



XXIII SNTPEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA

FI/GGH/05
18 a 21 de Outubro de 2015
Foz do Iguaçu - PR

GRUPO - I

GRUPO DE ESTUDO DE GERAÇÃO HIDRÁULICA- GGH

APLICABILIDADE DE MEDIDORES ACÚSTICOS DE VAZÃO EM AHES NO BRASIL

Vitor R. M. Pamplona(*)

RENNOSONIC TECNOLOGIA LTDA

Gustavo F. de Souza

RENNOSONIC TECNOLOGIA LTDA

RESUMO

No contexto de avaliação de eficiência energética em Aproveitamentos Hidrelétricos, considerando-se a diversidade de turbinas hidráulicas – em tipo, queda e vazão - existentes no Brasil, torna-se pouco trivial propor um modelo padrão de metodologia de medição da vazão turbinada. Este artigo propõe-se a apresentar as vantagens da utilização do método acústico de medição de vazão turbinada – Acoustic Transit Time (ATT), através de exemplos de aplicação direta em comparação com outros métodos. O agrupamento de parâmetros de geração hidrelétrica, junto com os valores precisos de vazão, permitem ao operador do sistema considerar, em situações diferentes, o despacho otimizado de unidades geradoras.

PALAVRAS-CHAVE

Monitoramento, Medição de vazão, Otimização de operação, Eficiência Energética

1.0 - INTRODUÇÃO

O setor energético brasileiro vem enfrentando atualmente alguns problemas referente ao abastecimento proveniente das usinas hidrelétricas, seja por eventos climáticos, assoreamento ou pela questão do uso múltiplo dos rios - comprometendo o planejamento elétrico do sistema.

Segundo publicações da empresa de consultoria PSR, 2015 (1), afirmou-se que o sistema poderia ter chegado ao final do ano com armazenamento de 36%, ao invés dos 15% atuais se fossem considerados fatores como: Assoreamento dos reservatórios, restrições elétricas e perda de eficiência da própria Usina. E adicionam: "É como se, para gerar 1 megawatt-hora (MWh), fosse preciso gastar 11% a mais de água do que os modelos oficiais indicam".

Apesar de não existir um padrão para o monitoramento da eficiência dos Aproveitamentos Hidrelétricos (AHEs) devido a sua diversidade, as metodologias para monitoramento dos parâmetros hidroenergéticos dependem de precisão nas grandezas medidas: Nível d'água, pressões hidráulicas, volumes, potência elétrica e as vazões. Pode-se dividir a necessidade de conhecimento dessas grandezas em setores, ver Figura 1.



Figura 1 – Parâmetros por etapa da geração hidrelétrica.

Na avaliação do processo, os parâmetros de níveis d'água, pressões hidráulicas na turbina e potência elétrica no gerador são facilmente mensurados com a diversidade tecnológica disponível no mercado.

Tido como parâmetro mais importante no processo, a vazão turbinada pelas unidades geradoras, geralmente é obtida através de métodos indiretos que refletem, muitas vezes, valores com exatidão questionável.

Através dos parâmetros: Potência Elétrica [P_{el}], Peso específico da água [γ], Desnível topográfico [H_g] e Vazão [m^3/s], é encontrado o rendimento global das usinas η (relacionando perdas Mecânicas, hidráulicas e elétricas), pela Equação (1) a seguir:

$$P_{el} = \gamma Q H_g \eta / 1000 \quad (1)$$

A gestão dos potenciais hidrelétricos no Brasil é feita pela Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) que através do modelo NEWAVE gerencia o despacho da energia periodicamente, em meses, semanas ou dias, de acordo com os planos relativos à demanda do Sistema. O agente gerador insere os parâmetros de controle de acordo com procedimentos de rede requeridos pelo NEWAVE.

Através do sistema NEWAVE obtém-se dados como: produtividade hidroenergética ($MW/(m^3/s)$), o polinômio cota-volume, os volumes e cotas máximas e mínimas dos reservatórios, a cota média do canal de fuga e as perdas de carga hidráulicas.

