

Análise da operação de um subsistema do sistema de abastecimento de água de Campina Grande-PB

Kennedy Flávio Meira de Lucena ^[1], Fábio Gomes do Nascimento ^[2]

[1] kennedy.lucena@ifpb.edu.br. [2] fabiog579@gmail.com. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – IFPB, Campus Campina Grande.

RESUMO

Os sistemas de abastecimento de água representam um dos principais integrantes da infraestrutura dos municípios. A operação desses sistemas é uma tarefa complexa em função das diversas variáveis que interferem na dinâmica da distribuição de água. O objetivo do trabalho foi obter um diagnóstico da operação de parte do sistema de abastecimento de água de Campina Grande e encontrar as principais limitações e potencialidades da infraestrutura do sistema. O sistema fornece água para vários municípios, atendendo uma população urbana e rural superior a 500 mil habitantes. Para realização do diagnóstico operacional, foi utilizada a modelagem hidráulica, através do simulador Epanet 2. A operação foi modelada desde a estação de tratamento de água até a zona de pressão 2 do sistema de Campina Grande. Foram realizados levantamentos cadastrais da rede hidráulica, levantamentos de campo e entrevistas com os operadores. Com base nos cenários analisados, permitiu-se concluir que a zona 2 do sistema abastecimento tem pouca margem para aumento de demanda, em torno de 10%, que o sistema não consegue trabalhar fora do horário de ponta e que o custo energético é gerado principalmente pela estação de tratamento de água. Para uma melhoria da operação e redução da vulnerabilidade são necessários investimentos na estrutura física do sistema e em monitoramento e automação.

Palavras-chave: Saneamento. Simulação hidráulica. Epanet. Abastecimento d'água.

ABSTRACT

Water supply systems represent one of the main components of municipal infrastructure. The operation of these systems is a complex task due to the several variables that interfere with the water distribution dynamics. The objective of the work was to obtain a diagnosis of the operation of part of the water supply system of Campina Grande and to find the main limitations and potentialities of the system infrastructure. The system supplies water to several municipalities, serving an urban and a rural population of more than 500,000 inhabitants. For the operational diagnosis, hydraulic modeling was done using the Epanet 2 simulator. The operation was modeled from the water treatment plant to the pressure zone 2 of the Campina Grande system. Cadastral surveys of the water network were carried out, field surveys and interviews with the operators. Based on the scenarios analyzed it was possible to conclude that zone 2 of the supply system has little margin for increase demand, around 10%, that the system can not work outside the peak hours and the energy cost is mainly generated by the station of water treatment. In order to improve the vulnerability reduction operation, investments are required in the physical structure of the system and in monitoring and automation.

Keywords: Sanitation. Hydraulic simulation. Epanet. Water supply.

1 Introdução

Entre os grandes consumidores de água, os sistemas de abastecimento de água têm como principal objetivo o fornecimento de água à sociedade, garantindo que o consumidor tenha atendidas suas necessidades básicas, mas de forma contínua, na quantidade e na qualidade desejadas, com confiabilidade e segurança operacional e ambiental.

As crescentes demandas por água para os diversos usos têm gerado, em muitas localidades, conflitos e a necessidade de políticas para o melhor gerenciamento dos recursos hídricos. Os problemas hídricos no país não se limitam à questão de disponibilidade e de qualidade da água apenas, mas estão fortemente relacionados ao uso irracional e indiscriminado deste recurso.

Na maioria dos sistemas de abastecimento de água (SAA) do país o controle da operação ainda é realizado de forma manual ou com baixíssimo nível de automação. Nesses sistemas, os operadores tomam suas decisões baseados em suas próprias intuições e experiências, visando atender à demanda requerida e às restrições operacionais, com pouca ênfase na otimização da operação. Uma condição essencial para que se obtenha êxito na operação, é que se conheça bem o sistema, pois, através deste conhecimento e de posse de ferramentas como modelos de simulação hidráulica, otimização e definição de regras, é possível fornecer ao operador condições de operacionalidade das unidades do sistema de forma racional, não dependendo exclusivamente de sua experiência pessoal, mantendo sua confiabilidade (CARRIJO, 2004).

