



XI-017 – MODELAGEM DA RESERVAÇÃO ÚTIL PARA DESLOCAMENTO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO HORÁRIO DA PONTA

Marcus Paes Barreto⁽¹⁾

Engenheiro Civil e Sanitarista pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ. Pós-graduado em Engenharia Sanitária e Ambiental – UFRJ. Mestrando em Engenharia da Energia – UNIFEI. Gerente de Projetos do PROCEL SANEAR/ELETOBRÁS.

Paulo da Silva Capella

Engenheiro Mecânico pela Universidade Católica de Petrópolis – UCP. Mestrando em Engenharia da Energia – UNIFEI. Pesquisador e Gerente do Projeto de Eficiência Energética em Saneamento – CEPEL/GRUPO ELETOBRÁS.

Airton Sampaio Gomes

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Mato Grosso do Sul – UFMS, ex Diretor Técnico da Sanesul. Consultor técnico do CEPEL, atuando nas atividades técnicas de apoio ao PROCEL SANEAR da ELETOBRÁS.

Endereço⁽¹⁾: Centrais Elétricas Brasileiras S. A – ELETOBRÁS – Departamento de Desenvolvimento de Projetos Especiais – Av. Rio Branco, 53 / 15º andar – Centro – Rio de Janeiro – RJ – CEP: 20090-004 – Tel: (21) 2514-5468 – Fax: (21) 2514-5767 – e-mail: marcus.barreto@eletrobras.com

RESUMO

A ausência ou deficiência de controle operacional nos sistemas de bombeamento e reservação leva a que muitos destes sistemas sejam inevitavelmente mal operados, notadamente em relação ao consumo e demanda ineficientes de energia elétrica, mas também em relação a aspectos de manutenção corretiva e preventiva.

Em muitos sistemas é possível otimizar ou ampliar a reservação existente, permitindo que os bombeamentos sejam deslocados para fora do horário de ponta. Entretanto, a questão da reservação em sistemas públicos de abastecimento não é tão simples como poderia parecer à primeira vista, pois o funcionamento adequado da reservação em um sistema depende de uma boa operação e de um bom nível de controle operacional, condições estas que costumam faltar na maioria dos sistemas de abastecimento. Por exemplo, é indispensável conhecer com precisão as curvas de demanda da área abastecida pelo reservatório, o que implica medir continuamente a saída. Este já é um primeiro problema, pois frequentemente não se mede a saída dos reservatórios, geralmente os gestores só se preocupam em medir os volumes de entrada.

Com a possibilidade de utilizar recursos destinados ao fomento da eficiência energética muitos prestadores de serviços dedicaram-se a construir reservatórios para tirar os sistemas de bombeamento do horário da ponta do sistema de fornecimento da energia elétrica, porém sem uma análise adequada das causas e a compreensão necessária de como as coisas funcionam.

Há pouca bibliografia discutindo esta questão. Para contribuir para suprir esta lacuna, este trabalho procura fornecer uma base conceitual para a análise dos sistemas de bombeamento e reservação e apresenta um modelo singular, em planilha eletrônica, onde opções econômicas podem ser modeladas.

PALAVRAS-CHAVE: Eficiência Energética, Modelagem, Reservação, Horário da Ponta, Bombeamento.

INTRODUÇÃO

Reservatórios em sistemas de abastecimento de água são normalmente dimensionados para atender as variações de consumo horário, combater incêndios ou prover o sistema distribuidor no caso de panes e interrupções no sistema produtor e adutor. No entanto, o que notamos na imensa maioria dos projetos é que o gasto com energia elétrica não é devidamente computado, ou até mesmo considerado, nas bases de cálculo dos sistemas de abastecimento de água.

O uso indiscriminado de energia elétrica no bombeamento muitas vezes é atribuído ao mau dimensionamento dos reservatórios, que possuem pequenas capacidades de reservação em relação ao volume demandado pelo sistema (reservatórios subdimensionados), ou a operação inadequada dos conjuntos motobombas, que são acionados em períodos excessivos para garantir o abastecimento a jusante do reservatório, que devido ao fato cultural e ao simples medo de desabastecimento, trabalham sempre nos níveis máximo de capacidade. Existem

casos em que a capacidade do reservatório é tão pequena em relação a sua demanda que ele acaba funcionando como mera caixa de passagem, não exercendo a sua devida função que é a acumulação de água para posterior abastecimento por gravidade.

Para a economia de energia elétrica nas estações elevatórias de água tratada que abastecem reservatórios, de forma a evitar o desperdício e o gasto desnecessário com este insumo, tornam-se necessárias medidas eficazes que garantam a redução de demanda de energia no horário da ponta, aumento da reserva do sistema e uma maior taxa de bombeamento no período fora da ponta. Estes mecanismos tornam-se aptos e válidos para a redução do consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água.

Entretanto, a questão da reserva em sistemas públicos de abastecimento de água não é tão simples como poderia parecer à primeira vista, pois o funcionamento adequado da reserva em um sistema depende de uma boa operação e de um bom nível de controle operacional, condições estas que costumam faltar na maioria dos sistemas de abastecimento. Por exemplo, é indispensável conhecer com precisão as curvas de demanda da área abastecida pelo reservatório, o que implica medir continuamente a sua saída.