A questão abordada no presente artigo é que esses parâmetros inseridos no sistema podem estar em desacordo com a realidade das usinas, que por motivo de assoreamento nos reservatórios, sedimentação ou ineficiência dos grupos geradores, está informando uma capacidade ao ONS que não corresponde com seu real potencial de conversão hidroenergética. Isto pode acarretar na operação em sobrecarga das máquinas ou depreciação de reservatórios antes do previsto, períodos sem geração não planejados, e questionamentos acerca de sua garantia física.

O monitoramento dos parâmetros, imprescindíveis para a decisão do despacho, buscando a otimização do mesmo, pode prover maior confiabilidade ao planejamento energético no SIN – Sistema Interligado Nacional. O presente artigo tem foco na medição de vazão por através de medidores acústicos para determinação desse parâmetro com precisão e confiabilidade.

2.0 - CARACTERÍSTICAS DAS USINAS EM FUNÇÃO DO TIPO DE ADUÇÃO

Existem diversos tipos de aproveitamentos hidrelétricos de acordo com sua concepção física, ou seja, disposição do sistema entre as barragens e adução. Para determinação da melhor forma de se aplicar medidores acústicos de vazão é importante conhecer qual característica da adução, ver Tabela 1.

Tabela 1 – Características de turbinas em relação à adução

Tipo de Concentrador	Tipo de Turbinas	Tipo de Adução	Disposição da Adução	Seções Transversais da adução
CAIXA ESPIRAL	Francis	Conduto Forçado	- Exposto - Aço ao tempo - Abrigado - Blindado ou Túnel	Circular (Uniforme)
	Kaplan			
	Propeller			
CAIXA SEMI-ESPIRAL	Kaplan	Múltiplas seções	Túnel de concreto	Troncos (Convergentes)
SEM CAIXA ESPIRAL	Bulbo	Múltiplas seções	Túnel de concreto	Troncos (Convergentes)
	Pelton	Conduto Forçado	Exposto - Aço ao tempo	Circular (Uniforme)

Essas características auxiliam na determinação da metodologia a ser empregada para a medição da vazão turbinada.

3.0 - MÉTODOS DE MEDIÇÃO DE VAZÃO

Dentre os parâmetros necessários ao monitoramento hidroenergético, apenas a Vazão ainda necessita da escolha de um método preciso para sua determinação. Os principais métodos para monitoramento, ou seja, medição instantânea de vazão turbinada estão explicitados a seguir, destacando-se o método Winter Kennedy, o método acústico por Tempo de Trânsito e o método Eletromagnético. Ver Tabela 2.

Tabela 2 – Comparativo entre métodos de medição de vazão para UHE (adaptado de Andrade et al, 2003 (2)).

Método	Precisão	Interferência da qualidade da água na medição	Diâmetro de aplicação
Winter Kennedy	± 1 a 3%	Baixa	Qualquer
Ultrassom - Tempo de Trânsito *	$0,5$ a $\pm 1\%$	Alta	Mínimo de 12 mm
Pitot	$\pm 1,5\%$	Baixa	Mínimo 200mm
Magnético	$0,5$ a 2%	Baixa	25 a 3000mm

¹ De acordo com IEC60041-1991, com 4 a 8 caminhos ultrassônicos

Cada metodologia tem suas vantagens e desvantagens de acordo com sua aplicação, variando em termos de custo-benefício.

Dos métodos apresentados acima, levando em conta a condição de monitoramento instantâneo da vazão turbina, podemos considerar somente os seguintes métodos, acompanhados de suas principais características:

- Pitot O Tubo de Pitot é um dispositivo, aplicado em tubulações exposta, que necessita que os limites hidráulicos (distância de zonas de turbulência) sejam atendidos. Baseia-se na medição da pressão diferencial (estática e dinâmica) em um ponto da linha hidráulica, correlacionando esta medida geometricamente com a distribuição de velocidade na seção transversal.

Vantagens: A vantagem da utilização deste método está na praticidade da instalação.

