ESTUDO PARA APLICAÇÃO DE MINIGERAÇÃO HIDRELÉTRICA EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA NA REGIÃO METROPOLITANA DA GRANDE VITÓRIA

Tiago Silva Barbosa
Engenheiro Eletricista pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) em 2008, pós-graduado em Engenharia de Controle e Instrumentação pela Faculdade do Centro Leste (UCL) em 2014, pós-graduado em Eficiência Energética pelo Instituto Federal do Espírito Santo (IFES) em 2020. Atua no saneamento desde 2008, quando ingressou na Companhia Espírito Santense de Saneamento (CESAN), trabalhando no momento com o setor de engenharia de manutenção.

Endereço: Av. Guarapari, 444, Jardim Limoeiro - Serra – ES – CEP: 29.164-120 - Brasil - Tel: +55 (27) 2127-5720 / (27) 99976-5887 - e-mail: tiago.barbosa@cesan.com.br

RESUMO

A temática da eficiência energética nos processos industriais tem atraído bastante interesse nos últimos tempos em função de fatores corporativos relevantes como redução do custo com energia elétrica, expansão industrial, otimização de processos etc. Nesse contexto, as empresas que cuidam de sistemas de abastecimento de água buscam continuamente técnicas para otimização de seus recursos, considerando que a energia elétrica representa um dos seus maiores custo de operação. O trabalho proposto analisa uma possível aplicação de reaproveitamento de energia hidráulica em elétrica, através da redução de pressão em tubulações de água, rotineiramente necessária no controle de pressões das companhias. Associado à vazão da tubulação, observa-se a perda de energia hidráulica no processo, usualmente desperdiçada na forma de ruído, calor, vibração etc. Também busca estudar uma possível aplicação prática de um produto composto de turbina, gerador de energia elétrica e unidade de controle eletrônica, cuja proposta leva em conta a instalação em uma tubulação de saída de água tratada da Estação de Tratamento de Água Vale Esperança, a maior estação produtiva da Companhia Espírito Santense de Saneamento. Finalizando o estudo, é realizado uma análise econômica do projeto, considerando custos de instalação e manutenção além da estimativa do retorno do investimento.

PALAVRAS-CHAVE: Geração elétrica, hidrogeração, sistema de abastecimento.

INTRODUÇÃO

Na atualidade a busca por utilização de energia obtidas de forma renovável na natureza vem ganhando espaço em detrimento da utilização de matrizes que agridem o meio ambiente com queima de combustíveis fósseis, por exemplo. Calcula-se que, no Brasil, a geração de energia elétrica através de fontes hídricas subiu em quase 4% entre os anos de 2017 e 2018, segundo relatório do Balanço Energético Nacional (BEN 2019). Muito desse aumento se deve em função da variação dos níveis dos reservatórios das grandes usinas hidrelétricas espalhadas pelo Brasil, que contribuem bastante com a continuidade no fornecimento de energia.

Observando essa oportunidade, diversos artigos científicos apontam para uma viabilidade técnica/econômica quando se trata do aproveitamento energético em sistemas de abastecimento de água. Em diversos pontos do sistema a pressão de abastecimento disponível é bastante superior à requerida, ocasionando problemas operacionais como desgaste prematuro dos componentes do SAA, operação no limite físico dos equipamentos hidráulicos, vazamentos principalmente no período noturno, entre outros. Exemplos de aplicação podem ser observados nos estudos de Vilanova e Balestieri (2014), Lima (2013) e Silva (2012).

O objetivo deste trabalho é apresentar uma solução viável para um desses problemas operacionais observados na Companhia Espírito Santense de Saneamento (CESAN). No caso em questão, uma das maiores saídas da Estação de Tratamento de Água (ETA) Vale Esperança, localizada em Cariacica-ES, possui um dispositivo de controle de vazão (válvula borboleta elétrica) que atualmente opera em condições de cavitação, conforme relatório técnico interno. Por definição, o fenômeno da cavitação é ocasionado em situações de redução da pressão absoluta do fluido para valores abaixo da sua pressão de vaporização. Essa condição leva a formação de pequenas bolsas ou bolhas, as

quais, pelo movimento do fluido, se deslocam para regiões de maior pressão no dispositivo, promovendo a sua implosão (MACINTYRE, 1997). Caso esse fenômeno ocorra próximo das paredes externas do dispositivo, partes do material de seu revestimento interno são desprendidas devido à súbita diferença de pressão. Ressalta-se que a aplicação atualmente em operação na ETA não está conforme os parâmetros originais de projeto, ou seja, a necessidade na alteração das vazões/pressões operacionais no ponto de estudo ocasiona esse cenário de cavitação. Além de não ser a melhor condição operacional recomendada tecnicamente para o equipamento, uma vez que apresenta uma série de desgaste mecânicos inerentes à essa operação.

