

XI-005 - OTIMIZAÇÃO OPERACIONAL DE RESERVATÓRIO NA BUSCA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (RESERVATÓRIO DE JORDÃO DE 90.000 M³, SISTEMA PIRAPAMA-PE)

Hudson Tiago dos S. Pedrosa⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Alagoas (UFAL). Mestre em Recursos Hídricos e Tecnologia Ambiental pela Universidade Federal de Pernambuco (PPGEC/UFPE). Analista de Saneamento da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA).

Endereço⁽¹⁾: Rua Oscar Pinto, 300, Apart. 201 – Casa Amarela - Recife - PE- CEP: 52051-350 - Brasil - Tel: (81) 98182-2335 - e-mail: HUDSONTIAGO@COMPESA.COM.BR

RESUMO

O crescimento da população vem demandando água em quantidades maiores, o que obriga as empresas de saneamento a encontrarem alternativas técnicas que sejam viáveis economicamente para o déficit de água das áreas urbanas. Na sua maioria essas alternativas modificam o comportamento operacional do sistema de bombeamento, geralmente aumentando o tempo de bombeamento e/ou aumentando os números de conjuntos motor-bomba em funcionamento. Os conjuntos elevatórios são responsáveis pela maior parte do consumo de energia elétrica e embora estes equipamentos sejam necessários para transportar a água através dos sistemas e garantirem a confiabilidade do abastecimento de água, o grande consumo de energia elétrica dificulta o equilíbrio financeiro das empresas de saneamento. Com esta preocupação, o estudo pretende demonstrar uma nova alternativa para a operação do reservatório do Jordão (90.000 m³), pertencente ao Sistema Pirapama, buscando atender a demanda com mais eficiência no requisito de custo com energia elétrica. O reservatório do Jordão é o maior do Sistema de Abastecimento da Região Metropolitana do Recife, sendo este responsável por amortecer a variação tanto da demanda quanto da produção de água. A melhoria em sua operação, estar ligada diretamente com a melhoria do abastecimento da população da RMR, como também, no custo energético. Tendo em vista que, a estação elevatória de Pirapama tem o maior custo com energia elétrica da empresa pernambucana de saneamento.

Este estudo faz uma análise econômica na operação do reservatório do Jordão e na elevatória deste sistema, voltada a eficiência energética. Há uma ponderação sobre a operação de estações elevatória com desligamentos de conjuntos motor-bomba em horário de pico de energia. E ainda, o estudo trás uma nova operação do reservatório do Jordão, de maneira que garante o atendimento de demanda do Recife, trazendo economia de energia, sem comprometer a continuidade do abastecimento da população.

A operação aqui proposta apresenta uma economia no custo energética de aproximadamente 14%, comparada as condições atuais. Esta porcentagem representa um valor de aproximadamente R\$ 2669,00/dia, ou ainda, R\$ 80.000,00/mês nos custos de energia na estação elevatória de Pirapama.

O presente estudo utilizou a ferramenta EPANET para a modelagem do sistema, haja vista que, a utilização de softwares como ferramenta na gestão operacional de sistemas de distribuição de água tem se tornado cada vez mais frequente, visto que os mesmos nos fornecem uma visão sistêmica do abastecimento de água e o acompanhamento contínuo dos parâmetros hidráulicos.

PALAVRAS-CHAVE: Otimização Operacional, Eficiência Energética e Modelagem Hidráulica.

INTRODUÇÃO

A demanda da água no meio urbano cresce aceleradamente, acompanhando o aumento da população, das indústrias e de todas as atividades que utilizam a água em algum ponto de seu processo. Logo os sistemas de abastecimento de água ficam defasados ao passar dos anos, ultrapassando a estimativa de demanda do projeto inicial.

Muitas vezes, estas mudanças afetam a operação das estações elevatórias, aumentando o custo de energia elétrica. Estima-se que 2,5% de toda energia elétrica produzida no Brasil seja usado para manter as empresas de saneamento operando (ALBANEZE, 2012).

Nos Estados Unidos o saneamento é responsável por cerca de 3 a 4% do consumo total de energia do país. Esses sistemas são responsáveis por 30 a 40% do consumo total de energia dos governos municipais (EPA, 2012 apud BEHANDISH, 2014).

No entanto, o grande consumo de energia elétrica dificulta o equilíbrio financeiro das empresas de saneamento, já que este passivo é a segunda maior despesa das empresas e 90% desta energia elétrica devem-se às estações elevatórias (TSUTIYA, 2004).

A preocupação quanto à possibilidade da falta de suprimento de energia elétrica remete à necessidade de avaliar que maneira esse tipo de insumo vem sendo utilizada. Isso torna evidente que o problema não se limita apenas à necessidade de gerar cada vez mais energia, mas, primeiramente, a eliminar desperdícios, buscando o máximo de desempenho com o mínimo de consumo (SOUSA, 2010).