Desvantagens: Tomada de pressão é facilmente obstruída, necessitando de intervenção.

- Winter-Kennedy: O método mais conhecido e encontrado nas turbinas hidráulicas, permite a medição indireta da vazão a partir do diferencial de pressão (dinâmica) da caixa espiral. Ver Figura 2.

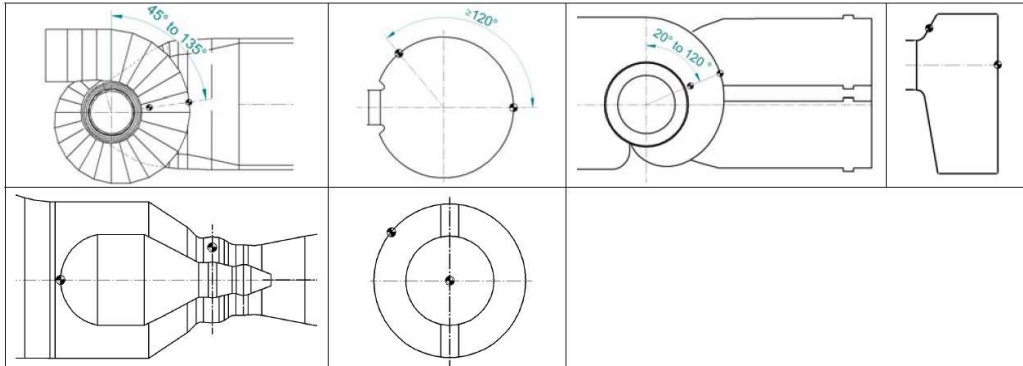


Figura 2 – esquema de aplicação do método Winter-Kennedy, posição dos medidores de pressão diferencial em diversos tipos de adução. Fonte: Rau e Eissnel, 2014 (3).

Vantagens: Praticidade – As tomadas de pressão normalmente são fornecidas e posicionadas pelo fabricante da turbina, e os transmissores de pressão diferencial são facilmente encontrados no mercado.

Desvantagens: A baixa repetibilidade da informações de pressão coletadas amplia as margens de erro desta metodologia, necessitando de uma grande massa de dados para obter-se a média. As constantes de proporcionalidade (entre pressão e vazão) são obtidas de forma experimental, condicionada a uma boa relação entre o modelo e o protótipo da turbina hidráulica. Outro ponto é a questão da manutenção das tomadas de pressão, que tendem à obstrução ao longo do tempo, em muitos caso chegando a ponto de inutilização.

- Magnético: São medidores baseados nas características de condutividade elétrica do fluido, quando imersos em um campo magnético gerado pelo equipamento. É amplamente aplicado no setor de saneamento e em centrais hidrelétricas de pequeno porte, em medições de fluxo nos sistemas auxiliares. Ver Figura 3.

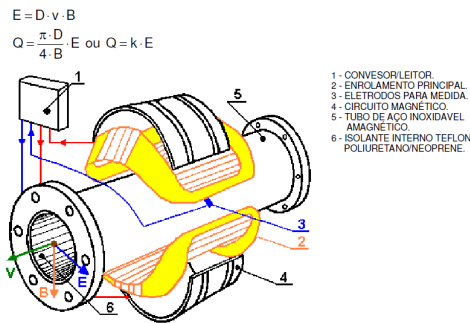


Figura 3 – Medidor Magnético. Fonte: Souza e Bortoni, 2006 (4).

Vantagens: Pela ampla aplicação no setor industrial, são facilmente encontrados no mercado

Desvantagens: Possui uma limitação de aplicação em conduto com diâmetro de 20 a 2500 mm. Para os diâmetros maiores é visto como economicamente inviável.

3.1 Destaque: Método acústico de medição de vazão

Um método muito conhecido no setor de óleo e gás (como medidores de faturamento), permite a medição de vazão através da relação direta do fluxo com a velocidade do som. Um par de transdutores acústicos é conhecido como caminho acústico. A exatidão das medições está diretamente relacionada ao número de caminhos empregados, e a disposição deles na instalação. No conceito do Tempo de Trânsito, determinam-se diversos pontos de velocidade do escoamento – permitindo o mapeamento tridimensional do perfil de velocidade, a partir da análise temporal de propagação do som no fluido. Ver Figura 4.