Nesse contexto, este trabalho pretende apresentar metodologias de como averiguar se o aumento de reserva pode realmente propiciar a economia de energia elétrica no horário da ponta, sem que se façam gastos desnecessários com reservatórios mal utilizados.

METODOLOGIA

Reservatórios em sistemas de abastecimento de água são normalmente dimensionados para atender às variações de consumo horário, combater incêndios ou prover o sistema distribuidor no caso de panes e interrupções no sistema produtor e adutor, sendo utilizados critérios estabelecidos em normas técnicas. Embora estes critérios sejam úteis para os projetistas, para a análise de situações operacionais é preciso contar com outros métodos.

A Figura 1 detalha limites a serem definidos e considerados para a operação de reservatórios (Tsutiya, 2004). O volume útil é definido como sendo o volume compreendido entre o limite alto e o limite baixo.

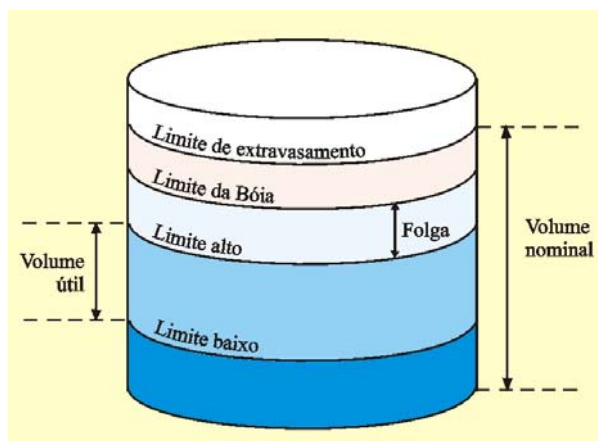


Figura 1 – Definição de níveis em um reservatório

Para a análise da operação de um reservatório é indispensável a curva de demanda do dia de maior consumo, de preferência obtida de um banco de dados com a série histórica mais longa possível. A curva de demanda é obtida dividindo-se os consumos médios horários pelo consumo médio diário, como no exemplo da Figura 2.

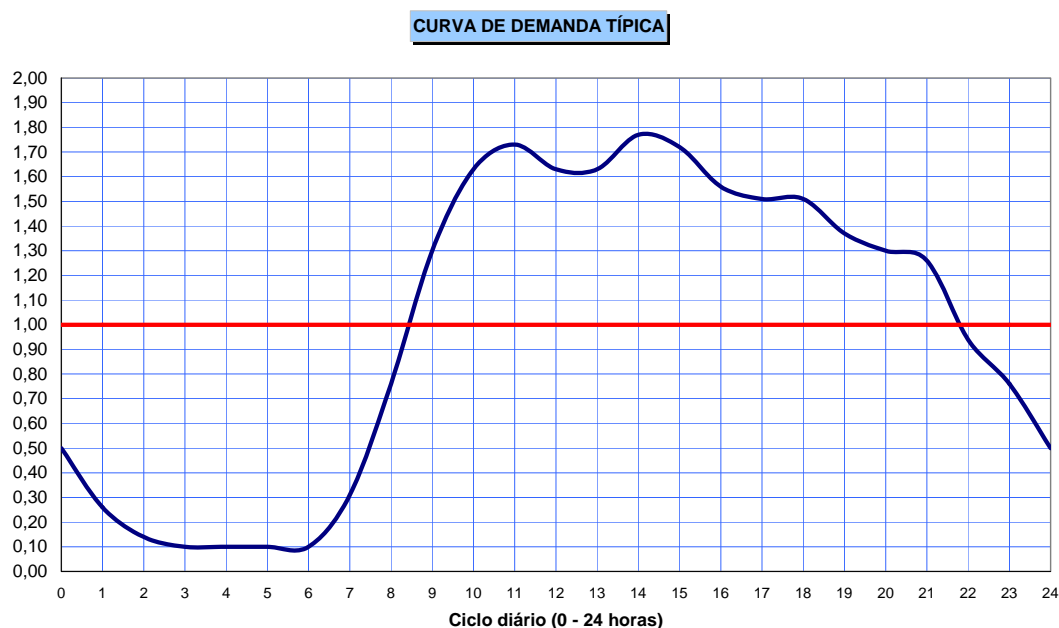


Figura 2 – Curva de demanda em um setor abastecido por reservatório

O conhecimento da curva de demanda permite que se utilize o método dos volumes diferenciais, utilizado neste estudo. Este método baseia-se na constatação de que o volume útil de um reservatório depende, fundamentalmente, de duas taxas: a taxa com a qual é alimentado e a taxa com a qual é esvaziado. A soma das diferenças negativas entre estas duas taxas resulta no volume útil do reservatório. A soma das diferenças positivas será igual à soma das diferenças negativas, caso os volumes diários de entrada e saída no reservatório sejam iguais. A taxa com a qual o reservatório é esvaziado é dada pela curva de demanda. A taxa com a qual é abastecido depende da configuração do bombeamento, se a vazão é constante ou variável, se a adução é contínua ou não.

Para um melhor entendimento do método usar-se-á, inicialmente, uma situação limite e improvável: o reservatório é abastecido exatamente na mesma taxa com que é esvaziado, conforme o exemplo da Tabela 1.

Nesta situação, o volume útil do reservatório é igual a zero, ou seja, nesta hipótese não seria necessária nenhuma reserva. Uma situação como esta é similar à que ocorre em *boosters* modulados por conversores de frequência na rede distribuidora.



