

XI-022 - SOLUÇÕES DIFERENCIADAS DE ENGENHARIA HIDRÁULICA APLICADAS PARA ELEVAR A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO ABASTECIMENTO DE ÁGUA DO ENTORNO DO DISTRITO FEDERAL

Alice Araújo Rodrigues da Cunha⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Goiás (UFGO). Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Engenheira coordenadora de projetos da empresa SENHA ENGENHARIA.

André Araújo Rezende⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Goiás (UFGO). Engenheiro da área de projetos da empresa SENHA ENGENHARIA.

Francisco Humberto Rodrigues da Cunha⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Goiás (UFGO). Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Diretor da empresa SENHA ENGENHARIA.

Godard Tedesco Vieira⁽²⁾

Engenheiro Civil pela Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC/Go). Pós-graduado em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP) Superintendente de Projetos da SANEAGO.

Porfiro José Borges Alves Neto⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Goiás (UFGO). Diretor da empresa SENHA ENGENHARIA.

Endereços⁽¹⁾: 11ª Avenida, 817, Setor Universitário, Goiânia, GO, CEP 74.605-060, Brasil, Tel: (62) 3202-4777, e-mails: alice@senha.eng.br; porfiro@senha.eng.br; fhr Cunha@senha.eng.br; araujo@senha.eng.br.

⁽²⁾ Av. Fued José Sebba, nº 1.245, Setor Jardim Goiás, Goiânia, GO, CEP 74.805-100, Brasil, Tel.: (62) 3246-3119, e-mail: godard@saneago.com.br.

RESUMO

O presente trabalho enfoca estudos realizados recentemente para o desenvolvimento de soluções de engenharia que venham a elevar a eficiência energética no abastecimento público de água, tendo como referência um caso real de relevante proporção - a cidade de Águas Lindas de Goiás, cuja população urbana atual é de 170 mil habitantes e que se situa na região do Entorno do Distrito Federal, onde as condições topográficas das bordas do planalto tipicamente impõem elevados custos de energia no serviço de água.

São indicados métodos e procedimentos para a utilização de tecnologias e o desenvolvimento de instalações e concepções que resultem menores custos de energia em sistemas de água, tendo sido, no caso sob estudo, comprovada a viabilidade de se aproveitar a energia hidráulica dissipada nos volumes de água bruta extravasados em reservatório de acumulação e, por outros meios, obter menor dispêndio energético nos sistemas de adução.

PALAVRAS-CHAVE: Eficiência Energética, Aproveitamento Energético Hidráulico, 'TBM' – Turbina-Bomba-Motor, Redução de Custos Energéticos, Abastecimento de Água.

INTRODUÇÃO

Na atualidade as despesas com energia elétrica no serviço de abastecimento de água tipicamente representam de 10 a até mais de 50% do custo total deste, e em geral são inferiores apenas aos gastos com pessoal. Este aspecto tem motivado a busca por instalações e equipamentos em sistemas de água que resultem maior eficiência energética, principalmente com relação aos bombeamentos, que determinam cerca de 90% dos custos com energia no serviço de água. Neste sentido, cabe destacar a importância de iniciativas como o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel) / Eletrobrás, que tem fomentado um conjunto significativo de ações para reduzir e racionalizar o consumo de energia nos serviços de água e esgoto.

Não obstante, percebe-se que, de uma forma geral, os esforços se concentram no aprimoramento de equipamentos e instalações elétricas dos sistemas, enquanto que o aproveitamento da energia hidráulica

frequentemente dissipada nos sistemas de água, embora possa resultar significativo ganho econômico, quase sempre é negligenciado, pois convencionalmente esses sistemas são concebidos e projetados com foco exclusivamente em se assegurar o adequado suprimento hídrico, abstraindo interessantes possibilidades de cogeração energética.