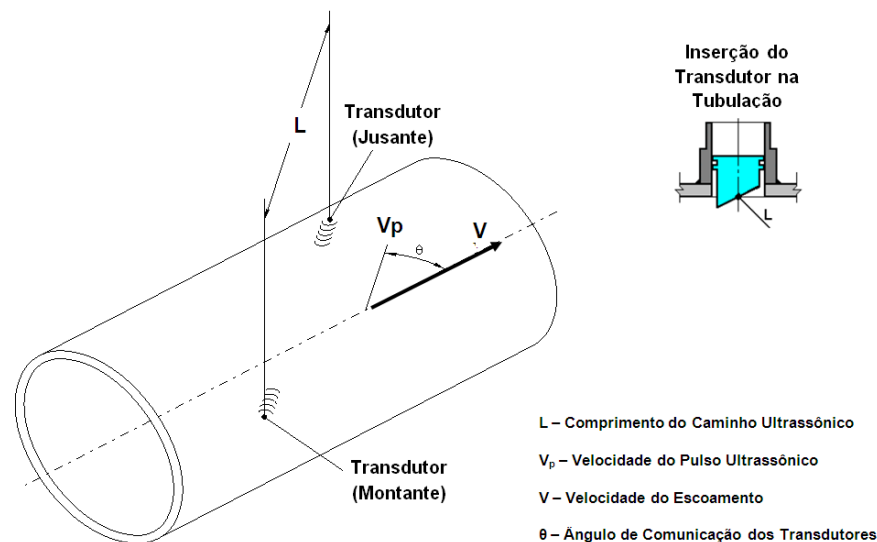


Figura 4 – Medição de vazão pelo método ultrassom por Tempo de Trânsito

Vantagens: Pode ser instalado em qualquer tipo de adutora, em diferentes configurações que aumentam a eficácia do mapeamento das velocidades. O sistema pode ter como saída a vazão instantânea - integrada pelas velocidades - e também proporciona a obtenção dos demais parâmetros utilizados no processo - como: massa específica do fluido, perfil de velocidades, etc. A vantagem da utilização é a alta repetibilidade das medições, permitindo gerenciar as informações instantâneas com maior confiabilidade. Com relação aos locais de instalação, a concepção do sistema permite a instalação em zonas de alta turbulência hidráulica, como próximos a singularidades (curvas, válvulas, etc), com redução na sua exatidão, porém mais consideráveis se comparando com outros métodos (entre 1,0% e 1,5%).

Desvantagens: Em alguns casos a instalação só viabilizado após o esgotamento do conduto forçado, executados assim em paradas programadas, para evitar perdas de faturamento da geração. A manutenção do sistema é especializada, necessitando de mão de obra qualificada. Em atendimento a principais normas técnicas, como ASME PT-18-2002 (5) e IEC 60041-1991 (6), os medidores acústicos devem seguir regras de instalação básicas para sistemas hidráulicos - como o distanciamento de zonas de turbulência. Este ponto vem sendo discutido e comprovado com aplicações atípicas, demonstrando que esta tecnologia permite obter bons resultados de medição devido a sua versatilidade técnica.

A primeira aplicação dos medidores acústicos por Tempo de Trânsito deu-se no ano de 1963, pela empresa japonesa Tokio Keiki, LIPTAK 2009 (7). Desde então, a evolução desta tecnologia permite que a sua aplicação seja vista como uma forma confiável e segura de se mensurar os fluidos em processo. No ponto de vista econômico, o sistema ocupa uma importante posição, quando se comparado com outros métodos de funcionalidade semelhante.

A relação precisão versus viabilidade econômica dos diversos métodos é ilustrada a seguir. Ver Figura 5.