Tabela 1 – Exemplo: Bombeando a exata necessidade da demanda

HORA	Volumes de entrada	Volume de saída (curva de demanda)	SALDO entrada - saída	
	Qe (m³/h)	Qs (m³/h)	+	-
1	180	180		0,00
2	216	216		0,00
3	252	252		0,00
4	288	288		0,00
5	324	324		0,00
6	432	432		0,00
7	540	540		0,00
8	702	702		0,00
9	1080	1080		0,00
10	1440	1440		0,00
11	1260	1260		0,00
12	1080	1080		0,00
13	1008	1008		0,00
14	972	972		0,00
15	900	900		0,00
16	864	864		0,00
17	792	792		0,00
18	756	756		0,00
19	702	702		0,00
20	540	540		0,00
21	432	432		0,00
22	324	324		0,00
23	252	252		0,00
24	216	216		0,00
	15.552	15.552	0,00	0,00
Q média		648	VOLUME ÚTIL NECESSÁRIO	

Analizando-se agora a mesma situação de demanda sendo suprida por um bombeamento para um reservatório, com uma única bomba, durante 21 horas por dia, como a mostrada na Tabela 2, constata-se que a reservação útil necessária é então de 4728 m³.



Tabela 2 – Exemplo: Sistema de bombeamento e reservação com uma única bomba parando no horário de ponta

HORA	Volumes de entrada	Volume de saída (curva de demanda)	SALDO entrada – saída	
	Qe (m³/h)	Qs (m³/h)	+	-
1	740,57	180	560,57	
2	740,57	216	524,57	
3	740,57	252	488,57	
4	740,57	288	452,57	
5	740,57	324	416,57	
6	740,57	432	308,57	
7	740,57	540	200,57	
8	740,57	702	38,57	
9	740,57	1080		-339,43
10	740,57	1440		-699,43
11	740,57	1260		-519,43
12	740,57	1080		-339,43
13	740,57	1008		-267,43
14	740,57	972		-231,43
15	740,57	900		-159,43
16	740,57	864		-123,43
17	740,57	792		-51,43
18	0,00	756		-756,00
19	0,00	702		-702,00
20	0,00	540		-540,00
21	740,57	432	308,57	
22	740,57	324	416,57	
23	740,57	252	488,57	
24	740,57	216	524,57	
	15.552	15.552	4.728,86	-4.728,86
Q média		648	VOLUME ÚTIL NECESSÁRIO	

Estas duas hipóteses extremas sugerem que situações intermediárias poderiam ser obtidas caso se utilizasse a possibilidade de utilização de dois ou mais conjuntos em paralelo.

Na Tabela 3 apresenta-se uma possível situação intermediária, em que o bombeamento pode ser feito por até 2 conjuntos em paralelo, parando no horário da ponta. Verifica-se que a possibilidade de bombear em duas taxas diferentes já reduz a necessidade de reservação para 3.212 m³.



Tabela 3 – Exemplo: Sistema de bombeamento e reservação com até dois conjuntos em paralelo e parando no horário da ponta

HORA	Volumes de entrada	Volume de saída (curva de demanda)	SALDO entrada - saída	
	Qe (m³/h)	Qs (m³/h)	+	-
1	561,44	180	381,44	
2	561,44	216	345,44	
3	561,44	252	309,44	
4	561,44	288	273,44	
5	561,44	324	237,44	
6	561,44	432	129,44	
7	561,44	540	21,44	
8	937,61	702	235,61	
9	937,61	1080		-142,39
10	937,61	1440		-502,39
11	937,61	1260		-322,39
12	937,61	1080		-142,39
13	937,61	1008		-70,39
14	937,61	972		-34,39
15	937,61	900	37,61	
16	937,61	864	73,61	
17	937,61	792	145,61	
18	0,00	756		-756,00
19	0,00	702		-702,00
20	0,00	540		-540,00
21	561,44	432	129,44	
22	561,44	324	237,44	
23	561,44	252	309,44	
24	561,44	216	345,44	
	15.552	15.552	3.212,33	-3.212,33
Q média		648	VOLUME ÚTIL NECESSÁRIO	

Com os fundamentos aqui apresentados construiu-se um aplicativo de modelagem em planilha eletrônica para analisar alternativas técnicas mais econômicas do ponto de vista do investimento e do consumo de energia elétrica. A primeira coisa a fazer no aplicativo proposto é configurar a operação praticada atual no sistema de bombeamento e reservação, conforme mostrado na Tabela 4.

Veja-se que será necessário levantar o volume útil do reservatório existente, a curva de demanda do dia de maior consumo, os horários e vazões respectivas em que os conjuntos de bombeamento estão ligados e o período em ocorre a ponta do sistema elétrico.

Para fins de calcular os consumos de energia, será também necessário levantar as alturas manométricas nas diversas situações do bombeamento, bem como os rendimentos respectivos dos conjuntos. A Tabela 5 mostra a planilha para cálculo dos consumos de energia.