A energia elétrica é necessária para transportar a água através dos sistemas, por isto, tão importante quanto as medidas de diminuição do consumo de água, são as ações operacionais no processo de melhoria dos sistemas de distribuição (GOMES, 2005). Logo implantações de programas e medidas que reduzem o custo com energia é de suma importância para a saúde financeira das empresas que operam os sistemas de água e esgoto.

O presente estudo pretende demonstrar uma nova alternativa para a operação do reservatório do Jordão (90.000 m³), pertencente ao Sistema Pirapama, buscando atender a demanda com mais eficiência no requisito de custo com energia elétrica. O reservatório do Jordão é o maior do Sistema de Abastecimento da Região Metropolitana do Recife, sendo este responsável por amortecer a variação tanto da demanda quanto da produção de água. A melhoria em sua operação estar ligada diretamente com a melhoria do abastecimento da população da RMR, como também, no custo energético, pois a estação elevatória de Pirapama tem o maior custo com energia elétrica da empresa pernambucana de saneamento.

Este estudo faz uma análise econômica na operação do reservatório do Jordão e na elevatória deste sistema, voltada a eficiência energética. Neste estudo há uma ponderação sobre a operação de estações elevatória com desligamentos de conjuntos motor-bomba em horário de pico de energia. E ainda, o estudo trás uma nova operação do reservatório do Jordão, de maneira que garante o atendimento de demanda do Recife, trazendo economia de energia, sem comprometer a continuidade do abastecimento da população.

O presente estudo utilizou a ferramenta EPANET para a modelagem do sistema, haja vista que, a utilização de softwares como ferramenta na gestão operacional de sistemas de distribuição de água tem se tornado cada vez mais frequente, visto que os mesmos nos fornecem uma visão sistêmica do abastecimento de água e o acompanhamento contínuo dos parâmetros hidráulicos.

JUSTIFICATIVA

O maior reservatório do Sistema de Abastecimento de Água da Região Metropolitana do Recife atualmente não funciona com níveis satisfatórios para o seu melhor desempenho, operando como se fosse uma caixa de passagem, ou seja, a vazão que chega é a mesma vazão que sai. O modo com que o reservatório em estudo esta sendo operado traz alguns danos para o sistema integrado da RMR, afetando tanto o abastecimento, a operação e a estrutura física como também o equilíbrio financeiro da empresa.

Esta problemática afeta diretamente o abastecimento, pois à medida que o reservatório opera em níveis mais baixos que a geratriz superior da tubulação de saída, isso permite a entrada de ar na adutora e/ou na rede de distribuição, ocasionando bolhões de ar que podem interromper o fornecimento do abastecimento ou até mesmo originar rupturas na tubulação gerando despesa desnecessária para a empresa. A falta de acumulação do reservatório do Jordão proveniente do baixo nível atual causa imobilidade de manutenção. Nos casos em que necessitam de pequenos reparos a montante do reservatório, desabastecendo uma grande parte da população recifense, afetando o faturamento e a imagem da empresa. A Figura 1 abaixo mostra a área sem abastecimento em caso de uma parada rápida na ETA Pirapama.



Figura 1- Área abastecida pelo sistema Pirapama

Também por falta de nível satisfatório do reservatório do Jordão, se limita a operação da Estação Elevatória de água do sistema. O reservatório do Jordão não absorve a variação da vazão advinda da elevatória, transferindo essa variação para a rede de abastecimento, originando alterações nas pressões podendo ocasionar rupturas na rede de distribuição. A figura seguinte mostra a variação de vazão e de pressão a montante e a jusante do reservatório de Jordão em um período que havia desligamento de dois conjuntos motores-bombas no horário de pico da tarifa energética e um CMB durante a madrugada onde o consumo seria menor.



Figura 2 - Variação de Pressões e vazões a Montante e a Jusante do reservatório do Jordão

A proposta deste estudo se baseia na melhoria da operação do reservatório do Jordão de 90.000 m³, com o intuito de garantir a continuidade do abastecimento, sanando as diversas problemáticas envolvidas na operação atual.

MATERIAIS E MÉTODOS

O modelo hidráulico (Figura 3) foi construído buscando a melhor representação do sistema atual, levando em consideração as informações dos elementos físicos como perfil das adutoras, cotas, diâmetro da rede, válvulas e registros, curvas entre outros elementos existentes do sistema, esses foram obtidas através de Cadastro técnico e de Manual de Operação e dos Projetos existentes. Através da telemetria foram obtidos os dados relativos ao consumo, assim como, as regras de operação do sistema, o estado das válvulas, entre outros.



Figura 3 - Modelo Hidráulico

O modelo contempla inicialmente a captação da barragem Pirapama, passando pela EE Pirapama, ETA, Derivações, Reservatório do Jordão e finaliza com as duas saídas do RAP Jordão, adutora de 600 mm nova de pintor Agenor e na alça do Araçá.

CALIBRAÇÃO DO MODELO

A calibração do modelo se deu através de dados da telemetria, portanto permitindo a comparação entre vazões e pressões simuladas e medidas. A representação do sistema inicia no ponto de vazão na saída da EE Pirapama, entre a ETA e Jordão tivemos medições de vazão e pressão no ponto chamado Guerdao e na entrada do Reservatório Ponte dos Carvalhos, e por fim na distribuição na alça do Araçá e na linha de 600 mm nova de Pintor Agenor. A Figura 4 mostra a espacialidade dos pontos de medição utilizados.