Grande parte dessa energia hidráulica dissipada no dispositivo em forma de ruído, calor e vibração, poderia ser utilizada na produção de energia elétrica, reduzindo o custo de energia e demanda contratada da estação. É possível elencar os custos estimados do projeto, bem como a economia de energia, com análises em longo prazo. Portanto foi necessário estudar a aplicação, com o seu potencial de geração, além do produto dimensionado para o caso.

De forma geral, o projeto é viável em longo prazo. Isso permite garantir economia na fatura de energia elétrica associada a utilização responsável de fonte de energia renovável. Ainda é possível a expansão em outros pontos a serem investigados, principalmente onde se utilizam válvulas redutoras de pressão para controle de perdas de distribuição. Essa aplicação, entretanto, precisa ser estudada caso a caso, para se avaliar a viabilidade econômica que o investimento requer.

OBJETIVOS

Comprovar a eficácia de um projeto de minigeração elétrica utilizando uma unidade compacta de hidrogeração anfíbia.

- Levantar ao mínimo um potencial hidroenergético na Grande Vitória
- Estudar o produto sugerido na aplicação
- Avaliar o potencial de geração da aplicação
- Avaliar os custos de implantação e o retorno financeiro do projeto

METODOLOGIA

A primeira etapa do trabalho consistiu em levantar parâmetros operacionais estimados, tais como pressão e vazão médias diárias em diversos locais possíveis de realização do estudo, com vistas à determinação de cálculos de potencial de geração adequados à realidade da empresa, além de avaliar fatores impactantes para uma possível obra de implantação da solução. Em seguida, após a tabulação dos resultados, foi definido então o local de estudo, e na sequência foram levantados dados mais precisos de pressão, vazão e topografia da área, necessários para o dimensionamento do conjunto hidrogerador ideal para a aplicação. De posse dessas informações, foi então determinado o potencial de geração de energia considerando o cenário analisado e a economia anual da solução adotada. Por fim, foi realizado análise econômica do projeto, determinando o tempo de retorno do investimento (*Pay-Back*).

Inicialmente a busca por possíveis locais a serem investigados mais profundamente levou em conta alguns fatores essenciais tais como: abrangência do abastecimento, potencial de geração estimado, custo para desapropriação de terreno, custo para realização de obras civis, custo de manutenção etc. Dessa forma foram obtidos quatro locais para avaliação inicial: a barragem da ETA Duas Bocas em Cariacica-ES, a saída do reservatório de água tratada (RAT) Pedreiras em Vitória-ES, a saída do RAT Morro do Pico em Cariacica-ES e a saída para abastecimento de Vila Velha na ETA Vale Esperança, também no município de Cariacica-ES, sendo este último o melhor local para avaliação.

A ETA Vale Esperança fica localizada no município de Cariacica-ES e atualmente é a maior estação de tratamento de água da CESAN, com projeto para tratamento de cerca de 3000 l/s. Devido à sua posição geográfica elevada, o abastecimento é realizado por gravidade, portanto possui várias adutoras de saída para parte dos municípios de Vila Velha, Cariacica, Viana e Vitória. O ponto da estação que passou por avaliação foi a adutora de saída para o município de Vila Velha, mais precisamente onde atualmente existe uma válvula borboleta responsável pelo controle de vazão e pressão de saída para esse município. Trata-se de uma válvula borboleta de comando elétrico operado remotamente, diâmetro interno de 1000 mm, vazão média diária em cerca de 1000 litros por segundo e

pressão útil estimada em 15 mca. O ponto localiza-se dentro dos limites do terreno da ETA o que garante menor impacto urbano no caso de obra civil. Vale ressaltar que há um estudo realizado por uma empresa contratada da CESAN que tinha por objetivo avaliar a possível substituição do elemento de controle de vazão, devido aos efeitos da sua operação, em região de cavitação. A figura abaixo identifica a válvula em questão.



Figura 1: Local de estudo do problema

Dessa forma, o ponto escolhido para aprofundamento do estudo foi a adutora de saída para Vila Velha da ETA Vale Esperança. O fato de existir um relatório técnico avaliando uma possível substituição do equipamento de controle de vazão por outros elementos passivos reforça a necessidade de melhoria na operação da estação, na qual se torna relevante a demanda na resolução definitiva do problema. Ao se propor a instalação de elemento gerador de energia no mesmo local, que utiliza os mesmos parâmetros de projeto, observa-se uma boa oportunidade para validação dos dados e avaliação quanto ao potencial econômico da proposta.