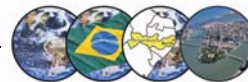


Tabela 4 – Planilha de configuração da operação praticada atual

CONFIGURAÇÃO DA OPERAÇÃO PRATICADA ATUAL											
IDENTIFICAÇÃO	GRUPOS OPERANTES <i>em vermelho</i>				Volume bombeado (m³/h)	Volume inicial no reservatório (m³) - 00h00min				#DIV/0!	#DIV/0!
	MB-01	MB-02	MB-03	MB-04		Volume acumulado no reservatório	Volume de saída (curva de demanda do dia de maior consumo)	SALDO entrada - saída		Grau de enchimento de um reservatório para o VolUtil calculado	Grau de enchimento do reservatório para VolUtil existente
								+	-		
ESTAÇÃO DE BOMBEAMENTO xxx					Qe (m³/h)	Qs (m³/h)					
00:00 - 01:00						0			0	#DIV/0!	#DIV/0!
01:00 - 02:00						0			0	#DIV/0!	#DIV/0!
02:00 - 03:00						0			0	#DIV/0!	#DIV/0!
03:00 - 04:00						0			0	#DIV/0!	#DIV/0!
04:00 - 05:00						0			0	#DIV/0!	#DIV/0!
05:00 - 06:00						0			0	#DIV/0!	#DIV/0!
06:00 - 07:00						0			0	#DIV/0!	#DIV/0!
07:00 - 08:00						0			0	#DIV/0!	#DIV/0!
08:00 - 09:00						0			0	#DIV/0!	#DIV/0!
09:00 - 10:00						0			0	#DIV/0!	#DIV/0!
10:00 - 11:00						0			0	#DIV/0!	#DIV/0!
11:00 - 12:00						0			0	#DIV/0!	#DIV/0!
12:00 - 13:00						0			0	#DIV/0!	#DIV/0!
13:00 - 14:00						0			0	#DIV/0!	#DIV/0!
14:00 - 15:00						0			0	#DIV/0!	#DIV/0!
15:00 - 16:00						0			0	#DIV/0!	#DIV/0!
16:00 - 17:00						0			0	#DIV/0!	#DIV/0!
17:00 - 18:00						0			0	#DIV/0!	#DIV/0!
18:00 - 19:00						0			0	#DIV/0!	#DIV/0!
19:00 - 20:00						0			0	#DIV/0!	#DIV/0!
20:00 - 21:00						0			0	#DIV/0!	#DIV/0!
21:00 - 22:00						0			0	#DIV/0!	#DIV/0!
22:00 - 23:00						0			0	#DIV/0!	#DIV/0!
23:00 - 24:00						0			0	#DIV/0!	#DIV/0!
TOTAIS					0		0	0	0	RESERVAÇÃO ÚTIL NECESSÁRIA (M³)	
Volume útil do reservatório existente (m³):										0	



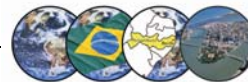
Tabela 5 – Planilha de cálculos dos consumos e demandas de energia elétrica

IDENTIFICAÇÃO	Parâmetros e VAZÃO DOS GRUPOS OPERANTES (m³/s) <i>em vermelho</i>				Potência Demandada (kW)
	MB-01	MB-02	MB-03	MB-04	
Alturas Manométricas (mca)					
Rendimentos dos conjuntos					
00:00 - 01:00	0	0	0	0	#DIV/0!
01:00 - 02:00	0	0	0	0	#DIV/0!
02:00 - 03:00	0	0	0	0	#DIV/0!
03:00 - 04:00	0	0	0	0	#DIV/0!
04:00 - 05:00	0	0	0	0	#DIV/0!
05:00 - 06:00	0	0	0	0	#DIV/0!
06:00 - 07:00	0	0	0	0	#DIV/0!
07:00 - 08:00	0	0	0	0	#DIV/0!
08:00 - 09:00	0	0	0	0	#DIV/0!
09:00 - 10:00	0	0	0	0	#DIV/0!
10:00 - 11:00	0	0	0	0	#DIV/0!
11:00 - 12:00	0	0	0	0	#DIV/0!
12:00 - 13:00	0	0	0	0	#DIV/0!
13:00 - 14:00	0	0	0	0	#DIV/0!
14:00 - 15:00	0	0	0	0	#DIV/0!
15:00 - 16:00	0	0	0	0	#DIV/0!
16:00 - 17:00	0	0	0	0	#DIV/0!
17:00 - 18:00	0	0	0	0	#DIV/0!
18:00 - 19:00	0	0	0	0	#DIV/0!
19:00 - 20:00	0	0	0	0	#DIV/0!
20:00 - 21:00	0	0	0	0	#DIV/0!
21:00 - 22:00	0	0	0	0	#DIV/0!
22:00 - 23:00	0	0	0	0	#DIV/0!
23:00 - 24:00	0	0	0	0	#DIV/0!
CONSUMO E DEMANDAS	Consumo na ponta (kWh):				#DIV/0!
	Consumo fora da ponta (kWh):				#DIV/0!
	Demanda na ponta (kW):				#DIV/0!
	Demanda fora da ponta (kW):				#DIV/0!

Após a modelagem da operação atualmente praticada, podem-se iniciar simulações, em outras planilhas idênticas, de outras configurações mais econômicas.

Simulando a configuração mais econômica para o consumo de energia é possível verificar se de fato uma reserva adicional é necessária ou se uma mudança do regime de bombeamento já resolveria o problema. Para exercitar esta situação na planilha, as seguintes regras podem ser aplicadas, se viáveis, pela ordem:

1. Simular a ausência de consumo de energia elétrica no horário da ponta (ou seja, desligar os bombeamentos).
2. Nos demais horários, as configurações de bombeamento que exijam maiores demandas elétricas só devem ser tentadas depois que as configurações que exijam demandas menores tenham sido utilizadas e respondam satisfatoriamente ao consumo horário de água.
3. Se necessário, as configurações que exijam maiores demandas elétricas devem ser aplicadas nos horários em que ocorrem as maiores demandas de água, da maior demanda de água para a menor.