Constata-se que tem havido pouca atenção para o desenvolvimento de concepções de engenharia que resultem sistemas hidráulicos de maior eficiência energética, que provejam, além do necessário abastecimento de água, maior aproveitamento da energia hidráulica disponível, especialmente nos frequentes casos em que é possível a cogeração ou outras formas de aproveitamento de potências significativas que são dissipadas. Não raro se depara com instalações de porte expressivo, abastecendo grandes cidades, inclusive em regiões metropolitanas, onde há desperdícios energéticos hidráulicos consideráveis.

A depender das vazões e dos desníveis envolvidos, o aproveitamento da energia hidráulica remanescente em locais apropriados dos sistemas de água é bastante viável técnica e economicamente, ao reduzir custos operacionais sem prejudicar ou até auxiliando o objetivo precípua desses sistemas, que é o suprimento adequado de água. Além disto, soluções dessa natureza se enquadram dentro dos conceitos modernos de conservação energética e de geração de energia limpa, e podem representar significativa vantagem operacional ao elevar o nível de independência do abastecimento de água em relação ao fornecimento elétrico.

Particularmente na região do Entorno do Distrito Federal, o consumo de energia no abastecimento de água é muito alto, em geral, dada a conformação topográfica íngreme das encostas do Planalto Central, em que as cotas altimétricas se elevam até mais de 200 metros desde os vales, onde fluem os mananciais, até os altiplanos, nos quais se desenvolvem as grandes aglomerações urbanas. Em tais circunstâncias é ainda mais relevante o emprego de tecnologias que possibilitem obter maior eficiência energética nos sistemas de água.

Neste contexto, recentemente foram realizados estudos técnicos buscando definir soluções de engenharia que venham a propiciar maior eficiência energética ao futuro sistema de abastecimento de água da cidade de Águas Lindas de Goiás, surgida há poucas décadas e que se desenvolveu, com elevadas taxas de crescimento demográfico, na margem esquerda do reservatório de acumulação formado pela barragem do Rio Descoberto, construída no início da década de 1970 para abastecer o Distrito Federal - Figura 1.

Atualmente, o abastecimento de Águas Lindas é feito por meio de precárias instalações de poços, pequenos reservatórios e redes. O manancial definido para o futuro sistema que virá a abastecer a cidade é a represa do rio Descoberto, que se situa na divisa entre o Estado de Goiás e o Distrito Federal. Diante dessas circunstâncias, as companhias de saneamento dessas duas unidades federativas, a SANEAGO – Saneamento de Goiás S/A e a CAESB – Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal, se associaram num Consórcio com o fim de implantar o novo sistema.

O reservatório de acumulação do rio Descoberto atualmente supre demanda da ordem de 5 m³/s, para abastecimento do Distrito Federal, e a cidade de Águas Lindas demandará mais 0,8 m³/s em médio prazo. Além disto, há o compromisso ambiental de se descarregar continuamente para jusante a vazão de 0,75m³/s, com o fim de manter perene o curso d'água abaixo da barragem (em concreto) a qual propicia queda bruta da ordem de 21,7 m, com nível máximo normal de montante na elevação de 1.030,0 m e nível médio de jusante na elevação 1.008,3 m, no vão central, onde há o vertedor. O reservatório opera normalmente entre as cotas 1.030 e 1.020 m, com volume útil da ordem de 75 hm³. A MLT - Vazão Média de Longo Termo - do rio Descoberto observada no período entre 1975 e 2007 foi de 7,9 m³/s.



Figura 1 – Cidade de Águas Lindas, Barragem Descoberto e Divisa Goiás - DF.

Os estudos abordados neste trabalho abrangeram simulações com base em modelos hidráulicos teóricos e comparações econômicas e de aspectos operacionais entre concepções convencionais de engenharia e diferenciações tecnológicas introduzidas com o objetivo de reduzir o consumo de energia no abastecimento de água da cidade de Águas Lindas, por meio de:

- aproveitamento hidroenergético dos volumes extravasados na barragem do Descoberto para movimentar bombas da elevatória de água bruta do sistema;
- definição do melhor posicionamento altimétrico da Estação de Tratamento de Água buscando maximizar o resultado econômico do aproveitamento hidroenergético para o bombeamento de água bruta;
- definição do melhor posicionamento altimétrico dos reservatórios de distribuição e da melhor forma de alimentação destes para tornar a adução de água tratada mais eficiente do ponto de vista operacional e energético.