Com base nos parâmetros estimados, foi necessário conhecer o potencial de energia hidráulica disponível, através do cálculo disposto na equação 1 (ALÉ, 2010), utilizando-se a diferença de pressão disponível, bem como a vazão que passa pelo equipamento, além da constante gravitacional e a massa específica do fluido, nesse caso a água. Reforça-se que a rede imediatamente a jusante da válvula opera pressurizada, portanto, é necessário manter o valor mínimo de pressão conforme operação normal do local para fins de abastecimento.

$$P=(Q\times H\times \rho\times g)/1000 \qquad \text{Equação (1)}$$

Onde:
P = Potência hidráulica disponível (kW)
Q = Vazão (m^3/s)
H = Diferença de pressão disponível (m)
ρ = Massa específica do fluido, no caso, da água (998 kg/m^3)
g = Aceleração da gravidade (9,81 m/s^2)

Realizado a escolha feita para o ponto de estudo, foram levantados os documentos pertinentes para o dimensionamento adequado dos componentes. Com base no relatório interno da companhia, o ponto analisado possui dados indiretos calculados através de *software* específico de simulação hidráulica. Para efeito de calibração do modelo, foram levantadas medições de vazão e pressão em um ponto a jusante da válvula, e as medições de nível do Reservatório Apoiado da ETA, com capacidade de 20.000 m^3 e do tanque de contato.

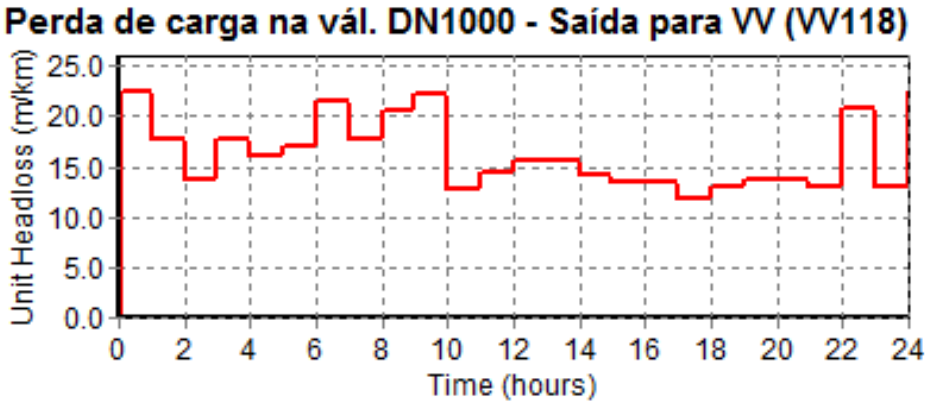


Figura 2 – Simulação hidráulica: diferença de pressão da válvula estudada

Do gráfico observado na figura 2 se obtêm alguns valores importantes para projeto. Perda de carga mínima em cerca de 13 mca, média em cerca de 17 mca e máxima em cerca de 23 mca. Importante ressaltar que os períodos de máxima diferença de pressão ocorrem com maior frequência no período noturno, influência direta do baixo consumo e consequentemente menor vazão distribuída. Esse perfil de pressões indica a operação mais severa sobre a válvula atualmente instalada, que chega a dissipar mais de 20 mca de perda de carga hidráulica, para que haja controle efetivo de pressão em determinados pontos do SAA.

Além do parâmetro informado anteriormente, foi necessário obter o perfil médio de vazões que passam pela válvula, para fins de dimensionamento adequado da máquina. Nesse caso, foi proposta uma comparação entre os valores do estudo original, datado de 2015, com valores mais recentes, em 2019. Analisando mais atentamente os valores obtidos, observa-se que o perfil permanece similar. As figuras 3 e 4 ilustram esse cenário. Ressalta-se que no estudo mais antigo, em algum dia de coleta dos dados, alguns valores foram perdidos. Isso, porém, não foi suficiente para afetar o valor médio calculado (linha preta).