4. Manter o controle sobre o volume bombeado diário para que não exceda significativamente o volume demandado diário.

RESULTADOS

A Tabela 6 mostra uma situação em que um reservatório de volume útil 3.530 m³ é alimentado por até 3 conjuntos de bombeamento atuando individualmente ou em paralelo. A situação foi modelada para que o aproveitamento do volume útil seja máximo e não se opere no horário da ponta do sistema elétrico. Foram aplicadas as regras citadas na metodologia.

A Tabela 7 apresenta os consumos e demandas de energia correspondentes.

Tabela 6 – Exemplo de modelagem que simula o aproveitamento ótimo de um reservatório existente (em termos de volume útil)

Aproveitamento Ótimo de Sistema BOMBEAMENTO-RESERVAÇÃO EXISTENTE											
IDENTIFICAÇÃO	GRUPOS OPERANTES <i>em vermelho</i>				Volume bombeado (m³/h)	Volume inicial no reservatório (m³) - 00h00min		1.763		49,9%	49,9%
	MB-01	MB-02	MB-03	MB-04		Volume acumulado no reservatório	Volume de saída (curva de demanda do dia de maior consumo)	SALDO entrada - saída		Grau de enchimento de um reservatório para o VolUtil calculado	Grau de enchimento do reservatório para VolUtil existente
								+	-		
ESTAÇÃO DE BOMBEAMENTO xxx						Qe (m³/h)	Qs (m³/h)				
00:00 - 01:00	450	0	0	0	450	1.997	216	234		56,6%	56,6%
01:00 - 02:00	450	0	0	0	450	2.252	195	255		63,8%	63,8%
02:00 - 03:00	450	0	0	0	450	2.522	180	270		71,4%	71,4%
03:00 - 04:00	450	0	0	0	450	2.724	248	202		77,2%	77,2%
04:00 - 05:00	450	0	0	0	450	2.850	324	126		80,7%	80,7%
05:00 - 06:00	450	750	0	0	750	3.168	432	318		89,7%	89,7%
06:00 - 07:00	450	750	0	0	750	3.378	540	210		95,7%	95,7%
07:00 - 08:00	450	750	0	0	750	3.426	702	48		97,1%	97,1%
08:00 - 09:00	450	750	900	0	900	3.246	1080		-180	92,0%	92,0%
09:00 - 10:00	450	750	900	0	900	2.866	1280		-380	81,2%	81,2%
10:00 - 11:00	450	750	900	0	900	2.446	1320		-420	69,3%	69,3%
11:00 - 12:00	450	750	900	0	900	2.166	1180		-280	61,4%	61,4%
12:00 - 13:00	450	750	900	0	900	2.058	1008		-108	58,3%	58,3%
13:00 - 14:00	450	750	900	0	900	2.006	952		-52	56,8%	56,8%
14:00 - 15:00	450	750	900	0	900	2.006	900		0	56,8%	56,8%
15:00 - 16:00	450	750	900	0	900	2.042	864	36		57,8%	57,8%
16:00 - 17:00	450	750	900	0	900	2.110	832	68		59,8%	59,8%
17:00 - 18:00	0	0	0	0	0	1.270	840		-840	36,0%	36,0%
18:00 - 19:00	0	0	0	0	0	540	730		-730	15,3%	15,3%
19:00 - 20:00	0	0	0	0	0	0	540		-540	0,0%	0,0%
20:00 - 21:00	450	750	0	0	750	320	430	320		9,1%	9,1%
21:00 - 22:00	450	750	0	0	750	750	320	430		21,2%	21,2%
22:00 - 23:00	450	750	0	0	750	1.249	251	499		35,4%	35,4%
23:00 - 24:00	450	750	0	0	750	1.763	236	514		49,9%	49,9%
TOTAIS					15600		15600	3530	-3530	RESERVAÇÃO ÚTIL NECESSÁRIA (M³)	
Volume útil do reservatório existente (m³):									3530	3530	



Tabela 7 – Consumos e demandas de energia para a situação modelada na tabela anterior