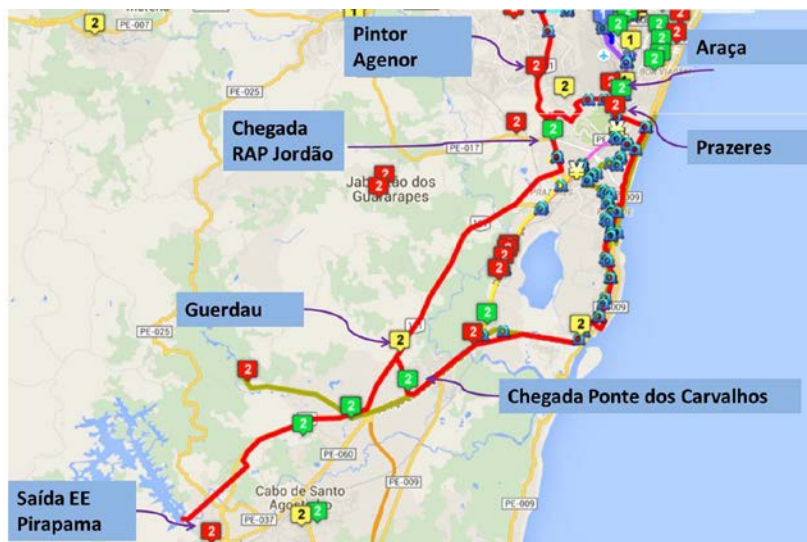


Figura 4 - Especialidade dos Pontos de medição

A calibração do modelo se deu através de dados da telemetria dos dias 1 a 4 de setembro de 2015, foram levantados 1175 e 887 dados de medição de vazão e pressão respectivamente.

As tabelas abaixo exibem a média das vazões e pressões observadas e simuladas pelo modelo, assim como a correlação entre medidas de 0,997 e de 0,999 respectivamente de pressão e vazão, o coeficiente de correlação indica a relação entre duas variáveis, onde o valor 1 significa melhor a correlação.

Tabela 1- Tratamento Estatístico dos Dados de Calibração para Vazão

Localização	Nº Observada	Média Observada	Média Simulada	Erro Médio	Desvio Padrão
Saída EE Pirapama	70	4171	4163	11.31	13.65
Cheg. Jordao	70	3085	3040	149.6	355.7
Gerdau	70	3085	3190	126.5	368.1
Cheg. Pontes dos Carvalho	218	409	456.8	49.53	122.5
Cheg. Prazeres	70	434.8	435.8	1	1
Anel Araça 2	109	3038	3200	177.9	463.2
Sangria lagoa encantada	284	150.1	159.9	12.61	19.24
Novepe rede nova 600mm	284	211.3	199.9	142.2	350.7
TOTAL	1175	1087	1114	80.28	261
Correlação entre Medidas				0.999	

Tabela 2- Tratamento Estatístico dos Dados de Calibração para Pressão

Localização	Nº Observada	Média Observada	Média Simulada	Erro Médio	Desvio Padrão
Sucção MB-B0004	72	15.1	18.79	3.69	3.69
Recalque MB-B0004	72	77.9	75.22	2.676	2.678
RAP Pirapama 01	72	1.32	1.16	0.165	0.166
RAP Pirapama 02	72	1.15	1.16	0.01	0.018
GERDAU	113	61.2	61.06	0.935	2.066
RAP Ponte dos Carvalho Antigo	70	1.67	2.27	0.596	0.773
RAP Ponte dos Carvalho Novo	70	1.74	2.27	0.538	0.727
ANEL ARAÇA 2	58	24.08	31.18	7.603	9.445
TOTAL	887	32.58	33.26	2.311	3.425
Correlação entre Medidas				0.997	

Contudo, o modelo apresentou resultado satisfatório em relação aos dados observados, tendo assim um diagnóstico do sistema referente a vazões e pressões atuais. Atualmente a vazão de entrada e a vazão de saída são praticamente iguais. Se pegarmos a pouca diferença entre estas vazões e dividir pela a área do imenso reservatório do Jordão obtemos uma variação de nível na ordem de centímetros. A figura a seguir mostra o comportamento do reservatório do Jordão ao longo da simulação.