Os resultados deste estudo subsidiaram a definição da concepção de engenharia para o desenvolvimento do projeto do novo Sistema de Abastecimento de Água de Águas Lindas.

MATERIAIS E MÉTODOS

A viabilidade econômica de aproveitamento da energia hidráulica dissipada nos volumes de água bruta extravasados em um reservatório de acumulação destinado ao abastecimento de água depende basicamente da potência aproveitável – ou seja, vazão e altura da queda *versus* persistência dos extravasamentos – e das condições locais para aproveitamento da energia, especialmente com relação às instalações necessárias e à possibilidade de utilização da energia mecânica gerada para movimentar diretamente bombas do próprio sistema de água.

Em geral, quando essas condições são satisfatórias os ganhos econômicos e operacionais se elevam muito, sendo particularmente relevante o aproveitamento da energia na forma mecânica, já que a hipótese de gerar eletricidade é desfavorável, porquanto eleva as dissipações de energia em sucessivas conversões, bem como os custos de implantação e manutenção das instalações (que neste caso incluem gerador e equipamentos de excitação e controle elétrico). Ademais, a venda de energia elétrica introduz complicações do ponto de vista administrativo e é remunerada muito abaixo das tarifas pagas pelo consumo de mesma potência.

Diante disto, a avaliação da viabilidade econômica do aproveitamento energético dos extravasamentos de água bruta na barragem do Descoberto considerou unicamente a hipótese de acionamento de bomba do próprio sistema de água diretamente pela turbina hidráulica, sem gerar eletricidade, pelos motivos acima expostos.

Para a avaliação das instalações e equipamentos mais adequados ao aproveitamento de energia, o sistema hidráulico foi modelado e teve seu funcionamento simulado sob diferentes configurações, por meio de *softwares* adequados, tendo sido utilizados os programas ‘WaterCAD’ (para o estudo hidráulico das condições de escoamento em regime permanente) e ‘Hammer’ (para a simulação da ocorrência de transientes hidráulicos).

A investigação de viabilidade hidrológica do aproveitamento energético dos excedentes de água bruta envolveu simulações hidrológicas e de geração de energia, determinando-se os volumes dos extravasamentos (sem e com aproveitamento energético) e o potencial de geração, tendo em vista as vazões destinadas aos sistemas de água supridos pela barragem do Descoberto (5 m³/s atualmente e até 6 m³/s no futuro).

As referidas análises consistiram inicialmente de simulações que diagnosticaram o comportamento dos níveis d’água e vazões ocorrentes no reservatório, ainda sem a hipótese de geração energética, no sentido de se confirmar os níveis desejados de garantia para dois cenários de abastecimento: 5 m³/s (Cenário 1) e 6 m³/s (Cenário 2). A partir dessas simulações iniciais que mostraram os volumes excedentes (vertidos) não aproveitados, foram formuladas diversas hipóteses de motorização da geração de energia pretendida e analisadas as respectivas consequências advindas desse aproveitamento adicional das águas, no comportamento do reservatório, o qual inicialmente foi concebido apenas com a finalidade de abastecimento, sem cogeração de energia.

Em seguida, foi desenvolvida a concepção básica das instalações para aproveitamento energético e os estudos de avaliação da viabilidade de utilização da energia mecânica gerada para a movimentação de bombas das próprias instalações do sistema de água, prognosticando-se por meio de simulações, o comportamento do ‘nível d’água no reservatório’ *versus* ‘vazões’, sem e com geração de energia, bem como a permanência de potências geradas garantindo-se a vazão necessária para o abastecimento público de Brasília e de Águas Lindas.