IDENTIFICAÇÃO	Parâmetros e VAZÃO DOS GRUPOS OPERANTES (m³/s) <i>em destaque</i>				Potência Demandada (kW)
	MB-01	MB-02	MB-03	MB-04	
Alturas Manométricas (mca)	119	135	146	0	
Rendimentos dos conjuntos	0,75	0,74	0,73	0,7	
00:00 - 01:00	0,125	0	0	0	194,57
01:00 - 02:00	0,125	0	0	0	194,57
02:00 - 03:00	0,125	0	0	0	194,57
03:00 - 04:00	0,125	0	0	0	194,57
04:00 - 05:00	0,125	0	0	0	194,57
05:00 - 06:00	0	0,208	0	0	372,85
06:00 - 07:00	0	0,208	0	0	372,85
07:00 - 08:00	0	0,208	0	0	372,85
08:00 - 09:00	0	0	0,25	0	490,50
09:00 - 10:00	0	0	0,25	0	490,50
10:00 - 11:00	0	0	0,25	0	490,50
11:00 - 12:00	0	0	0,25	0	490,50
12:00 - 13:00	0	0	0,25	0	490,50
13:00 - 14:00	0	0	0,25	0	490,50
14:00 - 15:00	0	0	0,25	0	490,50
15:00 - 16:00	0	0	0,25	0	490,50
16:00 - 17:00	0	0	0,25	0	490,50
17:00 - 18:00	0	0	0	0	0,00
18:00 - 19:00	0	0	0	0	0,00
19:00 - 20:00	0	0	0	0	0,00
20:00 - 21:00	0	0,208	0	0	372,85
21:00 - 22:00	0	0,208	0	0	372,85
22:00 - 23:00	0	0,208	0	0	372,85
23:00 - 24:00	0	0,208	0	0	372,85
CONSUMO E DEMANDAS	Consumo na ponta (kWh):				0,00
	Consumo fora da ponta (kWh):				7.997,25
	Demanda na ponta (kW):				0,00
	Demanda fora da ponta (kW):				490,50

Analisando-se a situação caracterizada na Tabela 6, verifica-se que é possível manter sem maiores esforços os conjuntos trabalhando somente fora do horário da ponta do sistema elétrico.

Entretanto, uma operação equivocada, do tipo em que procura manter o reservatório sempre com um nível alto, pode não conseguir utilizar adequadamente a reserva existente e ainda entrar no horário da ponta. A Tabela 8 ilustra uma situação como essa. A Tabela 9 exemplifica os consumos e demandas de energia correspondentes.



Tabela 8 – Exemplo de má utilização do sistema de bombeamento e reservação existente

CONFIGURAÇÃO DE HIPÓTESE QUE NÃO APROVEITA A RESERVAÇÃO EXISTENTE										
IDENTIFICAÇÃO	GRUPOS OPERANTES <i>em vermelho</i>				Volume bombeado (m³/h)	Volume inicial no reservatório (m³) - 00h00min		1.500		42,5%
	MB-01	MB-02	MB-03	MB-04		Volume acumulado no reservatório	Volume de saída (curva de demanda do dia de maior consumo)	SALDO entrada - saída		Grau de enchimento do reservatório para VolUtil existente
								Qe (m³/h)	Qs (m³/h)	
ESTAÇÃO DE BOMBEAMENTO xxx										
00:00 - 01:00	450	0	0	0	450	1.734	216	234		49,1%
01:00 - 02:00	450	0	0	0	450	1.989	195	255		56,3%
02:00 - 03:00	450	0	0	0	450	2.259	180	270		64,0%
03:00 - 04:00	450	0	0	0	450	2.461	248	202		69,7%
04:00 - 05:00	450	0	0	0	450	2.587	324	126		73,3%
05:00 - 06:00	450	0	0	0	450	2.605	432	18		73,8%
06:00 - 07:00	450	750	0	0	750	2.815	540	210		79,7%
07:00 - 08:00	450	750	900	0	900	3.013	702	198		85,4%
08:00 - 09:00	450	750	900	0	900	2.833	1080		-180	80,3%
09:00 - 10:00	450	750	900	0	900	2.453	1280		-380	69,5%
10:00 - 11:00	450	750	900	0	900	2.033	1320		-420	57,6%
11:00 - 12:00	450	750	900	0	900	1.753	1180		-280	49,7%
12:00 - 13:00	450	750	900	0	900	1.645	1008		-108	46,6%
13:00 - 14:00	450	750	900	0	900	1.593	952		-52	45,1%
14:00 - 15:00	450	750	900	0	900	1.593	900		0	45,1%
15:00 - 16:00	450	750	900	0	900	1.629	864	36		46,1%
16:00 - 17:00	450	750	900	0	900	1.697	832	68		48,1%
17:00 - 18:00	450	0	0	0	450	1.307	840		-390	37,0%
18:00 - 19:00	450	0	0	0	450	1.027	730		-280	29,1%
19:00 - 20:00	450	0	0	0	450	937	540		-90	26,5%
20:00 - 21:00	450	0	0	0	450	957	430	20		27,1%
21:00 - 22:00	450	0	0	0	450	1.087	320	130		30,8%
22:00 - 23:00	450	0	0	0	450	1.286	251	199		36,4%
23:00 - 24:00	450	0	0	0	450	1.500	236	214		42,5%
TOTAIS					15600		15600	2180	-2180	Volume utilizado:
Volume útil do reservatório existente (m³):									3530	3013



Tabela 9 – Consumos e demandas de energia elétrica em um sistema de bombeamento com reservação mal utilizada