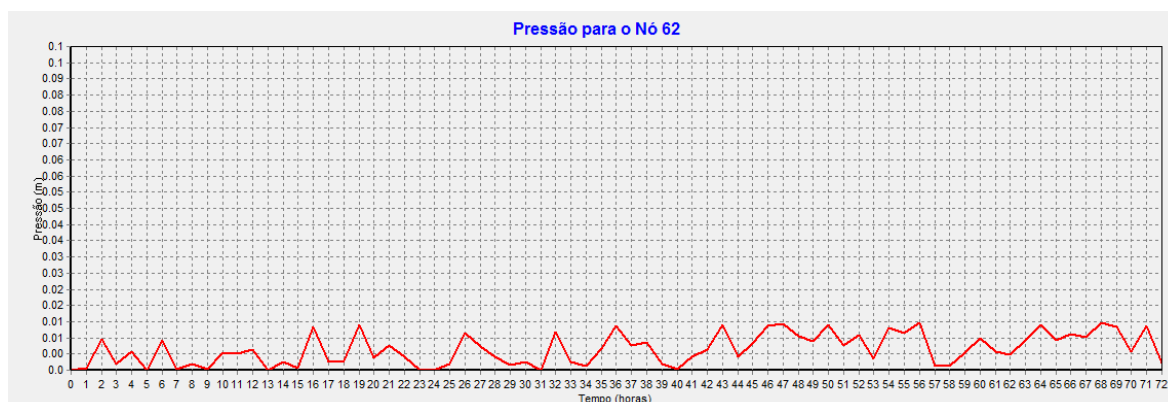


Figura 5 - Nível do reservatório do Jordão

VERIFICAÇÃO DO MODELO

Com o intuito de averiguar o modelo para o sistema nas condições, foi feita a verificação do modelo através de dados da telemetria dos dias 10 a 13 de março de 2016. Foram levantados 1979 e 1763 dados de medição de vazão e pressão respectivamente.

A verificação do modelo apresentou o índice de correlação entre medidas de 0,999 para as pressões e vazões. As Figura 6 e Figura 7 apresentam a comparação das médias entre os dados medidos e os dados simulados de vazão e pressão respectivamente. Nota-se que o modelo apresentou dados bem próximos dos reais.

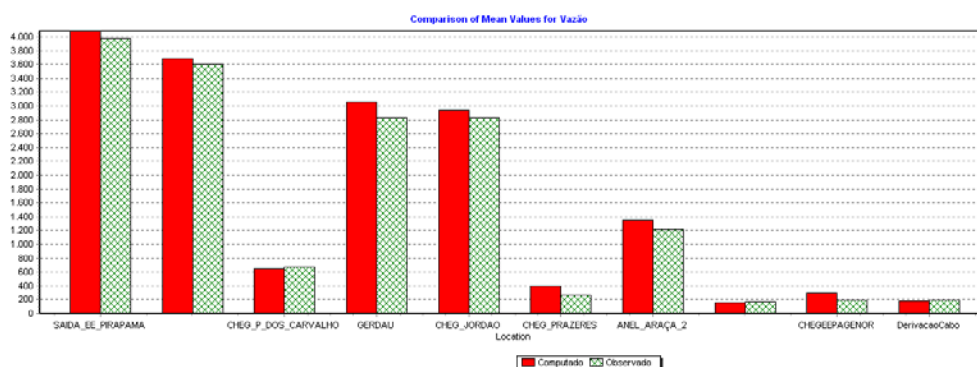


Figura 6 - Comparação das vazões simuladas e observadas

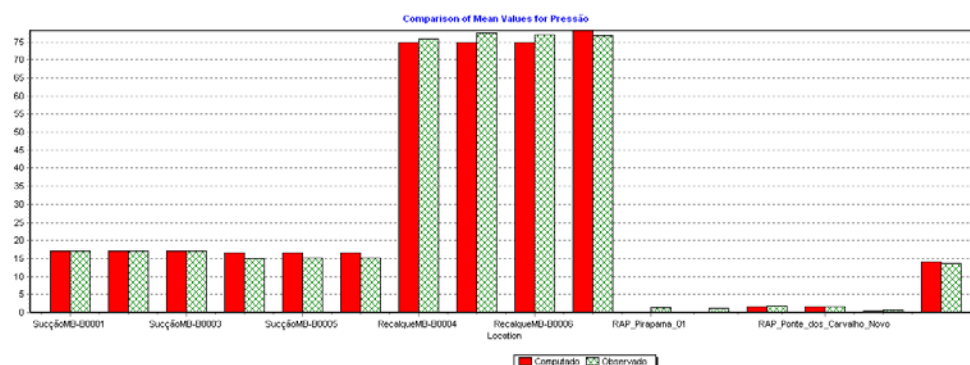


Figura 7 - Comparação das pressões simuladas e observadas

DEFINIÇÃO DAS VAZÕES DE OPERAÇÃO

Mantendo a demanda atual de vazão das áreas de influencias do reservatório do Jordão, e variando a vazão de produção do sistema de 3500 a 5250 L/s, temos o comportamento do enchimento do reservatório objeto deste estudo. Nota-se que para o enchimento do reservatório necessita de uma vazão superior a 4000 L/s (Figura 8).