Os estudos energéticos foram realizados em conformidade com os procedimentos definidos pela ANEEL para usinas hidrelétricas classificadas como “Pequena Central Hidrelétrica – PCH”. Esses estudos tipicamente incluem a caracterização dos seguintes parâmetros básicos:

- Nível d’Água (NA) máximo normal do reservatório;
- Máxima depleção operativa do reservatório;
- Queda de referência; e,
- Queda de projeto.

Os estudos de ‘máxima depleção’ em reservatórios para o fim de aproveitamento energéticos são realizados por meio de simulações comparativas de geração de energia até o ponto em que se obtém vantagem no deplecionamento, sem prejuízo da finalidade precípua do reservatório, que é o abastecimento público.

A ‘queda de referência’ é a queda líquida para a qual a turbina hidráulica, com a abertura máxima, fornece a potência nominal da máquina acionada. Normalmente, esta queda de referência, ou ‘nominal’, é a que corresponde à permanência de 95% do tempo. Já a ‘queda de projeto’ diz respeito à queda líquida para a qual deve ser fixada a máxima eficiência da turbina e corresponde à queda líquida média resultante da simulação do histórico de vazões disponíveis.

No caso em tela, a partir das simulações iniciais, que demonstraram que os volumes vertidos seriam significativos, foram formuladas hipóteses para o aproveitamento energético pretendido e analisadas as correspondentes consequências no comportamento do reservatório do rio Descoberto, o qual, vale ressaltar, foi construído apenas com a finalidade de abastecimento de água, sem geração de energia.

Após determinada a disponibilidade energética, foi efetuada a modelagem do sistema hidráulico e simuladas as condições operacionais deste, de maneira que puderam ser definidas e otimizadas a concepção das instalações para aproveitamento energético no bombeamento de água bruta, bem como do sistema hidráulico como um todo.

Na concepção do sistema hidráulico, foram avaliadas algumas hipóteses para a localização altimétrica da futura Estação de Tratamento de Água (ETA) de Águas Lindas, para onde a água bruta será bombeada, simulando-se, com o auxílio do programa WaterCAD, as duas alternativas previamente selecionadas como as

mais favoráveis, para se determinar a que resultao maior ganho econômico em termos energéticos na operação do sistema de água.

Uma vez definida a localização ótima da ETA, foram buscados os melhores posicionamentos planialtimétricos para os reservatórios de distribuição do sistema de água e as melhores formas de alimentação destes com o objetivo de tornar a adução de água tratada mais eficiente, tanto do ponto de vista operacional, quanto energético. Ou seja, nesta fase dos estudos, a partir de modelagens e simulações do comportamento hidráulico do sistema de adução e reservação, com o uso do WaterCAD, foram verificadas os custos energéticos e o desempenho operacional, em termos de vazão aduzida sob condições críticas, em diferentes hipóteses de configuração das instalações do sistema, objetivando definir as melhores soluções para: (1) a localização dos reservatórios; (2) os percursos das linhas de adução; e (3) o ponto de alimentação dos reservatórios - por cima ou por baixo.

RESULTADOS OBTIDOS

Quanto ao aproveitamento hidroenergético dos volumes extravasados na barragem do rio Descoberto, para reduzir o consumo de energia elétrica no bombeamento de água bruta, concluiu-se pela viabilidade da instalação de uma turbina hidráulica do tipo Francis, com potência de 1 MW, para impulsionar diretamente (transmissão de energia mecânica) uma das duas bombas da elevatória de água bruta que abastecerá a cidade de Águas Lindas. Apenas nas épocas em que não houver volumes de água excedentes que possam movimentar a turbina, é que a bomba será impulsionada por motor elétrico.

Foi assegurada a premissa de que o aproveitamento hidrenergético não afetará a finalidade precípua do reservatório de acumulação, que é o fornecimento de água para o Distrito Federal (Sistema Descoberto) e em breve também para a cidade de Águas Lindas, pois os resultados da simulação do nível d'água no reservatório com o aproveitamento energético indicaram que não há elevação do risco hidrológico para o suprimento de água, conforme demonstra o 'Histórico Simulado do Nível de Água no Reservatório do Rio Descoberto Com e Sem Aproveitamento Energético' (Figura 2), sendo da ordem de 3 metros o máximo deplecionamento viável para cogeração de energia a partir do Reservatório Descoberto.