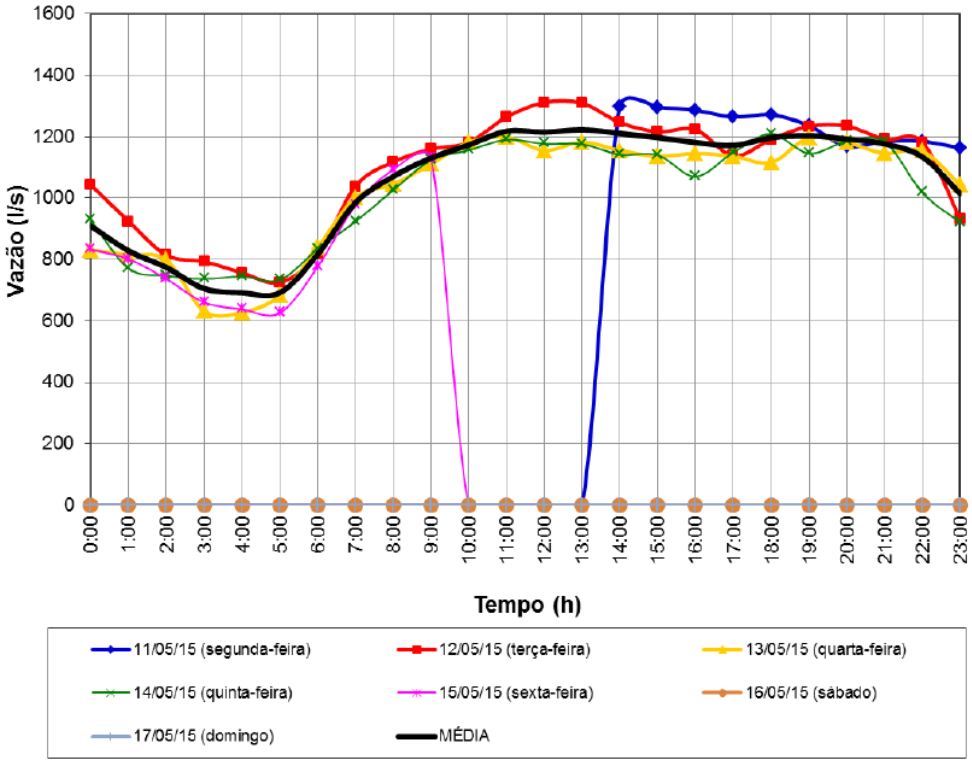


Figura 3 – Medição de vazão na adutora proposta em 2015

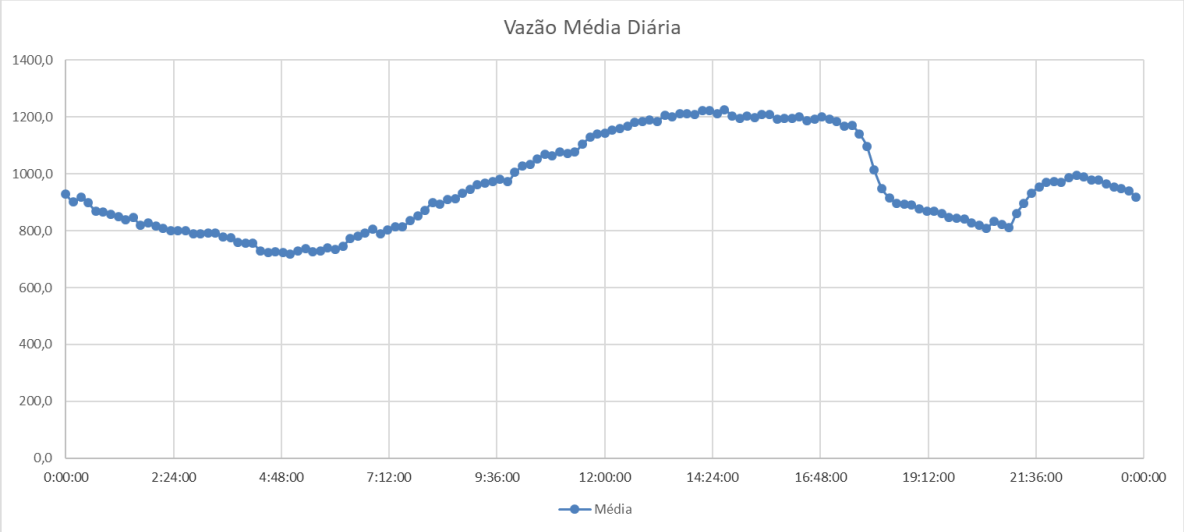


Figura 4 – Vazão média diária na adutora proposta em 2019

Conforme observado, as variações horárias indicam que o perfil atual de vazões é similar ao do ano de 2015. A diferença principal é observada entre os horários de 18 às 21h. Considerando as práticas corporativas implementadas desde o estudo original até as medições atuais principalmente relacionadas à redução de perdas na distribuição, somadas à construção e operação de novos reservatórios de água tratada e à adoção mais enérgica de uma operação mais eficiente em horário de ponta das estações de bombeamento que compõem o SAA, essa diferença é justificada. Nesse caso, a equipe de operação vem promovendo um aumento na distribuição de água tratada em horários fora de ponta, reduzindo a demanda de distribuição na ponta, portanto, reduzindo o bombeamento nesse horário. Permite, portanto, economia de energia elétrica em escala, além de uma distribuição de água tratada mais uniforme durante o dia, além de garantir o abastecimento com redução das perdas inerentes. Os parâmetros de vazão média diária, conforme figura 12 são: mínima em 700 litros por segundo, média em 1000 litros por segundo e máxima em 1200 litros por segundo.