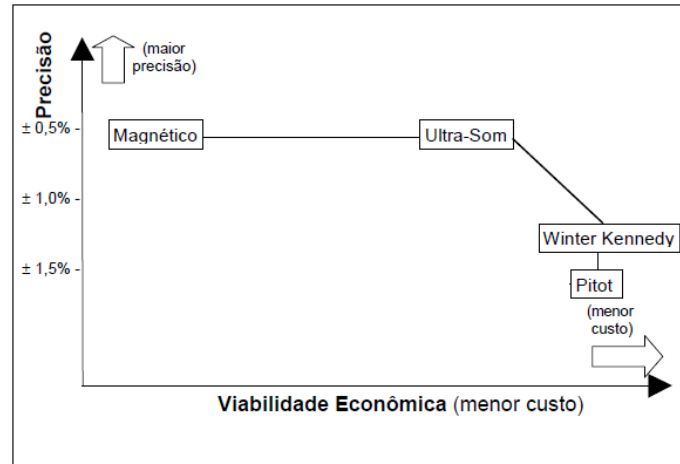


Figura 5 – Gráfico da Precisão x Viabilidade Econômica de sistemas de monitoramento de vazão. Fonte: adaptado de Andrade et al, 2003 (2)

4.0 - NORMATIZAÇÃO E MEDIÇÃO DE VAZÃO

Hoje não existe um padrão para monitoramento de vazão em turbinas hidráulicas. Em questões normativas, existe uma discussão aberta sobre qual metodologia é a mais confiável, podendo ser utilizado como um indicador real e instantâneo do fluxo transposto pelas unidades geradoras de uma hidrelétrica.

As normas existentes, na área de turbinas hidráulicas apontam métodos de ensaio – como o Winter-Kennedy. Este por sinal é um método de aceitação das turbinas, ou seja, utilizado para verificar se o “entregue é o projetado”. Esta metodologia possui particularidades – técnicas e operativas – que inviabilizam sua aplicação para um monitoramento contínuo das vazões, pelas desvantagens apontadas no comparativo apresentado anteriormente.

Segue a relação de normas e particularidades:

- ✓ IEC 60041 (1991): Tem o método acústico como aceito (Apêndice J da norma), mas tendo outros como métodos primários.

Sendo antiga, esta norma não reflete realidade e abre as seguintes brechas para que nos comissionamentos:

1. Não seja verificada a real eficiência da turbina hidráulica, baseando-se somente em verificações relativas;
 2. Definição que máquinas “tipo” possuem a mesma curva de eficiência, onde estudos recentes apontam para controvérsias. Em um exemplo de estudo foi encontrada uma diferença de cerca de 1% em ensaio e em estudo realizado por Rau e Eissner (2014) (2), comparando as medições de vazão entre os métodos Winter-Kennedy e Gibson;
- ✓ ASME PTC-18 (EUA): Define método acústico como método primário;
 - ✓ EUA, CANADA e AMÉRICA DO SUL: O método acústico é vastamente utilizado para o monitoramento da vazão em usinas hidrelétricas.

Na falta de uma norma que estabeleça os métodos para o monitoramento das vazões turbinadas pelas unidades geradoras de hidrelétricas, podemos aceitar por proximidade de objetivos as citadas acima - ASME e IEC. Ambas descrevem as diferentes formas de instalação e configuração dos medidores acústicos por Tempo de Trânsito, bem como esclarecer pontos técnicos determinantes para viabilizar a sua aplicação.

5.0 - CASOS DE APLICAÇÃO DO MÉTODO ACÚSTICO PARA MONITORAMENTO DA VAZÃO EM AHES

A seguir, são apresentados alguns casos realizados pela Rennosonic Tecnologia Ltda. E seus parceiros, onde foi aferida a vazão e a partir dela possibilitou-se ajustes na operação das turbinas em alguns casos.

5.1 Caso A – Ensaio com o método acústico e comparativo com dados do método Winter-Kennedy

É possível verificar as diferenças na medição de vazão, utilizando-se o método acústico intrusivo (com imersão dos transdutores no fluxo) e método Winter-Kennedy. Para o ponto de maior potência o medidor acústico apontou um consumo maior em 4% em relação ao outro método. Neste caso o cliente optou pelo ajuste da abertura das pás do distribuidor, buscando uma melhor condição de eficiência para a unidade geradora. Ver Figura 6.