Os estudos mostraram que o aproveitamento energético deverá operar durante a média de 21% do tempo, com potência gerada de 1 MW (1.360 HP). No restante do tempo, em que a turbina não puder ser acionada (épocas secas), a bomba deve ser movimentada por motor elétrico – Figura 3.

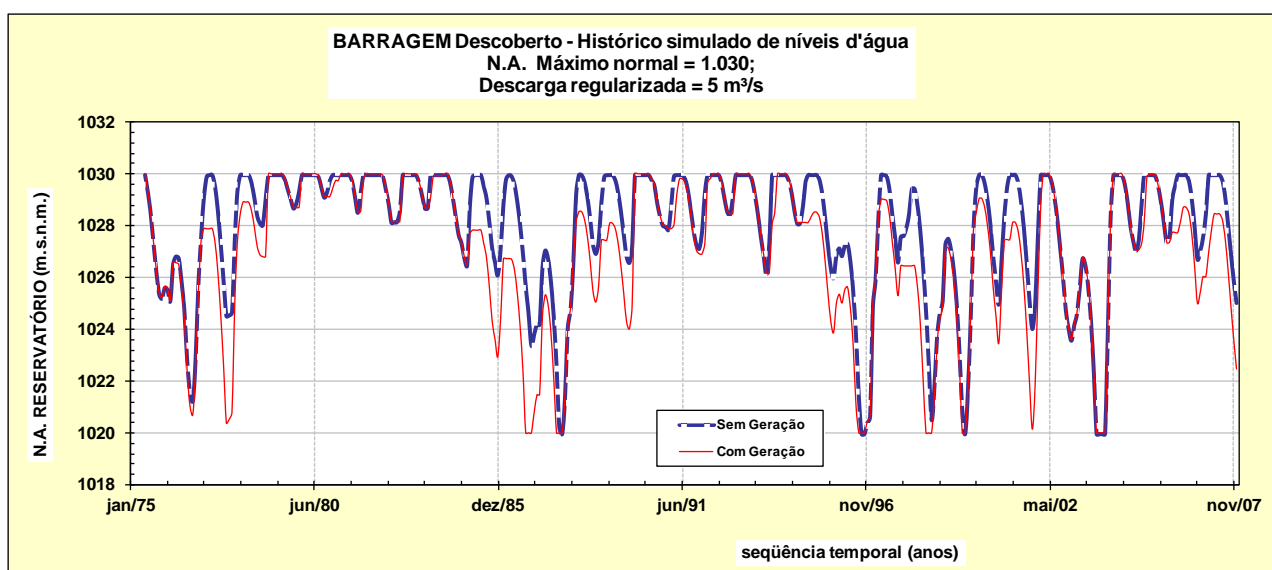


Figura 2 – Histórico simulado do nível de água no Reservatório do rio Descoberto, com e sem aproveitamento energético.