São muitos os benefícios proporcionados pela otimização da operação, entre eles: a gestão adequada da demanda, que pode diminuir a vazão requerida e contribuir para a preservação dos mananciais; atendimento contínuo à demanda em quantidade e qualidade; a regularização do comportamento das pressões nos sistemas, proporcionando a diminuição das perdas físicas por vazamento ou rompimento de tubulações e evitando os transtornos provocados ao meio ambiente por escavações e interrupções de ruas; redução das perdas físicas, aumentando a oferta e diminuindo a demanda, o que consequentemente reduz o consumo de substâncias químicas utilizadas no seu tratamento, a energia necessária para a sua adução e o preço final da água ao consumidor; diminuição dos custos com bombeamento, manutenção de equipamentos e tubulações (LACERDA, 2009). Na

distribuição dos volumes estocados nos principais reservatórios de água do planeta, verifica-se que 97,5% do volume total de água são de água salgada, formando os oceanos, e somente 2,5% são de água doce. A maior parte dessa água doce (68,7%) está armazenada nas calotas polares e geleiras. No entanto, apenas uma pequena parte desses recursos hídricos está acessível ao uso humano e de ecossistemas: é a água doce contida em lagos e rios, o que corresponde a apenas 0,27% do volume de água doce da Terra e cerca de 0,007% do volume total de água (SETTI; LIMA; MIRANDA, 2000).

De acordo com Setti, Lima e Miranda (2000), os principais consumidores de águas doces são as companhias de abastecimento das cidades, com cerca de 18% de captação, e o setor agrícola, responsável por cerca de 72,5% da água captada no Brasil.

Infelizmente, estima-se que no Brasil o desperdício de água pode chegar a 45% do volume ofertado à população, o que representa cerca de 3,78 bilhões de metros cúbicos de água por ano. Assim, com uma redução de 20 % nas perdas, representando uma perda de cerca de 2,1 km³/ano de água, poderiam ser economizados aproximadamente de R\$ 1,02 bilhão por ano deste recurso, que poderia estar sendo utilizado para a expansão e a melhoria da rede atual (SETTI; LIMA; MIRANDA, 2000).

A ausência ou a má gestão das políticas de desenvolvimento urbano não têm dado a devida importância ao problema do crescimento das cidades e o setor de abastecimento de água. Isso tem trazido, como consequências, a expansão não planejada dos sistemas de abastecimento de água e ocasionado uma sobrecarga substancial nas demandas de água, não previstas nos projetos originais, causando a saturação dos sistemas e comprometendo a qualidade do serviço de abastecimento de água à população.

Os sistemas de abastecimento de água apresentam grandes variações de demandas, o que lhes conferem maior complexidade no dimensionamento e na sua operação. A falta de monitoramento e o descontrole no crescimento do sistema têm implicado em maior desconhecimento das demandas e, consequentemente, em enormes dificuldades operacionais.

Outro aspecto de grande relevância na operação dos sistemas de abastecimento de água é o elevado custo energético. Assim, o aumento da eficiência operacional do sistema implica na redução de perdas físicas e na redução do gasto energético, consequência da redução da demanda de água.

Carrijo (2004 *apud* Lacerda, 2009) afirma que a operação de um sistema de abastecimento de água não pode ser entendida apenas como uma mera sequência de comandos exercidos sobre os equipamentos que têm como objetivo o atendimento da demanda. Na realidade, o problema é muito mais amplo e complexo, envolvendo aspectos de planejamento, controle e supervisão, serviços de infraestrutura de apoio e de atendimento ao usuário, todos considerados simultaneamente e interdependentes entre si. A saturação do sistema, a ampliação desordenada, a falta de manutenção adequada, o envelhecimento, o alto nível de incertezas e o mau gerenciamento operacional são os principais responsáveis pela criação de gargalos operacionais, tornando os serviços públicos de abastecimento de água pouco eficientes.

O sistema de abastecimento de água de Campina Grande-PB é suprido pelo açude Epitácio Pessoa (Boqueirão), que tem registrado, nos últimos anos, a sua pior crise em função da escassez hídrica no Nordeste, atingindo os menores níveis da sua história. O sistema é operado pela Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (Cagepa), que tem enfrentado, além da crise hídrica, os problemas de perdas no sistema e a complexidade de operar racionando água.