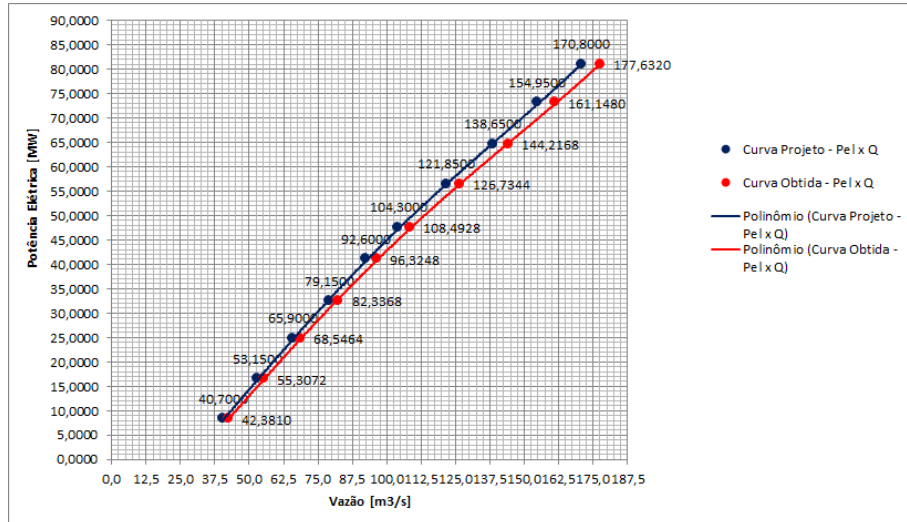
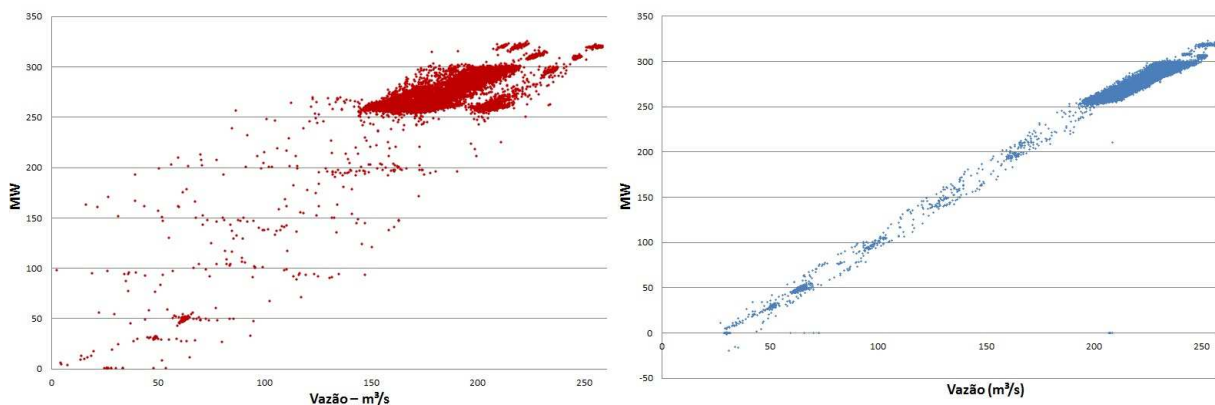


Figura 6 – Caso A - Comparativo entre a medição de vazão – Winter Kennedy x Ultrassônico

5.2 Caso B – Ensaio de desempenho em uma turbina utilizando-se o método acústico e o método Winter-Kennedy para medição da vazão.

Ilustrando um outro caso, a seguir apresentam-se informações coletadas simultaneamente durante um ensaio de desempenho da turbina, utilizando dois métodos distintos - o método Winter-Kennedy e o método acústico por Tempo de Trânsito, respectivamente. Ver Figura 7.