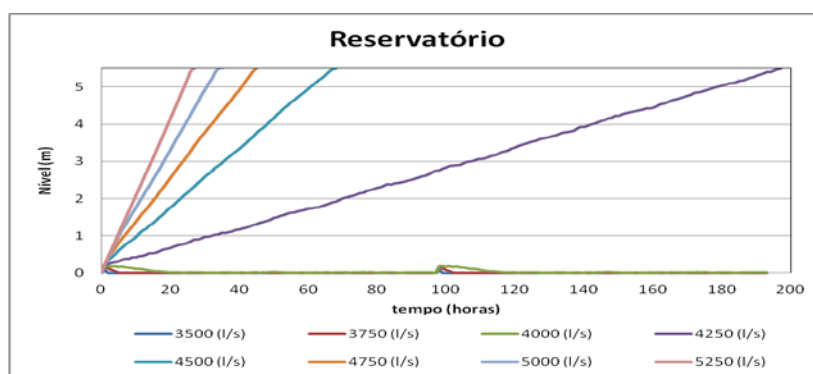


Figura 8 - Enchimento do reservatório

A proposta deste estudo é o balanço de massa no reservatório de Jordão por meio do controle de vazão de saída do mesmo. Foram mantidas as vazões de acordo com as demandas atuais que atendem as áreas de influencia do reservatório do Jordão. A Figura 9 apresenta o esquema do reservatório do Jordão, contendo as vazões de saída. Estas vazões serão mantidas ou controladas para melhor operação do reservatório.

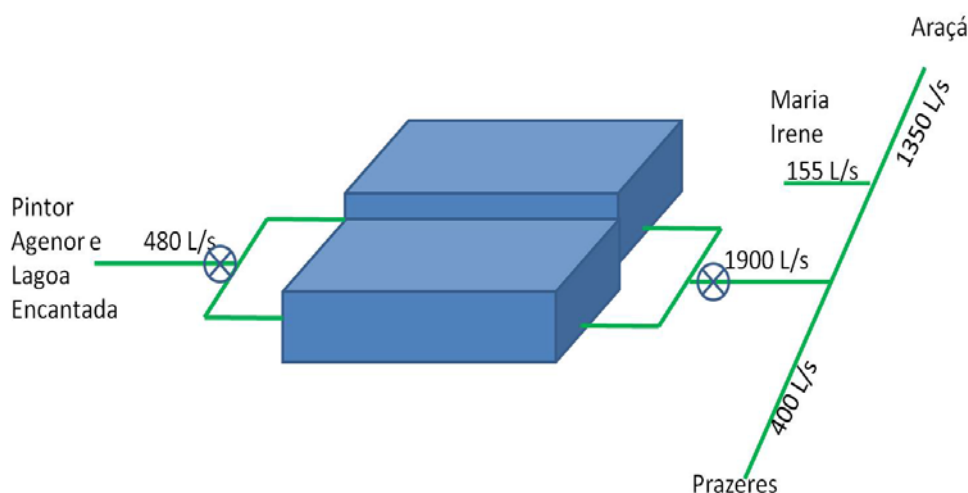


Figura 9 - Esquema das saídas do Reservatório de Jordão

CENÁRIO INICIAL

Atualmente a vazão de recalque da estação elevatória de Pirapama é de 4000 L/s, são três conjuntos ligados 24 horas, com uma despesa de aproximadamente R\$ 18.451,00 por dia, resultando em um custo de R\$ 553.530,00 reais por mês com energia elétrica.

OPERAÇÃO PROPOSTA 1

Mantendo as demandas do cenário inicial, alteramos a produção da Estação elevatória de Pirapama com o objetivo de observar o comportamento do reservatório do Jordão. Foram criados três cenários de operação para cada vazão de produção na estação elevatória de Pirapama. Primeiro desliga um conjunto motor-bomba no horário de pico de energia, o segundo desliga um CMB com o inversor de frequência e um CMB sem inversor de frequência e o terceiro cenário seria com o desligamento de dois conjuntos motor-bomba que não contemplam inversores de frequência. Assim foi analisada a economia de energia, para cada vazão de produção, para os três cenários de operação citado acima.

De posse dos resultados das simulações obtemos a Tabela 3, que traz o comparativo com a situação atual de custo de energia.

Tabela 3 - Comparativos do custo de energia das operações

Produção (L/s)	Operação	Volume (m³)	Custo com Energia (R\$/dia)	Economia (%)	Economia (R\$/dia)
Cenário Inicial 4000	3 CMB ligados	345.249,24	18.451,00	0,00%	-
4250	Desligar um CMB	347.608,60	18.347,57	0,56%	103,43
	Desligar um CMB e o CMB com o inversor	343.254,64	18.035,45	2,25%	415,55
	Desligar Dois CMB	329.957,11	17.093,59	7,36%	1.357,41
4500	Desligar um CMB	342.538,37	18.157,95	1,59%	293,05
	Desligar um CMB e o CMB com o inversor	346.593,91	18.281,72	0,92%	169,28
	Desligar Dois CMB	345.353,12	18.209,29	1,31%	241,71
4750	Desligar um CMB	345.670,10	18.379,30	0,39%	71,70
	Desligar um CMB e o CMB com o inversor	339.409,62	18.174,75	1,50%	276,25
	Desligar Dois CMB	347.989,50	18.502,67	-0,28%	(51,67)
5000	Desligar um CMB	350.284,48	18.673,77	-1,21%	(222,77)
	Desligar um CMB e o CMB com o inversor	344.276,53	18.308,30	0,77%	142,70
	Desligar Dois CMB	341.594,86	18.399,52	0,28%	51,48
5250	Desligar um CMB	353.101,39	18.841,18	-2,11%	(390,18)
	Desligar um CMB e o CMB com o inversor	345.518,58	18.472,48	-0,12%	(21,48)
	Desligar Dois CMB	343.713,45	18.318,50	0,72%	132,50