Campina Grande tem vivenciado, nos últimos anos, uma acelerada expansão de edifícios verticalizados e uma concentração populacional em alguns setores da cidade. Como forma de melhorar a qualidade de sua operação, a Cagepa tem investido na automação da rede e no treinamento da equipe operacional.

Os aspectos elencados têm levado a comunidade técnico-científica a procurar soluções para a melhoria da operação dos sistemas de abastecimento de água, através das diversas técnicas computacionais. Nesse sentido, vários estudos têm dado ênfase ao uso e aperfeiçoamento dos simuladores hidráulicos e à otimização desses sistemas, desenvolvendo-se, para tanto, modelos de programação linear (VICENTE, 2005), programação não linear (GOMES, 2009; LUCENA, 2012), programação dinâmica (LANSEY; AWUMAH 1994) e algoritmos genéticos (CARRIJO, 2004). Esses modelos têm como objetivos primários: atendimento das demandas requeridas e restrições operacionais, redução do custo da operação, melhoria do escalonamento das bombas e redução dos custos de manutenção, picos de potência e vazamentos.

2 Material e métodos

Este trabalho consiste em um estudo de caso no qual se buscará, através de um modelo de simulação hidráulica, o conhecimento da operação do sistema de abastecimento de Campina Grande-PB (SACG), para subsidiar a melhoria da sua operação.

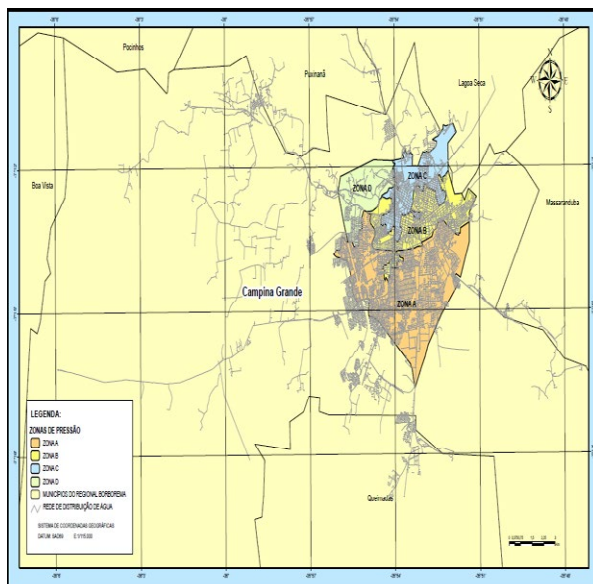
Atualmente, o SACG atende a diversas localidades em função da deficiência hídrica dos municípios vizinhos. Na Tabela 1, tem-se dados referentes às localidades atendidas através do SACG.

Dada a amplitude e complexidade do sistema que é formado por tubulações de diversos materiais com diferentes tempos de uso, por reservatórios em vários pontos em função do relevo acidentado e por malhas e ramificações de tubulações, a Cagepa dividiu a rede em zonas de pressão na busca de um melhor controle das pressões e, conseqüentemente, da operação (Figura 1). No entanto, devido ao crescimento da rede e às suas particularidades, o equilíbrio das pressões não é um processo trivial e exige um maior entendimento do funcionamento do sistema.

Tabela 1 – Localidades e população atendidas pelo SACG

Localidade	População (hab)	
	Urbana	Rural
Campina Grande	367.278	17.998
Alagoa Nova	9.922	9.797
Barra de Santana	4.059	731
Caturité	1.025	3.521
Galante	Incluído em Campina Grande	
Lagoa Seca	10.585	15.326
Matinhas	682	3.634
Pocinhos	9.615	7.404
Queimadas	22.249	18.805
São Sebastião de Lagoa de Roça	4.659	6.382
Total	430.074	83.598

Fonte: Meneses (2011)

Figura 1 – Zonas de pressão do SACG

Fonte: Meneses (2011)

Para realização da modelagem, foram necessários estudos sobre a rede de distribuição, obtenção de informações com operadores do sistema e análise do modelo de simulação hidráulica utilizado. Foram as seguintes etapas deste trabalho:

- I) Descrição do cadastro da rede do SAA estudada (dados sobre tubulações, reservatórios, válvulas, bombas, consumo de energia etc);
- II) Seleção da parte do sistema a ser modelado;
- III) Diagnóstico da operação (obtenção de dados reais da operação com os operadores);
- IV) Modelagem hidráulica do sistema;
- V) Avaliação técnica das simulações realizadas;
- VI) Obtenção de regras operacionais do SAA.