IDENTIFICAÇÃO	Parâmetros e VAZÃO DOS GRUPOS OPERANTES (m³/s) <i>em destaque</i>				Potência Demandada (kW)
	MB-01	MB-02	MB-03	MB-04	
Alturas Manométricas (mca)	119	135	146	0	
Rendimentos dos conjuntos	0,75	0,74	0,73	0,7	
00:00 - 01:00	0,125	0	0	0	194,57
01:00 - 02:00	0,125	0	0	0	194,57
02:00 - 03:00	0,125	0	0	0	194,57
03:00 - 04:00	0,125	0	0	0	194,57
04:00 - 05:00	0,125	0	0	0	194,57
05:00 - 06:00	0,125	0	0	0	194,57
06:00 - 07:00	0	0,208	0	0	372,85
07:00 - 08:00	0	0	0,25	0	490,50
08:00 - 09:00	0	0	0,25	0	490,50
09:00 - 10:00	0	0	0,25	0	490,50
10:00 - 11:00	0	0	0,25	0	490,50
11:00 - 12:00	0	0	0,25	0	490,50
12:00 - 13:00	0	0	0,25	0	490,50
13:00 - 14:00	0	0	0,25	0	490,50
14:00 - 15:00	0	0	0,25	0	490,50
15:00 - 16:00	0	0	0,25	0	490,50
16:00 - 17:00	0	0	0,25	0	490,50
17:00 - 18:00	0,125	0	0	0	194,57
18:00 - 19:00	0,125	0	0	0	194,57
19:00 - 20:00	0,125	0	0	0	194,57
20:00 - 21:00	0,125	0	0	0	194,57
21:00 - 22:00	0,125	0	0	0	194,57
22:00 - 23:00	0,125	0	0	0	194,57
23:00 - 24:00	0,125	0	0	0	194,57
CONSUMO E DEMANDAS	Consumo na ponta (kWh):				583,70
	Consumo fora da ponta (kWh):				7.223,50
	Demanda na ponta (kW):				194,57
	Demanda fora da ponta (kW):				490,50

Pode-se utilizar o modelo para simular se haveria alguma situação em que o aumento da reservação, mantendo-se a estrutura de bombeamento existente, poderia resultar em economia de energia. Esta situação foi modelada conforme apresentado na Tabela 10. Verifica-se que é possível atender a demanda somente com dois conjuntos em paralelo, desde que haja reservação suficiente.

A Tabela 11 apresenta os consumos e demandas de energia correspondentes.



Tabela 10 – Simulação da hipótese de aumento da reservação para diminuir a demanda de energia elétrica e aumentar o fator de carga

CONFIGURAÇÃO DA HIPÓTESE DE AUMENTAR RESERVAÇÃO COM 21 HORAS DE FUNCIONAMENTO (máximo fator de carga)											
IDENTIFICAÇÃO	GRUPOS OPERANTES <i>em vermelho</i>				Volume bombeado (m³/h)	Volume inicial no reservatório (m³) - 00h00min		1.613		33,8%	45,7%
	MB-01	MB-02	MB-03	MB-04		Volume acumulado no reservatório	Volume de saída (curva de demanda do dia de maior consumo)	SALDO entrada - saída		Grau de enchimento de um reservatório para o VolUtil calculado	Grau de enchimento do reservatório para VolUtil existente
								+	-		
ESTAÇÃO DE BOMBEAMENTO xxx					Qe (m³/h)	Qs (m³/h)					
00:00 - 01:00	450	750	0	0	750	2.147	216	534		45,0%	60,8%
01:00 - 02:00	450	750	0	0	750	2.702	195	555		56,6%	76,5%
02:00 - 03:00	450	750	0	0	750	3.272	180	570		68,5%	92,7%
03:00 - 04:00	450	750	0	0	750	3.774	248	502		79,0%	106,9%
04:00 - 05:00	450	750	0	0	750	4.200	324	426		87,9%	119,0%
05:00 - 06:00	450	750	0	0	750	4.518	432	318		94,6%	128,0%
06:00 - 07:00	450	750	0	0	750	4.728	540	210		99,0%	133,9%
07:00 - 08:00	450	750	0	0	750	4.776	702	48		100,0%	135,3%
08:00 - 09:00	450	750	0	0	750	4.446	1080		-330	93,1%	125,9%
09:00 - 10:00	450	750	0	0	750	3.916	1280		-530	82,0%	110,9%
10:00 - 11:00	450	750	0	0	750	3.346	1320		-570	70,1%	94,8%
11:00 - 12:00	450	750	0	0	750	2.916	1180		-430	61,1%	82,6%
12:00 - 13:00	450	750	0	0	750	2.658	1008		-258	55,7%	75,3%
13:00 - 14:00	450	750	0	0	750	2.456	952		-202	51,4%	69,6%
14:00 - 15:00	450	750	0	0	750	2.306	900		-150	48,3%	65,3%
15:00 - 16:00	450	750	0	0	750	2.192	864		-114	45,9%	62,1%
16:00 - 17:00	450	750	0	0	750	2.110	832		-82	44,2%	59,8%
17:00 - 18:00	0	0	0	0	0	1.270	840		-840	26,6%	36,0%
18:00 - 19:00	0	0	0	0	0	540	730		-730	11,3%	15,3%
19:00 - 20:00	0	0	0	0	0	0	540		-540	0,0%	0,0%
20:00 - 21:00	450	750	0	0	750	320	430	320		6,7%	9,1%
21:00 - 22:00	450	750	0	0	750	750	320	430		15,7%	21,2%
22:00 - 23:00	450	750	0	0	750	1.249	251	499		26,2%	35,4%
23:00 - 24:00	450	750	0	0	600	1.613	236	364		33,8%	45,7%
TOTAIS					15600		15600	4776	-4776	RESERVAÇÃO ÚTIL NECESSÁRIA (M³)	
Volume útil do reservatório existente (m³):									3530	4776	



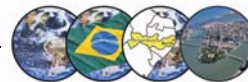
Tabela 11 – Consumos e demandas de energia para a hipótese de aumento da reservação