Baseando-se nas informações anteriores, foi obtido um conjunto hidrogerador de um fabricante nacional capaz de atender aos pontos médios de vazão e pressão. O rendimento da turbina dimensionada pelo fabricante é de 81% no ponto médio de trabalho. As características do conjunto são informadas na tabela abaixo.

Tabela 1: Características técnicas do hidrogerador

PARÂMETROS	VALORES
Potência hidráulica máxima (kW)	170
Potência elétrica máxima (máxima)	120
Vazão nominal (l/s)	980
Vazão máxima (l/s)	1200
Altura manométrica de trabalho (m)	15
Rendimento hidráulico (%)	81
Tipo de turbina	*Propeller*
Tipo de construção	Monobloco
Refrigeração	Próprio fluido bombeado
Gerador elétrico	Assíncrono, de indução
Tensão (V)	220/380/440
Fator de serviço	1,15
Frequência (Hz)	60
Número de polos	6
Rotação nominal (RPM)	1160

Para ilustração mais concreta da aplicação, é apresentado na próxima figura um produto similar ao da proposta desse trabalho. Conforme exposto, o gerador trabalha enclausurado ao conjunto. A turbina, acoplada diretamente ao eixo do gerador, é posicionada de tal forma que as hélices são movimentadas pela atuação direta do fluxo de água. Ele permite um controle fino de geração, através do controlador de energia, equipamento que vem incluso no fornecimento. A instalação do equipamento, conforme ilustrado, é em linha na tubulação.

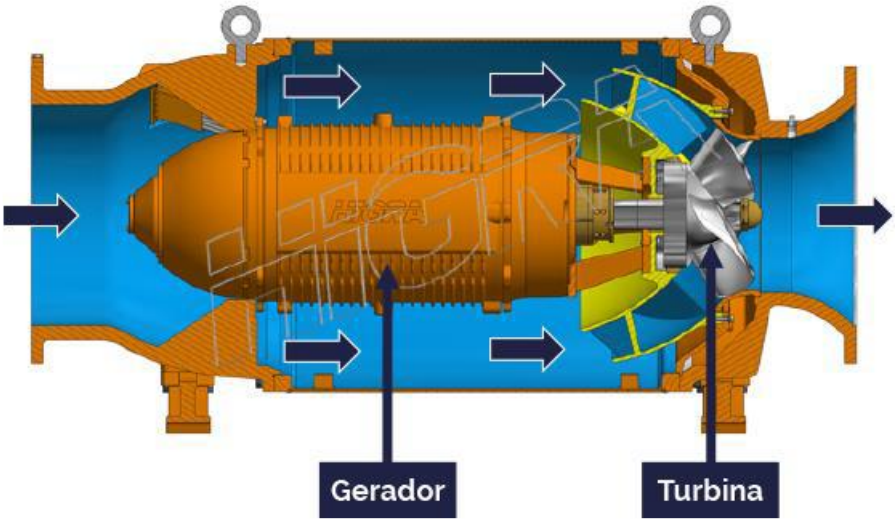


Figura 5: Hidrogerador em linha similar ao da aplicação estudada.

A diferença de pressão dimensionada para o equipamento foi de 15 mca devido ao comportamento dos valores obtidos. A média diária disponível era de 17 mca, porém para estimativas conservadoras o valor de 15 mca

atende grande parte do dia de operação normal. Entretanto, num eventual dimensionamento do hidrogerador, a queda de pressão mínima submetida ao equipamento deve ser validada em campo.

Conforme esclarecido pelo fabricante, a solução permite determinar qual a potência será gerada nos terminais do controlador de energia, uma vez que esse equipamento também faz parte da proposta. Dessa forma, a potência de geração no ponto já considera as perdas mecânicas da turbina, bem como as perdas do gerador, entre mecânicas e elétricas, além do rendimento total do conjunto. O valor médio desse parâmetro informado pelo fabricante é 98,83 kW e será estabelecida como sendo a potência de referência para fins de análise econômica. Soma-se ao fato de que não foi disponibilizada curva de rendimento pela vazão que passa pelo conjunto no momento da consulta, o que reforça a utilização do valor médio de geração nas análises.