OPERAÇÃO PROPOSTA 2

Objetivando a resolução desta problemática, é apresentada uma alternativa para a operação do reservatório de Jordão. Utilizando as duas câmaras do reservatório Jordão (Figura 10), este estudo traz uma rotina na operação do reservatório de maneira que garanta a existência de nível e sem comprometer a continuidade do abastecimento.



Figura 10 - Reservatório do Jordão dividido em duas câmaras

Observando os pistões dos motores mecânicos, percebe-se que os mesmos exercem um movimento de subida e descida dentro do motor a combustão, alternando entre os pistões. Assim consegue-se uma combustão constante punctionando o veículo ou maquina. Analogicamente, as câmaras do reservatório vão funcionar como pistões, no primeiro momento a câmara 1 inicia-se com o nível alto e a câmara 2 inicia-se com nível baixo, assim a câmara 1 abastece enquanto a câmara 2 pega nível. Quando os níveis das câmaras envolvidas se invertem, inverte-se também o abastecimento iniciando o segundo momento com as câmaras alternadas.

O gráfico abaixo demonstra o comportamento do reservatório do Jordão durante dez dias, neste visualiza a operação alternada das câmaras 01 e 02 do reservatório do Jordão. Nota-se também, uma operação com períodos bem definidos, assim apresentando uma sincronia entre as câmaras ao longo do tempo.

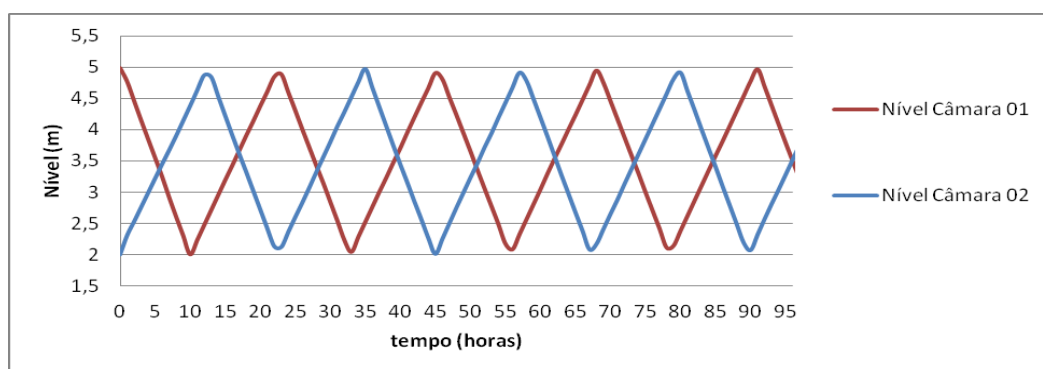


Figura 11 - Comportamento operacional das câmaras do RAP Jordão ao longo dez dias

A operação apresentada permite que a elevatória trabalhe com uma vazão de 3500 L/s, pois no balanço de massas na câmara que abastece a entrada é menor que a saída, enquanto que na outra câmara a saída é fechada e a entrada permite seu enchimento. Com a produção reduzida a economia de energia consumida, proporcionando uma economia no custo de energias elétrica de 14 % comparada com os custos atuais.

Tabela 4 - Comparativo do custo de energia operação 02

Produção (L/s)	Operação	Volume (m ³)	Custo com Energia (R\$/dia)	Economia (%)	Economia (R\$/dia)
Atual 4000	3 CMB ligados	345.249,24	18.451,00	0,00%	-
3500	Proposta 02	301.210,01	15.781,65	14,47%	2.669,35

DISCURSÕES

Nota-se que o único cenário, da operação proposta 01, que traz uma economia relevante de energia é com a produção de 4250 L/s e desligando dois conjuntos. Apresenta 7 % de redução do custo com energia. Porém, de acordo com a Figura 12, este cenário não mantém o reservatório cheio, desequilibrando a rotina operacional ao longo dos dias. Nos demais cenários não apresenta redução no custo de energia.