IDENTIFICAÇÃO	Parâmetros e VAZÃO DOS GRUPOS OPERANTES (m³/s) <i>em destaque</i>				Potência Demandada (kW)
	MB-01	MB-02	MB-03	MB-04	
Alturas Manométricas (mca)	119	135	146	0	
Rendimentos dos conjuntos	0,75	0,74	0,73	0,7	
00:00 - 01:00	0	0,208	0	0	372,85
01:00 - 02:00	0	0,208	0	0	372,85
02:00 - 03:00	0	0,208	0	0	372,85
03:00 - 04:00	0	0,208	0	0	372,85
04:00 - 05:00	0	0,208	0	0	372,85
05:00 - 06:00	0	0,208	0	0	372,85
06:00 - 07:00	0	0,208	0	0	372,85
07:00 - 08:00	0	0,208	0	0	372,85
08:00 - 09:00	0	0,208	0	0	372,85
09:00 - 10:00	0	0,208	0	0	372,85
10:00 - 11:00	0	0,208	0	0	372,85
11:00 - 12:00	0	0,208	0	0	372,85
12:00 - 13:00	0	0,208	0	0	372,85
13:00 - 14:00	0	0,208	0	0	372,85
14:00 - 15:00	0	0,208	0	0	372,85
15:00 - 16:00	0	0,208	0	0	372,85
16:00 - 17:00	0	0,208	0	0	372,85
17:00 - 18:00	0	0	0	0	0,00
18:00 - 19:00	0	0	0	0	0,00
19:00 - 20:00	0	0	0	0	0,00
20:00 - 21:00	0	0,208	0	0	372,85
21:00 - 22:00	0	0,208	0	0	372,85
22:00 - 23:00	0	0,208	0	0	372,85
23:00 - 24:00	0	0,167	0	0	372,85
CONSUMO E DEMANDAS	Consumo na ponta (kWh):				0,00
	Consumo fora da ponta (kWh):				7.829,77
	Demanda na ponta (kW):				0,00
	Demanda fora da ponta (kW):				372,85

Os resultados em termos de consumos e demandas de energia elétrica foram resumidos no Quadro 1.

Quadro 1 – Resumo das situações configuradas, em termos de consumo e demanda de energia elétrica

RESUMO DAS SITUAÇÕES CONFIGURADAS					
ordem	CONFIGURAÇÃO	Consumo de energia na ponta kWh	Consumo de energia fora da ponta kWh	Demanda na ponta kW	Demanda fora da ponta kW
4	Aproveitamento ótimo reservação existente	0,00	7.997,25	0,00	490,50
2	Má utilização do reservatório existente	583,70	7.223,50	194,57	490,50
3	Aumenta a reservação e sai do horário da ponta com máximo fator de carga fora da ponta	0,00	7.829,77	0,00	372,85



Verifica-se que há uma situação ótima para a reserva existente e que é possível diminuir o gasto de energia sem ampliar a reserva. A opção de menor gasto de energia requer aumento de reserva, entretanto, a viabilidade econômica da decisão de ampliação precisa ser investigada.

CONCLUSÕES

O que se quis demonstrar com a aplicação destes modelos é que a construção de novos reservatórios não é uma solução automática para retirar demanda de energia do horário de ponta do sistema elétrico. O problema é mais complexo e inclui, necessariamente, uma correta utilização da reserva existente (ou seja, deixar que reservatórios variem seus níveis entre um máximo e um mínimo ao longo do dia, o que nem sempre os operadores permitem). De fato, muitos operadores de sistemas não deixam seus reservatórios baixarem além de certo nível, o que acaba reduzindo seu volume útil e aumentando o custo de energia elétrica.

Outra solução para minimizar o problema da falta de reserva é conseguir uma melhor modulação do bombeamento para responder as necessidades da curva de demanda, ou seja, bombear com 2 ou mais conjuntos em paralelo conforme a necessidade do consumo.

RECOMENDAÇÕES

Os prestadores de serviços, operadores de sistemas de bombeamento e reserva setorial, devem medir as saídas dos reservatórios, bem como a saída das estações de bombeamento, mantendo controle sobre a curva de demanda da área abastecida por cada reservatório e sobre o regime operacional que está de fato sendo praticado no bombeamento. Com isso, usando um modelo como proposto neste trabalho, podem analisar se o regime operacional praticado é o mais barato em termos de custo energético. Outros ganhos resultantes da medição é a possibilidade de se analisar o rendimento dos conjuntos motobomba em suas diversas configurações de regime individual ou em paralelo, o que por si só já é de bastante utilidade na detecção de problemas operacionais e no gerenciamento energético.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ELETROBRÁS, “Eficiência Energética em Sistemas de Bombeamento”, Rio de Janeiro, 2005.
2. GOMES, H. P., “Sistemas de Abastecimento de Água – Dimensionamento Econômico e Operação de Redes e Elevatórias”, Editora UFPB, João Pessoa, 2004.
3. GOMES, H. P., “Eficiência Hidráulica e Energética em Saneamento”, Editora da ABES Nacional, Rio de Janeiro, 2005.
4. TSUTIYA, M. T. e outros, “Abastecimento de Água”, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1ª. edição, São Paulo, 2004.
5. TSUTIYA, M. T., “Redução do Custo de Energia Elétrica em Sistemas de Abastecimento de Água”, ABES São Paulo, São Paulo, 2001.