



16, 17 e 18 de setembro de 2014
Hotel Maksoud Plaza
São Paulo – SP

SISTEMA ESPECIALISTA PARA OPERAÇÃO DE ELEVATÓRIAS EM ABASTECIMENTO DE ÁGUA URBANA

EXPERT SYSTEM FOR OPERATION OF PUMPING STATIONS IN URBAN WATER SUPPLY

David M. S. Rosa 1; Jéssika M. Fujimura 1; Graziela S. Mendes 1; Welitom T. P. da Silva 1

1 Universidade Federal de Mato Grosso, david_maycom@hotmail.com

Palavras-Chave: otimização; operação reservatórios, aprendizado de máquina

Key Words: optimization; reservoir operation, machine learning

1. INTRODUÇÃO

O gerenciamento de sistemas de abastecimento de água (SAA), de modo geral, é uma tarefa bastante complexa e a responsabilidade do gerenciamento depende primariamente dos operadores do SAA (Susuki e Silva, 2011). Algumas das atividades no SAA podem ser realizadas automaticamente, no entanto os operadores tomam a maioria das decisões usando sua intuição e experiência para decidir qual a ação mais adequada para cada momento (León *et al.*, 2000). Isto é especialmente válido para a operação de estações elevatórias e reservatórios em SAA. Algumas dessas decisões incluem que bomba ligar, por quanto tempo a bomba deve permanecer ligada, qual o reservatório e por quanto tempo deve ser abastecido, entre outras. A decisão errônea do operador poderá implicar em falta de água, reclamações da população, rompimento de tubulações, perdas de água, entre outros.

Para solução desse problema a utilização do processo de otimização baseado em modelos matemáticos pode ser uma opção (Susuki e Silva, 2011). No entanto, estes modelos necessitam de uma grande variabilidade de situações no SAA, exigindo grande quantidade de dados e elevado tempo de processamento computacional, sendo estas as principais dificuldades da adoção dessa alternativa (Susuki e Silva, 2011). Assim uma abordagem alternativa seria a utilização de sistemas especialistas, que tem sido usado satisfatoriamente para solução de problemas similares. Alguns exemplos são registrados na literatura, entre eles: León (2000); Cheng *et al.* (2003); Tillman *et al.* (2005); Liao (2005); Athanasiadis *et al.* (2005); Patlitzianas *et al.* (2008) e Susuki e Silva (2011). O presente estudo descreve o desenvolvimento de um SE denominado de EXPERT-AU1 (sistema especialista para operação de sistema de abastecimento de água urbana). O sistema deverá auxiliar

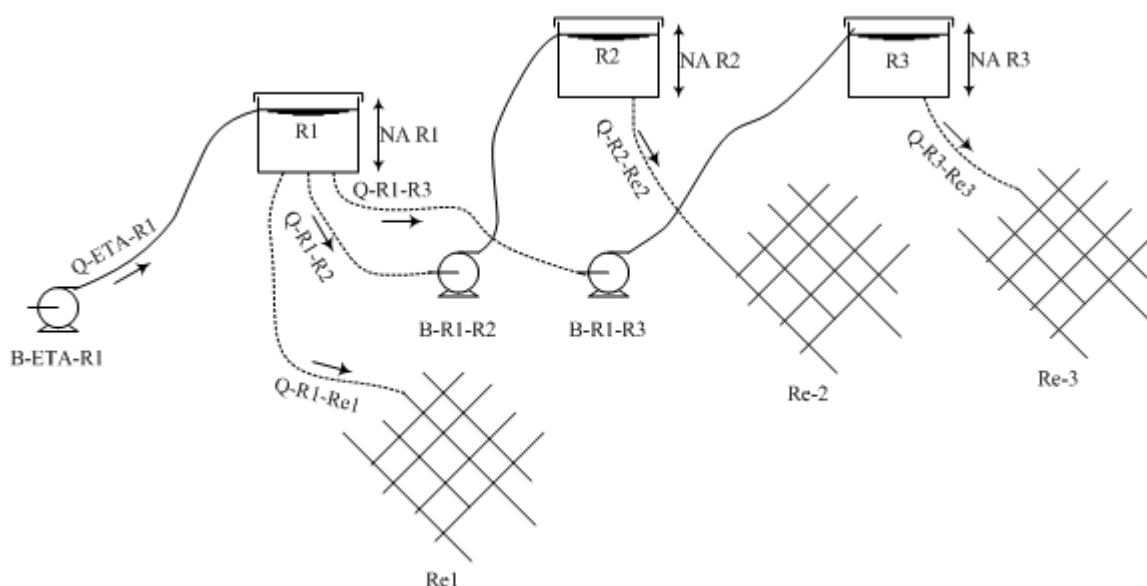
operadores de SAA em suas atividades de tomada de decisão acerca de que bomba ligar e por quanto tempo a mesma deve permanecer ligada.