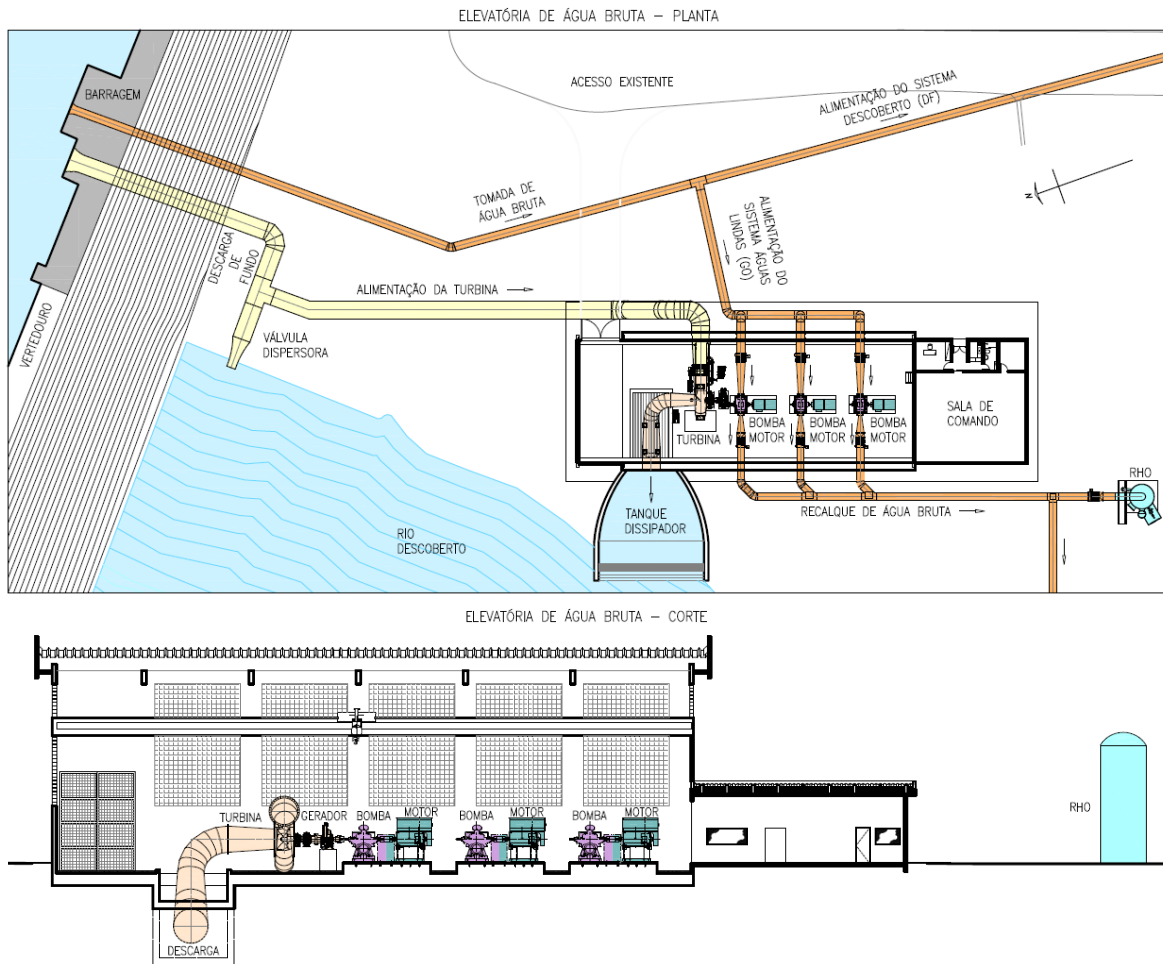


Figura 3 – Instalações definidas para a Elevatória de Água Bruta destinada ao abastecimento da cidade de Águas Lindas, com aproveitamento energético.

Os estudos também determinaram a localização altimétrica da Estação de Tratamento de Água para abastecer Águas Lindas que leva à maior eficiência energética, tendo em vista a potência aproveitável dos excedentes extravasados na barragem do Descoberto e a conformação topográfica da área urbana a ser atendida pelo sistema de água. Dentre as duas hipóteses previamente selecionadas para a localização da ETA (nas elevações de 1.125 m e 1.150 m - Figura 4), resulta maior proveito energético no caso da área de maior altitude.

Quanto aos estudos para a definição do melhor posicionamento geográfico dos reservatórios de distribuição e da melhor forma de alimentação destes, objetivando tornar a adução de água tratada mais eficiente do ponto de vista operacional e energético, foram realizadas simulações do funcionamento hidráulico do sistema de adução e reservação para as hipóteses mais promissoras de localização dos reservatórios e para as opções de alimentação destes, por cima e por baixo, com a avaliação dos correspondentes custos energéticos. Esses estudos buscaram tornar os bombeamentos de água tratada mais eficientes elevando a capacidade de adução em momentos críticos (quando os volumes de água nos reservatórios estão muito baixos) e reduzindo o consumo energético na adução.