Foram simulados cenários operacionais para análise do sistema de abastecimento utilizando o simulador Epanet 2 (ROSSMAN, 2002), que tem consolidada aceitabilidade no meio técnico e científico.

3 Resultados e discussão

O processo de simulação do sistema exige o ajuste de inúmeros parâmetros para que se reproduza com mais certeza os processos físicos. Com o sistema bem representado, a simulação deve reproduzir com fidelidade sua operação real.

Após um processo intenso de busca de informações do sistema através de dados cadastrais, visitas de campo e entrevistas com os operadores da Cagepa, foi possível obter uma representação confiável das zonas B, C e D do sistema de abastecimento de Campina Grande, que foi denominada, neste trabalho, de zona 2.

O estudo inicial foi realizado com o objetivo de simular a operação atual do sistema, para que, a partir daí, fossem identificadas suas possíveis falhas, limitações e também suas potencialidades.

Resultados das simulações

- Cenário 1: operação atual do SACG

As simulações foram realizadas tomando-se como base as informações operacionais dos controladores da rede. Um dos requisitos exigidos nas simulações foi a recuperação dos níveis dos reservatórios no final do ciclo operacional de 24h. Os principais aspectos observados foram, portanto, a variação dos níveis dos reservatórios, o chaveamento das bombas (liga/desliga), os custos com energia elétrica e as restrições de velocidades nas tubulações.

Nas Figuras 2 a 11 pode-se observar o comportamento do sistema para a operação realizada atualmente.

O reservatório R-04 é o principal fornecedor de água para as zonas estudadas. Pode-se verificar que entre as 11h30 e 15h seu nível chega ao limite mínimo de segurança. No entanto, a operação consegue recuperar o nível inicial do reservatório (Figura 2). Já o R-05 tem forte queda de nível no horário de ponta em função do desligamento de bomba, mas também é possível recuperar seu nível inicial, garantindo segurança operacional (Figuras 3 e 6). Observa-se que só é possível o desligamento de uma bomba no R-05.

Em função das variações de demandas das diversas áreas da cidade e das manobras operacionais, os reservatórios têm comportamentos bem distintos.

Na Figura 11 tem-se a taxa de utilização das bombas e o custo do bombeamento por cada conjunto elevatório. Para operação atual, tem-se um custo diário de R\$ 10.418,15 com o consumo de energia; não foi considerado o custo da demanda elétrica. As bombas que levam água da ETA ao R-05 são as de maior potência e são as principais responsáveis pelo consumo de energia. O sistema entra em colapso caso sejam desligados os conjuntos no horário de ponta. Assim, só se consegue desligar um dos conjuntos (Figura 7).

Figura 2 – Variação do nível no R-04



Figura 7 – Operação das bombas no R-05 (CMB-02)

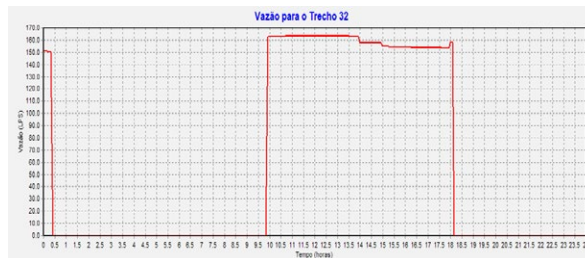


Figura 3 – Variação do nível no R-05

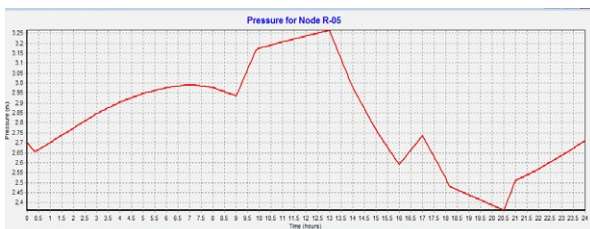


Figura 8 – Operação das bombas no R-05 (CMB-03)