2. MATERIAL E MÉTODOS

As seguintes etapas compõem a metodologia dessa pesquisa: (1) revisão de literatura; (2) desenvolvimento de modelo simulado de abastecimento de água urbana (MS-AAU); (3) obtenção do domínio do conhecimento; (4) desenvolvimento do protótipo de sistema especialista; e, (5) avaliação do protótipo desenvolvido. Maiores detalhes acerca das etapas da metodologia serão apresentadas no artigo completo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A revisão de literatura indicou a adoção de técnicas de inteligência artificial, em especial sistemas especialistas, tem grande aplicabilidade no setor de saneamento e tem despertado o interesse da área acadêmica e industrial. O MS-AAU, formulado a partir do conhecimento considerou a existência a necessidade de atendimento a uma população de 14.700 habitantes, com consumo *per capita* de $150 \text{ L} \cdot (\text{s} \cdot \text{dia})^{-1}$, a existência de três reservatórios interligados e três conjuntos motor-bomba para cada reservatório e o abastecimento de três redes com populações de 1.700 (rede 1), 10.200 (rede 2) e 2.800 habitantes (rede 3). A Figura 1 apresenta um fluxograma MS-AAU.



B-ETA-R1: bomba da ETA para reservatório 1; B-R1-R2: bomba reservatório 1 para reservatório 2; B-R1-R3: bomba reservatório 1 para reservatório 2; R1: reservatório 1; R2: reservatório 2; R3: reservatório 3; Re1: rede de abastecimento de água 1; Re2: rede de abastecimento de água 2; Re3: rede de abastecimento de água 3; NA R1: nível de água reservatório 1; NA R2: nível de água reservatório 2; NA R3: nível de água reservatório 3

Figura 1. Modelo simulado de abastecimento de água urbana (MS-AAU)

O banco de dados (obtido a partir da modelagem matemática do MS-AAU e resolução do problema via minimização do custo de energia elétrica) utilizado para a obtenção do domínio de conhecimento considerou 480 linhas e 13 colunas, totalizando 6240 dados. Parte do banco de dados está apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Parte do domínio de conhecimento

h	TBeta	TBR1R2	TBR1R3	V eta	V R1R2	V R1R3	V rede1	V rede2	V rede3	NA R1	NA R2	NA R3
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	40,0	10,0
2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	40,0	10,0
3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	40,0	10,0
4	0,1	0,1	0,1	28,3	19,6	5,8	3,9	23,6	6,5	10,0	39,8	10,0
5	0,3	0,4	0,3	84,9	78,5	17,5	15,3	91,9	25,2	9,5	39,3	9,8
6	0,7	0,7	0,3	198,1	137,4	17,5	28,3	169,6	46,6	9,8	38,0	9,3

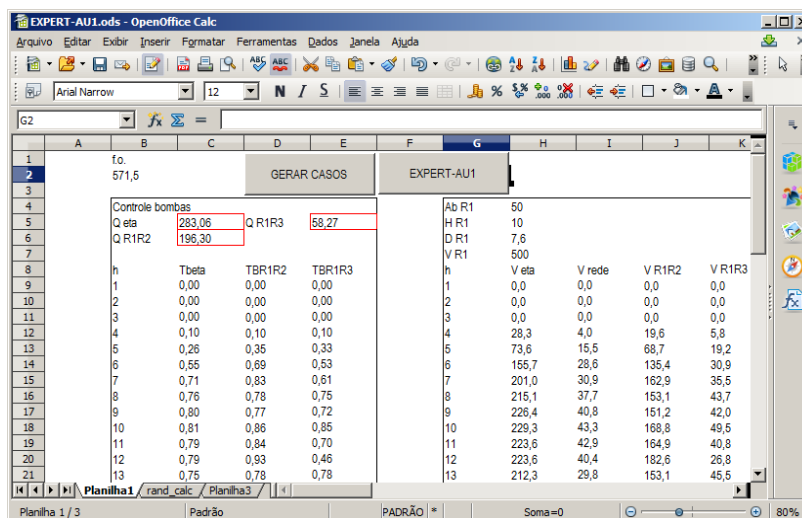
h: hora do dia (h); TBeta: tempo de funcionamento da bomba B-ETA-R1 (fração de hora, 0 até 1); TBR1R2: tempo de funcionamento da bomba B-R1-R2 (fração de hora, 0 até 1); TBR1R3: tempo de funcionamento da bomba B-R1-R3 (fração de hora, 0 até 1); V eta: volume recalcado da ETA para R1 (m³); V R1R2: volume recalcado de R1 para R2 (m³); V R1R3: volume recalcado de R1 para R3 (m³); V rede1: volume recalcado para rede 1 (m³); V rede2: volume recalcado para rede 2 (m³); V rede3: volume recalcado para rede 3 (m³); NA R1: nível de água do reservatório 1 (m); NA R2: nível de água do reservatório 2 (m); NA R3: nível de água do reservatório 3 (m)