Ao final foi obtida a melhor configuração - dos pontos de vista econômico e operacional - para o sistema de adução e reservação (Figura 4), mediante o cômputo, segundo cada alternativa, das capacidades de adução e dos custos de implantação e de operação, no horizonte de 20 anos, em termos de valor presente. Verificou-se que a alimentação dos reservatórios por baixo resulta consumo de energia 3,3% menor do que por cima e, ao mesmo tempo, capacidade de adução 5,3% maior na média diária e de 7% a mais nos períodos críticos (reservatórios de jusante com níveis de água abaixo de 1/3 do máximo).

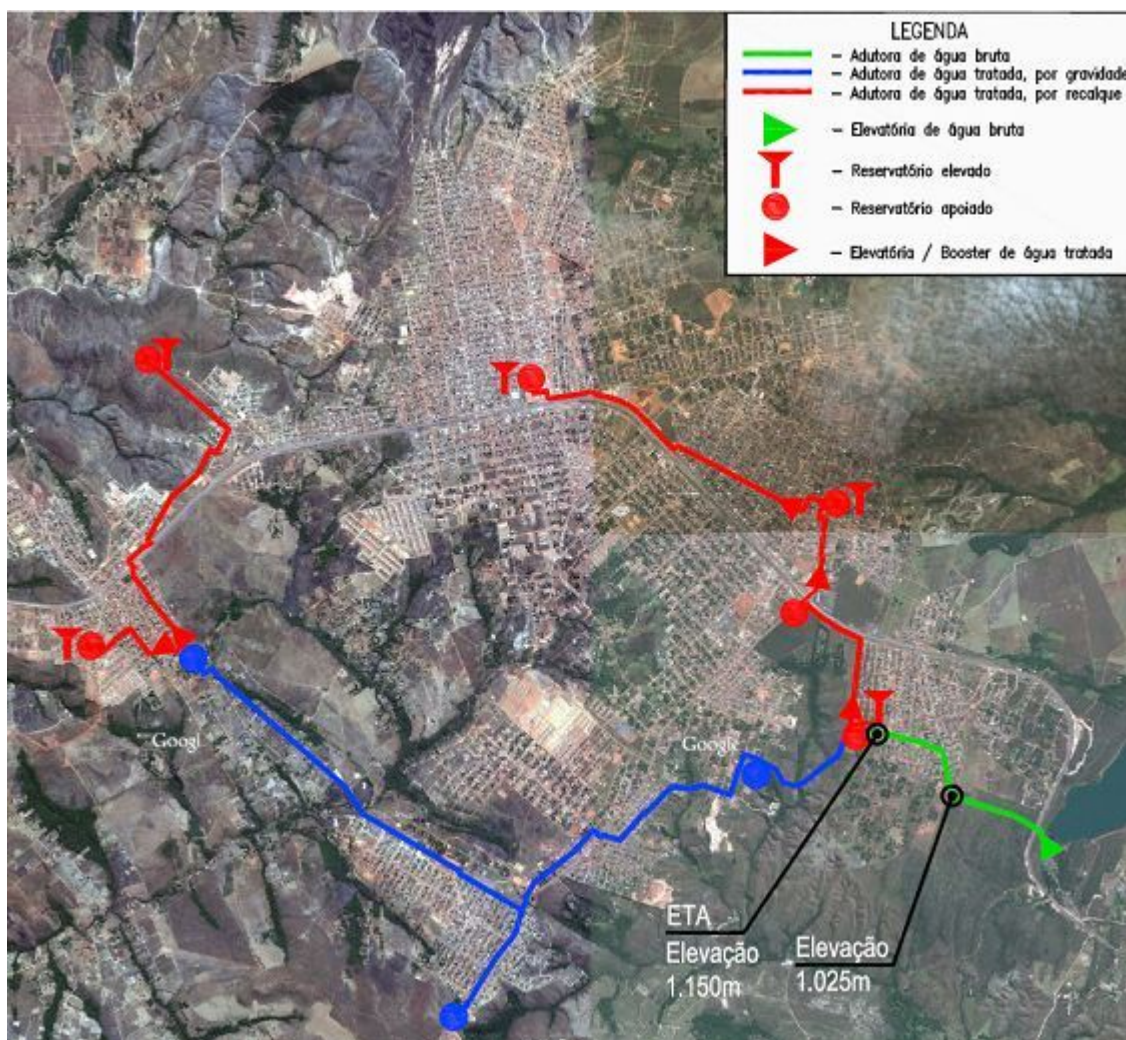


Figura 4 – Configuração de melhor eficiência energética e operacional para o SAA Águas Lindas. Portanto, as avaliações econômicas e operacionais demonstraram a viabilidade das soluções de engenharia hidráulica aplicadas, no caso, para se elevar a eficiência energética no abastecimento de água.

A economia nas despesas operacionais com energia resulta 21% em relação às soluções convencionais, alcançando o montante de R\$ 350 mil por ano, enquanto que o custo para a implantação das instalações associadas ao aproveitamento energético é da ordem de R\$ 3 milhões. Ficou demonstrado que, no horizonte de 20 anos, a maior eficiência energética gera economia suficiente para definir a concepção de engenharia do sistema de abastecimento de água.

Quanto aos aspectos operacionais, em que pese a maior mecanização do sistema de água pela introdução de turbinas hidráulicas para acionar bombas, prevalecem os benefícios especialmente pela:

- possibilidade de funcionamento do sistema de produção de água na falta de energia elétrica;
- maior capacidade do sistema de adução, principalmente quando mais se necessita veicular vazões maiores (ou seja, nos momentos críticos, quando os reservatórios de distribuição estão com níveis de água muito baixos); e,
- menor dependência do suprimento elétrico.

CONCLUSÕES