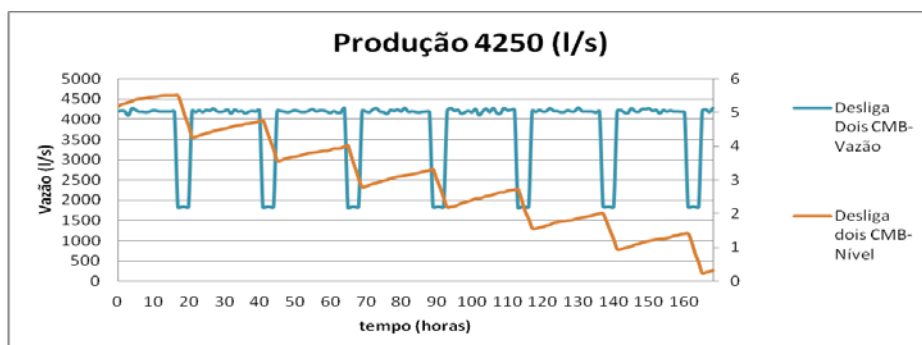


Figura 12 - Produção de 4250 L/s desligando dois CMB

O gráfico seguinte ilustra a operação de desligamento dos conjuntos motor bomba em horário de ponta da energia. Apesar da economia de energia nas 04 (quatro) horas em que a energia tem maior valor, nas 20 (vinte) horas restantes do dia, há a necessidade de aumentar a produção para que haja a recuperação do nível do reservatório. Este tipo de operação nem sempre apresenta economias no custo de energia, como mostra a Tabela 3.

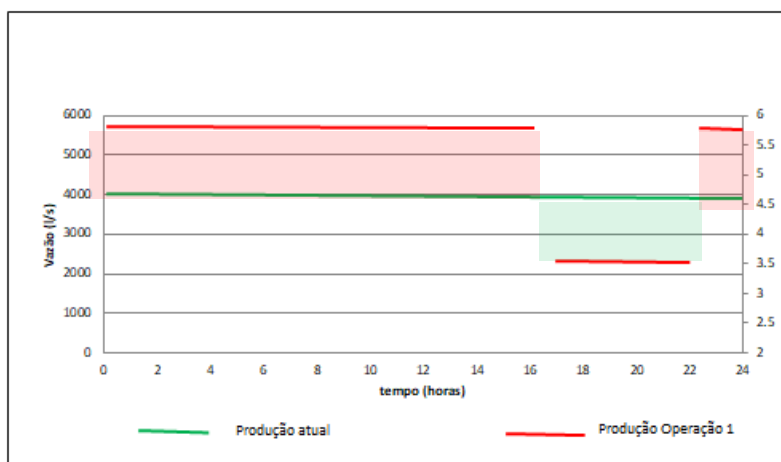


Figura 13 – Comparativo Vazão de produção da operação 01 x Atual

Já na operação proposta 02, os níveis das câmaras do reservatório do Jordão alternam entre elas, com seus níveis operando sempre caindo. Assim, no balanço de massas do reservatório, temos uma vazão de produção menor que a vazão de distribuição, gerando 24 (vinte e quatro) horas de economia de energia decorrente de sua produção inferior comparado ao cenário inicial (Figura 14).

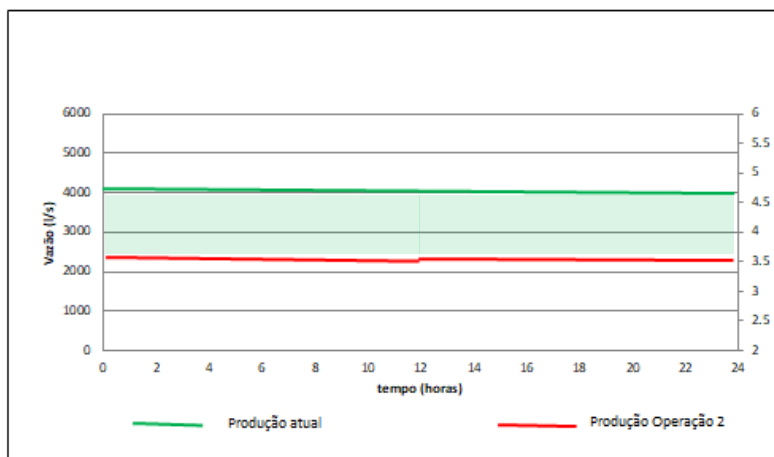


Figura 14 - Comparativo Vazão de produção da operação 02 x Atual

A operação proposta 02 traz um novo tipo de operação para reservatórios, porém, o estudo apresenta algumas recomendações.

A instalação de atuadores elétricos nas válvulas de entrada e saída das câmaras do reservatório, bem como, instalação de uma válvula controladora de vazão na saída do reservatório com atuador elétrico, com o intuito de garantir o balanço das vazões de entrada e saída do reservatório.

Instalações de telemetria na entrada e nas saídas das câmaras do reservatório do Jordão, bem como a ferramenta de visualização do mesmo (vídeo wall) no Centro de Controle de Operação – CCO, possibilitando o maior controle na operação e sempre mantendo as vazões de equilíbrio.

Recomenda-se a implantação de operadores no reservatório, visto que, podem ocorrer anomalias na rotina operacional ou até mesmo nos casos de defeitos dos equipamentos instalados.

A Figura 15 mostra o comportamento do reservatório do Jordão sem as aplicações das recomendações acima. Nesta percebe-se que ao passar dos dias os níveis das câmaras se unem e decresce a níveis inferiores a cota da geratriz superior da tubulação de saída, retornando as problemáticas da operação do cenário inicial do reservatório do Jordão.