O domínio de conhecimento foi obtido a partir da aplicação da técnica de aprendizado de máquina, método REPTree, disponível no software Weka (Waikato Environment for Knowledge Analysis). O domínio de conhecimento consiste em, aproximadamente, 120 regras, sendo parte dessas regras apresentadas na Figura 2(a). O protótipo do sistema especialista, EXPERT-AU1, foi implementado via ambiente OpenOffice Calc (linguagem de programação Basic) e uma interface de trabalho é apresentada na Figura 2(b). A resposta que o EXPERT-AU1 apresentará é o tempo que os conjuntos motor-bombas (B-ETA-R1; B-R1-R2; B-R1-R3) deverão funcionar, apresentando o mínimo custo operacional e manutenção de cotas mínimas nos reservatórios.

```

h = 1 : 0
h = 2 : 0
h = 3 : 0
h = 4 : 0.1
h = 5 : 0.26
h = 6 : 0.55
h = 7 : 0.71
h = 8
| NAR1 < 8.95
| | NAR2 < 36.35 : 0.9
| | NAR2 >= 36.35 : 0.76
| NAR1 >= 8.95 : 0.34
h = 9
| NAR3 < 9.25
| | Vrede1 < 39.9 : 0.8
| | Vrede1 >= 39.9 : 0.95
| NAR3 >= 9.25 : 0.58
h = 10 : 0.81
h = 11 : 0.79

```



(a)

(b)

Figura 2.(a) Parte do domínio de conhecimento obtido; (b) tela de trabalho do EXPERT-AU1



16, 17 e 18 de setembro de 2014
Hotel Maksoud Plaza
São Paulo – SP

A avaliação do protótipo desenvolvido (realizada mediante a simulação de variadas situações operacionais) indicou que o protótipo desenvolvido pode ainda ser melhorado e que o protótipo pode ser aplicado em situações reais, após a realização de adaptações e calibração do modelo. Maiores detalhes acerca dos resultados serão apresentadas no artigo completo.

4. CONCLUSÃO

Um sistema especialista, cujo objetivo foi auxiliar na definição do tempo de funcionamento de um conjunto de motor-bombas, em um modelo simulado de abastecimento de água urbana foi desenvolvido. O modelo pode ser aprimorado e aplicado em situações reais, após a realização de adaptações e calibração do modelo. Sugere-se a continuidade dos estudos, agora em um caso real.

REFERÊNCIAS

- ATHANASIADIS, I. N.; MENTES, A. K.; MITKAS, P. A.; MYLOPOULOS, Y. A. A hybrid agent-based model for estimating residential water demand. *Simulation*, v.81, n.3, p. 175–187, 2005.
- CHENG, H.; YANG, Z.; CHAN, C. W. An expert system for decision support of municipal water pollution control. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, v.16, p. 159–166, 2003.
- LEÓN, C.; MARTÍN, S.; ELENA, J. M.; LUQUE, J. EXPLORE – Hybrid expert system for water networks management. *Journal of Water Resources Planning and Management*. v.126, n.2, p. 65–74, 2000.
- LIAO, S. H. Expert system methodology and applications – a decade review from 1995 to 2004. *Expert Systems with Applications*, v.28, p. 93–103, 2005.
- PATLITZIANAS, K. D.; PAPPAS, A.; PSARRAS, J. An information decision support system towards the formulation of a modern energy companies' environment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.12, p. 790–806, 2008.
- SUSUKI, R.H.; SILVA, W.T.P. (2011). Sistema especialista para a operação de sistema de abastecimento de água. XXXIII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental (AIDIS). Salvador, BA.
- TILLMAN, D. E.; LARSEN, T. A.; PAHL-WOSTL, C.; GUJER, W. Simulating development strategies for water supply. *Journal Hydroinformatics*, v.7, n.1, p. 41–51, 2005.