Está sendo considerado como parte do projeto a construção de uma subestação aérea elevadora em 11,4 kV próximo ao gerador, para que seja feito a interligação elétrica até a saída do cubículo de medição da concessionária, também em 11,4 kV, em cerca de 320 m do ponto da geração. Isso está em consonância com o máximo aproveitamento energético da solução, evitando perdas ôhmicas devido à distância de cabo elétrico a ser percorrida. Vale ressaltar que esse é o ponto ótimo em função da potência para conexão elétrica e da distância do centro de carga da estação, motivo pelo qual está sendo sugerido esse caminhamento de cabo em média tensão. Apesar da potência de geração estar próximo do limite de microgeração em baixa tensão (75 kW), o que traria benefícios financeiros ao projeto, optou-se em prosseguir com a minigeração na potência escolhida, para se garantir máximo aproveitamento econômico para a companhia, além do fato de a estação já estar sendo faturada em tensão primária. Deverá também ser contratado um projeto elétrico executivo, prevendo as alterações e adequações da proteção.

RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados alcançados com o estudo foram promissores e apontam para uma tendência de grande economia, em longo prazo. Nesta seção serão realizados os cálculos da economia de energia, com base nos dados da instalação avaliada, além de serem informados os dados pertinentes à análise econômica com vistas à implantação do projeto. É importante frisar que os parâmetros do estudo foram estimados/calculados com base na realidade econômica nacional de 2019, podendo ter sofrido variação para mais ou para menos.

De posse dos dados básicos da estação, como a fatura de energia, tarifas praticadas pela concessionária, entre outros, é possível efetuar o cálculo da economia na fatura de energia elétrica durante a operação do gerador proposto. Ressalta-se que para fins de aproximação real, e com base nas medições, considerou-se o período de 20 horas por dia na operação do equipamento, incluso o horário de ponta, em 30 dias por mês. Foi considerado ainda um total de 22 dias úteis por mês para fins de estimativas de cálculo em horário de ponta. Considerando estarem previstos a instalação de *by-pass* com outro dispositivo de controle de vazão, além de controles automáticos do conjunto, a partida e desligamento em horas controladas não será um grande problema. Essa aproximação foi necessária para evitar incorrer em erros naturais de cálculo, uma vez que não é possível garantir a operação efetiva em condições ideais com vazões tão reduzidas, principalmente no período de madrugada. Esse é o momento no qual o gerador muito possivelmente ficaria desligado.

Além disso, está sendo considerado que nesse horário a demanda elétrica da estação também é reduzida. Dessa forma é possível promover redução da demanda contratada para fique dentro do proposto para o projeto. A característica operacional da estação é de demanda maior durante o dia, para operação de lavagem de filtros e de enchimento do reservatório de lavagem. Ademais, pode ser providenciado um controle adicional desse parâmetro, para que não supere o valor contratado, evitando multas por ultrapassagem.

Tabela 2: Simulação da economia mensal na fatura de energia

DESCRIÇÃO	VALORES
Consumo médio anual na ponta (kWh)	7.333,29
Consumo médio anual fora da ponta (kWh)	95.395,30
Demanda contratada (kW)	315
Potência de geração (kW)	98,83
Geração na ponta (kWh) – 3 h diárias em 22 dias úteis mensais, totalizando 66 h por mês	6.522,78
Geração fora da ponta (kWh) – 17 h em 22 dias úteis mensais mais 20 h em 8 dias não úteis mensais, totalizando 534 h por mês	52.775,22
Consumo com geração na ponta (kWh)	810,51
Consumo com geração fora da ponta (kWh)	42.620,08
Demanda contratada com geração (kW)	217
Custo tarifário com geração (R$)	17.836,48
Custo impostos com geração (R$)	7.785,12
Custo total com geração (R$)	25.621,60
Economia total mensal (R$)	36.097,40
Economia total anual (R$)	433.168,75

Tomando os valores orçados do conjunto hidrogerador com o quadro controlador de energia, para instalação na Estação de Vale Esperança, além de custos estimados de obra civil (CAPEX), e custos diretos de operação e manutenção (OPEX), é possível realizar análise econômica da viabilidade do projeto. Também é necessário reforçar que essa análise não leva em consideração cenários positivos adicionais como impacto na imagem da companhia, bem como a redução do custo de manutenção com a utilização de elementos passivos para o controle da vazão e pressão do ponto estudado. Os valores encontram-se na tabela abaixo.