Figura 4 – Operação das bombas no RLS

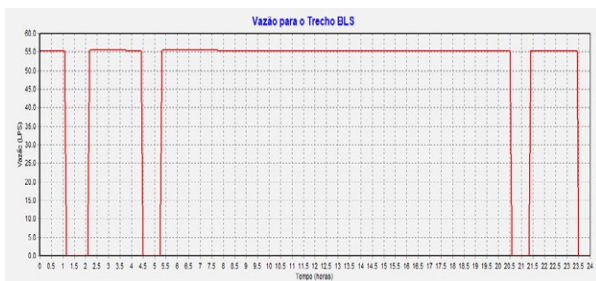


Figura 9 – Operação das bombas em Gravatá (B1-700)



Figura 5 – Operação das bombas no RTV

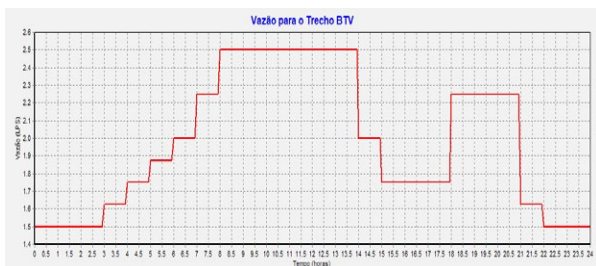


Figura 10 – Operação das bombas em Gravatá (B2-700)



Figura 6 – Operação das bombas no R-05 (CMB-01)

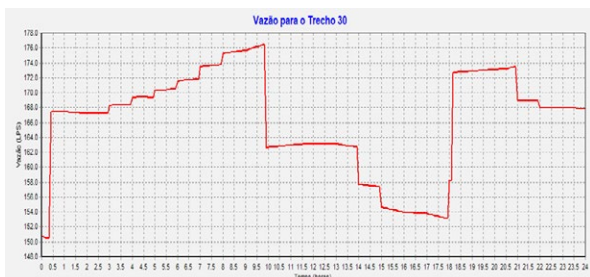


Figura 11 – Utilização das bombas e custo de bombeamento

Bomba	Porcentagem Utilização	Rendimento Médio	kWh /m3	kW Médio	kW Máximo	Custo /dia
30	100.00	75.00	0.16	93.33	96.99	551.74
31	100.00	75.00	0.16	93.32	96.99	551.66
32	35.76	75.00	0.17	95.23	96.97	201.65
33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
B1-700	85.42	75.00	0.69	636.17	637.22	3000.96
B2-700	100.00	75.00	0.67	906.24	913.57	5341.27
BC	18.40	75.00	0.46	138.39	145.41	140.65
BLS	86.35	75.00	0.61	121.80	123.07	628.63
BTV	100.00	75.00	0.04	0.29	0.33	1.69
Custo Total						10418.15
Tarifa de Consumo Máx						0.00

Figura 12 – Variação do nível no R-04



Figura 13 – Variação do nível no R-05



- Cenário 2: operação do SACG considerando o aumento máximo de demanda por reservatório

Na Tabela 2 estão os dados das demandas atualmente operacionalizadas do sistema e os aumentos máximos nas demandas possíveis para cada ponto de consumo. Nesse cenário, simulou-se o aumento máximo por nó de consumo, mantendo-se os demais sem elevação. Ao final da simulação, os níveis finais dos reservatórios foram recuperados no ciclo de 24h (Figuras 12 e 13).

Pode-se observar que para as áreas (nós) de menor demanda foi possível aumentos de até 80%. No entanto, nas áreas com grande consumo – município de Lagoa Seca, Centro e Bodocongó –, os aumentos são muito limitados, chegando a ser nulo para área do Centro abastecida pelo R-05.

