiro - RJ.
- Veloso, L. A., Souza, R. M., Bichara, J. W. e Luz, G. M. (2007). Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico (P&D) para a Automação da Instrumentação das Obras Civas da Uhe Tucuruí. XXVII Seminário Nacional de Grandes Barragens, Belém – PA.
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy Sets. Information and Control, Vol.8, pp. 338- 353.