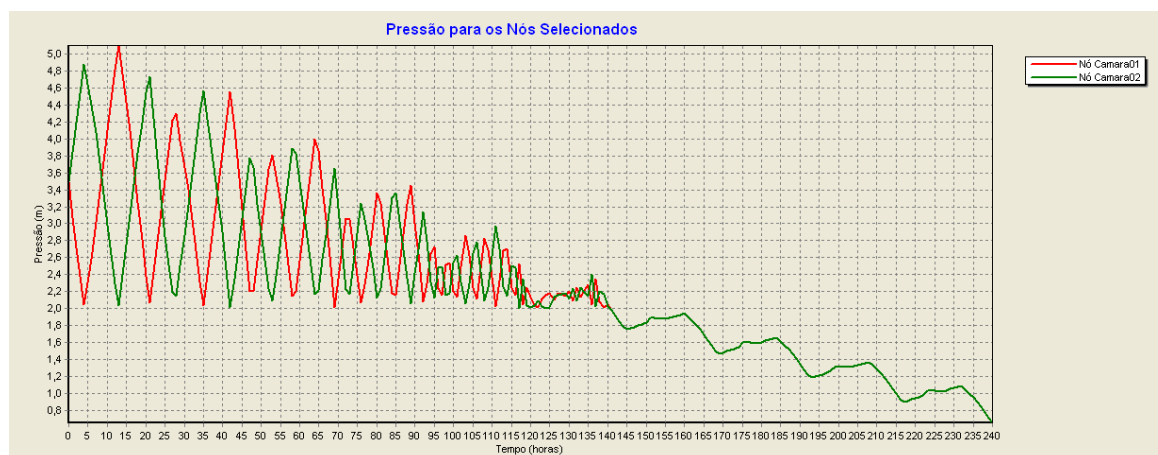


Figura 15 - Comportamento do Reservatório sem o controle operacional

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

O sistema Pirapama é o maior sistema de abastecimento de água da Região Metropolitana do Recife, com a produção de aproximadamente 4 mil L/s atende aproximadamente 3 milhões de pessoas e o mesmo contém a unidade com o maior custo de energia elétrica da companhia de saneamento do estado de Pernambuco. Neste contexto fica clara a necessidade de melhorar a operação deste reservatório, pois o seu tamanho corresponde diretamente com sua importância para o sistema de abastecimento de água da Região Metropolitana de Recife.

A primeira proposta de operação do sistema de Pirapama contém a variação da vazão de recalque da estação elevatória de Pirapama com o desligamento dos conjuntos motor-bomba da elevatória Pirapama. Nestes cenários a economia com energia elétrica não são significantes, havendo alguns cenários que apresentam gastos maiores de energia comparados com os custos do cenário inicial do estudo. Portanto deve-se ter bastante cautela na escolha destas operações que considera o desligamento no horário de ponta de energia.

A segunda proposta de operação apresentada neste estudo alterna o abastecimento de água entre as câmaras do reservatório do Jordão. Esta rotina na operação garante que ao menos uma das duas câmaras apresente nível satisfatório para o abastecimento, como também apresenta um volume de acumulação com duração média de sete horas. Mantendo sempre nível satisfatório, a operação aqui proposta elimina a possibilidade de entrada de ar na adutora, assim evitando bolhões de ar que podem interromper o abastecimento ou até mesmo originar rupturas na tubulação gerando despesa para a empresa responsável.

O Reservatório operando com volume acumulado e níveis a médio a alto traz mais operacionalização na manutenção em casos de pequenos reparos e manutenções emergenciais a montante do reservatório, proporcionando o abastecimento por um período aproximado de sete horas.

A segunda proposta apresenta uma economia no custo energética de 14% na estação elevatória de Pirapama, comparada as condições atuais, com recalque de 4000 L/s. Esta porcentagem representa um valor de aproximadamente R\$ 2669,00/dia ou ainda, R\$ 80.000,00/mês nos custos de energia na estação elevatória de Pirapama.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALBANEZE, D. B. Análise do Consumo de Energia Elétrica com a Instalação de Um Inversor de Frequência no Sistema de Abastecimento de Água do Bairro Aero Rancho em Campo Grande – MS. Trabalho de Conclusão de Curso – Centro de Ciência Exatas e Tecnologia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande - MS, 2012.
2. BEHANDISHA, Z.Y. W. Concurrent pump scheduling and storage level optimization using meta-models and evolutionary algorithms. Watertown - USA, 2014.
3. GOMES, H. P.. Eficiência Hidráulica e Energética em Saneamento: Análise Econômica de Projetos. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro, Brasil, p.114, 2005.
4. SOUSA, E. C. Inversor de Frequência e a sua Contribuição Para a Eficiência em Sistemas de Bombeamento. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Elétrica, Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia - MG, 2010.
5. TSUTIYA, M. T. Redução do custo de energia elétrica em estações elevatórias de água e esgoto. 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Foz do Iguaçu - PR. 1997.
6. TSUTIYA, M. T. Abastecimento de Água. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, Brasil, p.634, 2004.