Tabela 3: Parâmetros para análise econômica

CUSTOS	VALORES (R$)
Equipamentos – hidrogerador mais controlador de energia (proposta técnica do fabricante)	2.396.000,00
Projeto e Obra de Construção Civil – estimativa com base na complexidade da obra	40.000,00
Projeto e Obra de Instalações hidráulicas – estimativa com base na complexidade da obra, incluindo válvulas para *bypass*	120.000,00
Projeto e Obra Instalações elétricas – estimativa com base na complexidade da obra	40.000,00
Manutenção anual estimada com base em equipamentos hidrodinâmicos de porte similar	40.000,00
Economia Anual na Fatura de Energia	433.000,00

Para o cálculo do valor presente do projeto, o objetivo é determinar se os custos fixos e variáveis do projeto, a valor presente, são inferiores ao montante de toda economia proporcionada pela solução, no longo prazo. Vale ressaltar que o investimento inicial contempla não só a aquisição do hidrogerador e controlador de energia, como toda obra civil, mecânica e elétrica prevista. O valor dos equipamentos foi obtido através de proposta

comercial junto ao fabricante. Os custos com manutenção, conforme mencionado anteriormente, levam em consideração a manutenção de equipamentos de porte similar atualmente instalados na CESAN, tais como kits de vedação, graxas e óleos, mão de obra para realização de preventivas, entre outros. Com relação à taxa mínima de atratividade, foi considerado um valor superior à taxa de um investimento conservador de mercado, por exemplo o certificado de depósito interbancário (CDI). Os parâmetros dessa análise definidos são apresentados conforme tabela 11.

Tabela 4: Cálculo do valor presente

PARÂMETROS	VALORES
Vida útil estimada do equipamento (anos)	15
Investimento inicial (kR$) – proposta técnica do fabricante	2.596
Custos com manutenção (kR$/ano) – estimativa com base em equipamentos do mesmo porte	40
Economia prevista (kR$/ano)	433
Taxa mínima de atratividade – TMA (% a.a)	6
Valor Presente calculado (kR$)	1.221

Na análise econômica do tempo de retorno de investimento, ressalta-se que foram avaliados valores mais próximos da realidade, com a utilização de uma metodologia de aplicação de um fluxo de caixa descontado pela taxa mínima de atratividade. Na prática, torna-se uma análise mais precisa quanto ao comportamento financeiro do projeto. Utilizando-se dos valores acumulados descontados, chega-se a um gráfico e uma expressão algébrica do valor presente líquido ao longo da vida do projeto. A raiz dessa expressão algébrica é exatamente o ponto onde a curva toca o eixo das abcissas, portanto, o valor presente líquido igual a zero. Nesse instante de tempo, obtém-se o retorno do investimento. Essas informações podem ser observadas no gráfico abaixo.