Os estudos demonstraram a viabilidade econômica e operacional da introdução de soluções de engenharia hidráulica diferenciadas em relação às convencionalmente utilizadas nos sistemas públicos de água, com o propósito de elevar a eficiência energética na adução de água e, portanto, reduzir custos operacionais.

As tecnologias utilizadas para este fim se enquadram dentro de conceitos modernos de conservação energética e de cogeração de energia limpa, e trazem vantagens operacionais estratégicas para o serviço de água ao reduzir o nível de dependência deste em relação ao fornecimento elétrico, bem como ao elevar a capacidade de escoamento no sistema de adução, especialmente nos momentos críticos em que ocorrem baixos volumes de água nos reservatórios de distribuição.

Tanto quanto possível, os aproveitamentos energéticos devem ser utilizados diretamente nos próprios sistemas de água, sob a forma mecânica, principalmente em bombeamentos e sem gerar eletricidade, pois esta última opção resulta maior complexidade das instalações, maior custo de implantação, menor eficiência energética global e, portanto, pior resultado econômico.

No presente caso, os custos e os aspectos operacionais concernentes às soluções de engenharia hidráulica introduzidas com o objetivo de reduzir o consumo energético foram vantajosas ao ponto de definir a concepção de engenharia do futuro Sistema de Abastecimento de Água para a cidade de Águas Lindas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12.211 - Estudos de Concepção de Sistemas Públicos de Abastecimento de Água. Rio de Janeiro, 1992.
2. TUCCI, C.E.M. Hidrologia - Ciência da Aplicação, 1ª Edição, EDUSP. São Paulo, 1993.
3. ELETROBRÁS. Diretrizes para Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas. Rio de Janeiro, 1999.
4. CUNHA, A.A.R.; KOELLE, E.; CUNHA, F.H.R.; NETO, P.J.B.A. Redução de Custos Energéticos em Sistemas de Água pelo Aproveitamento de Excedentes Hidráulicos para a Movimentação de Bombas, 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Anais ABES. Recife, 2009.