Tabela 2 – Demandas atuais e aumentos simulados por nó da rede

R-04	Atual (L/s)	Aumento (L/s)	(%)
Cuités	50	60	20
Lagoa seca	60	64	6,7
Jeremias	20	22	10
Centro	150	185	23
Jd. Continental	2,5	4.5	80
R-05			
Centro	240	0,0	0
Bodocongó	120	123	2,5

A área central da cidade é a mais crítica em termo de crescimento da demanda: a partir do R - 04 é possível um aumento de até 23%, no entanto, a partir do R - 05 nenhum aumento é permitido. A área de bairro Bodocongó também é crítica e permite apenas 2,5% de aumento. Ou seja, as três maiores demandas são as mais complexas de serem ampliadas. Praticamente todos os reservatórios recuperaram os seus níveis iniciais ao final do período simulado. Comparando com os níveis iniciais, houve uma pequena diferença dentro de uma margem de tolerância de mais ou menos 10 cm.

Figura 14 – Utilização das bombas e custo de bombeamento com aumento de demanda

Bomba	Porcentagem Utilização	Rendimento Médio	kWh /m3	kW Médio	kW Máximo	Custo /dia
30	100.00	75.00	0.16	94.35	96.99	558.24
31	100.00	75.00	0.16	94.34	96.99	558.18
32	65.28	75.00	0.17	94.86	96.97	379.17
33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
B1-700	85.42	75.00	0.69	634.80	637.34	2994.36
B2-700	100.00	75.00	0.67	904.85	913.76	5334.38
BC	23.26	75.00	0.46	138.35	143.70	177.75
BLS	91.67	75.00	0.61	122.33	123.07	667.06
BTV	100.00	75.00	0.02	0.27	0.34	1.59
Custo Total						10670.74
Tarifa de Consumo Máx						0.00

O aumento de demanda máximo por nó da rede resultou num aumento total de 8,7% (de 642,5 L/s para 698,5 L/s). Esse aumento implicaria num aumento de custo com energia elétrica de 2,42% em comparação com o cenário atual, conforme Tabela 3.

Tabela 3 - Aumento de energia com aumento de demanda por nó da rede

custo diário atual (R\$)	custo c/ aumento demanda (R\$)	aumento de custo (R\$)	aumento (%)
10.418,15	10.670,74	252,60	2,42

- Cenário 3: operação com o aumento de demanda geral no sistema (zona 02)

Nesse cenário, avaliou-se o aumento por igual das demandas do sistema, considerando-se a hipótese de um crescimento por igual de toda a cidade. O sistema sofreu um aumento de demanda de 10%. Acima dessa porcentagem, o sistema não suporta. Na Tabela 4, têm-se os aumentos de demandas em comparação com o cenário atual. Essa realidade demonstra que o sistema trabalha muito próximo ao seu limite e que medidas para ampliação de sua capacidade devem ser planejadas sob pena de prejudicar o fornecimento adequado.

Tabela 4 – Demandas atuais e aumento máximo em todos os nós da rede

R-04	Atual (L/s)	Aumento (L/s)	(%)
Cuités	50	55	10
Lagoa seca	60	66	10
Jeremias	20	22	10
Centro	150	165	10
Jd. Continental	2,5	2,75	10
R-05			
Centro	240	240	264
Bodocongó	120	120	136

As Figuras 15 e 16 apresentam os comportamentos dos dois principais reservatórios R-04 e R-05 com o aumento de demanda de 10% nas zonas estudadas.

Figura 15 – Variação do nível no R-04



Figura 16 – Variação do nível no R-05



A Tabela 5 apresenta o aumento no custo de energia elétrica relacionado ao aumento de demanda geral no sistema e em comparação com o custo atual. Assim como no cenário anterior, o aumento de energia não foi significativo porque o aumento de demanda não foi expressivo. Os conjuntos elevatórios tiveram o mesmo comportamento em termos de períodos de utilização (Figura 17).