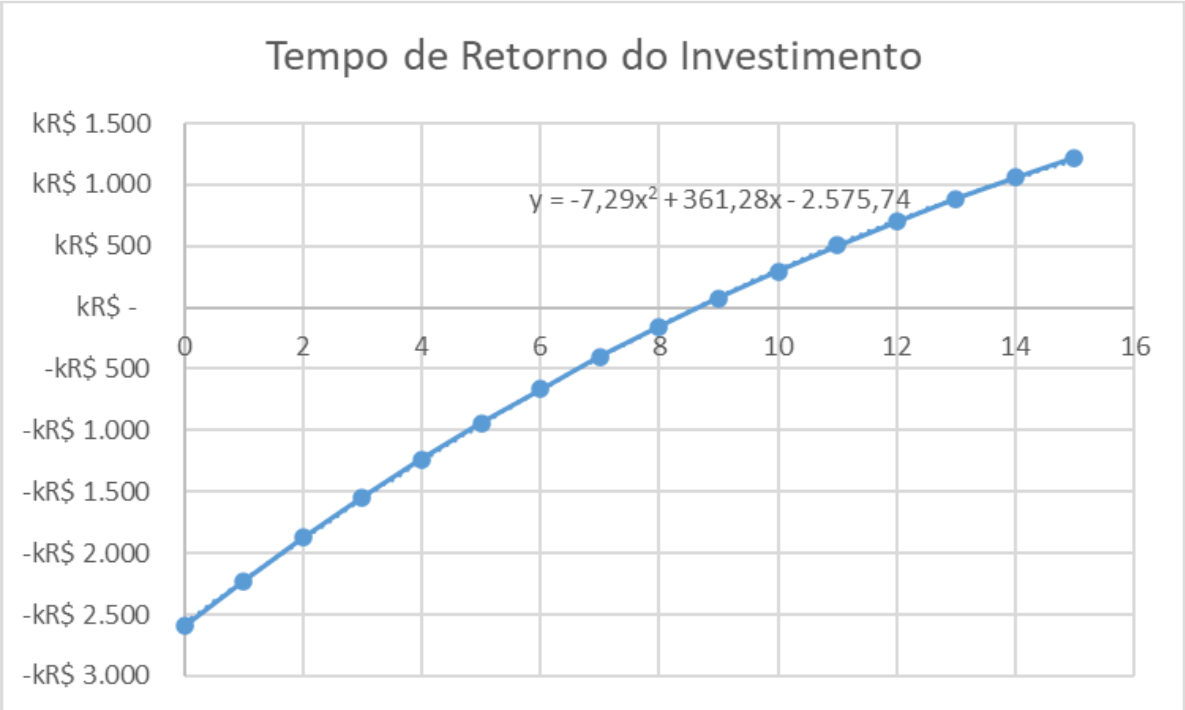


Figura 6: Gráfico para análise do tempo de retorno de investimento

Logo, observa-se o retorno do investimento em 8,6 anos. Apesar de estar posicionado na segunda metade da vida estimada do equipamento, o projeto ainda possui atratividade para investimentos pela Companhia, considerando os incentivos financeiros advindos de instituições financeiras e do governo do estado. Deve-se observar também que a partir desse período, toda economia se reflete em benefícios financeiros para a empresa. Reforça-se ainda a ideia de que o equipamento deva operar mais do que o tempo previsto de 15 anos garantindo maior retorno do que o previsto, desde que sejam aplicadas as devidas manutenções conforme planejamento do fabricante.

CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme observado, o estudo se limitou a analisar com maior profundidade uma possível aplicação de minigeração hidroelétrica na saída para Vila Velha da ETA Vale Esperança. Para esse caso, foi observado viabilidade econômica. Apesar de haver outras localidades com potenciais de geração igualmente interessantes, com diferenças de pressão disponíveis até mesmo superiores à observada no ponto escolhido, o fato de verificar a grande vazão que passa na localidade estudada é significativa nos cálculos, e faz com que a geração seja estável em grande parte do dia. Soma-se ao fato de haver dificuldades em eventual obra civil por questões de desapropriação ou baixa disponibilidade diária dos parâmetros operacionais da geração nos demais locais, além de haver estudo para substituição do equipamento atualmente instalado, o que facilitou bastante a busca e análise de dados no cenário operacional proposto. Em ocasião futura, os demais pontos podem ser avaliados tecnicamente, com dimensionamento de conjunto hidrogerador e posterior análise econômica.

Com base nos estudos realizados, observa-se que o caso apresentado possui tempo de retorno do investimento descontado em 8,6 anos. Trata-se, na realidade, de uma boa condição de investimento, com possibilidade de ganhos intangíveis à imagem bem como conhecimento técnico absorvido pelo time próprio na aplicação da solução. Além da mitigação de um problema crônico de possível indisponibilidade do dispositivo que sofre com as condições severas de cavitação.

O estudo se mostra interessante também no que tange à expansão em outras localidades com cenários similares. Grande parte das premissas aqui adotadas, deverão ser consideradas e/ou aprimoradas em outros cenários. Em outras companhias de saneamento no Brasil, por exemplo, aplicações similares já têm mostrado viabilidade técnico/econômica. Observa-se uma tendência na busca por alternativas de investimento aproveitando a energia disponível nos Sistemas de Abastecimento de Água. Esse fato se mostra alinhado com a proposta do trabalho, no qual é sugerido a substituição de elemento dissipador de energia hidráulica por equipamento gerador de energia elétrica. De forma geral, onde originalmente há um dispositivo passivo, talvez seja possível extrair energia elétrica de forma contínua com possibilidade de economia em fatura de energia. Essa proposta se mostra como solução moderna e com alta carga tecnológica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALÉ, Jorge A. Villar. Sistemas fluidomecânicos. Sistemas de bombeamento. Porto Alegre, 2010. 242 p. Apostila.

2. EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Balanço energético nacional 2019: Ano base 2018. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-377/topico-494/BEN%202019%20Completo%20WEB.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2019.

3. LIMA, Gustavo Meirelles. Microgeração em sistemas de abastecimento de água. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia da Energia, Universidade Federal de Itajubá, 2013.

4. MACINTYRE, Archibald Joseph; NISKIER, Julio. Bombas e instalações de bombeamento. 2.ed. São Paulo: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 1997. 782 p. ISBN 85-216-1086-6 14.

5. SILVA, Bruno. Levantamento do potencial energético e estudo da viabilidade econômica da geração hidroelétrica utilizando a rede pública de distribuição de água – estudo de caso: sistema de abastecimento de água de Pato Branco. Dissertação (Mestrado). Universidade Tecnológica do Paraná, 2012.

6. VILANOVA, Mateus Ricardo Nogueira e BALESTIERI, José Antônio Perrella. *Hidropower recovery in water supply systems: models and case study*. *Energy Conversion and Management*, 414-426. 2014.