Tabela 5 – Aumento de energia com aumento de demanda global da rede

custo diário atual (R\$)	custo c/ aumento demanda (R\$)	aumento de custo (R\$)	aumento (%)
10.418,15	10.660,26	242,60	2,33

Figura 17 – Utilização das bombas e custo de bombeamento com aumento de demanda

Bomba	Porcentagem Utilização	Rendimento Médio	kWh /m3	kWh Médio	kWh Máximo	Custo /dia
30	100,00	75,00	0,16	93,78	96,82	554,99
31	100,00	75,00	0,16	93,77	96,82	554,92
32	61,46	75,00	0,16	94,67	96,80	358,40
33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
B1-700	85,42	75,00	0,69	636,24	637,26	3001,16
B2-700	100,00	75,00	0,67	906,51	913,67	5343,30
BC	20,49	75,00	0,47	139,14	143,69	157,42
BLS	94,79	75,00	0,61	122,37	123,05	688,38
BTV	100,00	75,00	0,04	0,29	0,33	1,69
Custo Total						10660,26
Tarifa de Consumo Máx						0,00

A operação de sistemas de abastecimento é complexa e está sujeita a inúmeras incertezas. No sistema estudado existem dificuldades na obtenção de dados físicos da rede cruciais para o bom entendimento de seu comportamento, tais como os tipos de tubulações, as demandas e a topologia da rede. Embora já existam dados sendo monitorados de forma automática, em muitos setores importantes da rede não se tem dados em tempo real. Os resultados obtidos permitiram compreender melhor a operação do sistema na zona estudada. Uma característica importante do sistema é o fato de este estar muito dependente de dois reservatórios, o R-05 e o R-04. No caso do R-04 a operação é mais crítica, pois ele é responsável pelo abastecimento de parte de Campina Grande e outros municípios. O sistema tem pouca folga operacional, não permitindo o desligamento total das bombas no horário de ponta. Com relação à capacidade do sistema, pode-se constatar que é possível o crescimento da demanda em alguns setores da cidade, mas quando se tem um aumento global o sistema só permite atender um crescimento de até 10%.

4 Conclusões

A operação do sistema de abastecimento de Campina Grande é complexa em virtude de sua topologia e topografia e do desconhecimento de dados físicos e operacionais da rede. Foram obtidas informações importantes do sistema, que foi modelado na zona de pressão 2. Os resultados obtidos permitem afirmar que o sistema tem sua operação praticamente realizada de forma manual, ou seja, com baixíssimo nível de automação. O sistema tem pouca margem para aumentos de demandas e melhoria da operação. Há uma grande dependência dos dois reservatórios R-05 e R-04, o que em caso de falha operacional torna o sistema vulnerável a desabastecimento. O custo médio diário do bombeamento desde a estação de tratamento é da ordem de R\$ 10.448,15 no cenário atual de operação, sem incluir a demanda, sendo gerado principalmente pela adução ao R-05. A capacidade dos reservatórios não permite que as bombas sejam desligadas no horário de ponta, o que encarece a operação. O sistema necessita ser melhor conhecido e ter seu nível de monitoramento e automação aperfeiçoado para, conseqüentemente, ser menos dependente da decisão dos operadores.

REFERÊNCIAS

- CARRIJO, I. B. **Extração de regras operacionais ótimas de sistemas de distribuição de água através de algoritmos genéticos multiobjetivo e aprendizado de máquina**. 2004. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) –, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.
- GOMES, H. P. **Sistema de Abastecimento de Água: Dimensionamento Econômico e Operação de Redes e Elevatórias**. 2. ed. João Pessoa: Editora Universitária UFPB, 2009.
- LACERDA, I. S. **Regras de operação para sistemas de abastecimento de água com baixo nível de automação e sujeitos a incertezas**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.
- LANSEY, K.; AWUMAH, K. Optimal pump operations considering pump switches. **Journal of Water Res. Plan. and Management**, v. 120, n. 1, p. 17-35, 1994.
- LUCENA, K. F. M. EPANET-IRRIG: Aperfeiçoamento do EPANET para Aplicações em Sistemas de Irrigação. **Revista Principia**, João Pessoa, n. 20, p. 9-21, 2012.
- MENESES, R. A. **Diagnóstico operacional de sistemas de abastecimento de água: o caso de Campina Grande**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2011.
- ROSSMAN, L. A. **EPANET2 Users Manual**. U. S. Environmental Protection Agency. Cincinnati: 2002. 201p.
- SETTI, J. E.; LIMA, F. W.; MIRANDA, A. G. **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos**. 2. ed. Brasília: ANEEL, 2000. 207 p.
- VICENTE, R. V. **Modelo de operação para centros de controle de sistemas de abastecimento de água - estudo de caso: sistema adutor metropolitano de São Paulo**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.