. Figura 7 – Caso B – Comparativo de Dados da medição – Método Winter Kennedy e Método Acústico. Fonte: Alden & Rennasonic, 2010 (8)

Na comparação entre as duas curvas é possível visualizar curvas com tendências similares, porém, o método Winter-Kennedy reflete em uma alta dispersão dos pontos, o que impossibilita a indicação instantânea da vazão.

Tendo que os medidores acústicos por tempo de trânsito operam como perfiladores de velocidade, é possível visualizar uma rápida estabilidade do sinal, mesmo com as condições transitórias geradas no circuito hidráulico, na variação de carga da unidade geradora.

5.3 Caso C – Medição de vazão utilizando-se o método acústico de 8 caminhos próximo a uma válvula borboleta

A seguir podemos visualizar uma particularidade dos medidores acústicos por tempo de trânsito, na característica de múltiplos caminhos (conforme sugerido pelo norma IEC 60041). Foram instalados 08 (oito) caminhos, em planos cruzados, a jusante da válvula borboleta da unidade geradora, com as seguintes características.

- Diâmetro do Conduto Forçado: 3.500 mm
- Distância da válvula (aberta): 1.250 mm

Ver Figura 8.



Figura 8 – Caso C - Sistema de medição de vazão acústico do tipo intrusivo instalado próximo à válvula borboleta de uma turbina Francis.

A seguir é possível verificar que na condição de aplicação citada acima os valores de vazão apresentam, em níveis médios, uma baixa dispersão em relação a curva de tendência para variações de potência de 70% a 100% da potência nominal. Para este caso utilizou-se um indicativo médio para uma frequência de aquisição de 100 Hz. A turbina ensaiada não possuía informações de projeto (curva de colina), sendo a vazão medida durante o ensaio - pela boa qualidade das informações - utilizada como referência operacional da unidade geradora. Ver Figura 9.

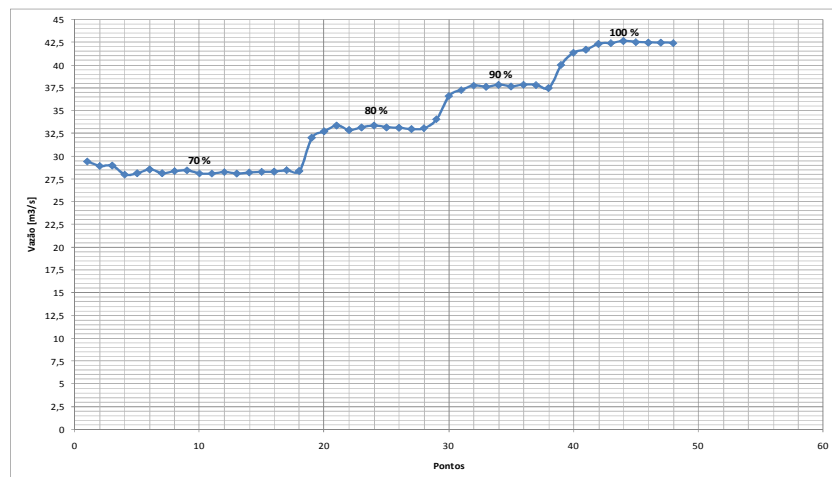


Figura 9 – Caso C - Curva de tendência da vazão medida pelo sistema intrusivo de 8 caminhos acústicos.

6.0 - OUTRAS APLICAÇÕES DO SISTEMA ACÚSTICO

6.1 Aplicação em locais atípicos

As turbinas tipo Kaplan de grande porte possuem configurada por múltiplas seções de engolimento. Essas seções de engolimento possuem formato irregular, impossibilitando a instalação do sistema acústico por Tempo de Trânsito, caso sejam seguidas as normas IEC 6041-1991. Porém existem casos reais onde é comprovada a viabilidade técnica de instalação desse sistema. Este tipo de aplicação é permitida pois os medidores acústicos

oferecem o potencial de mapear em tempo real os perfis de velocidade do escoamento - quando operado em múltiplos caminhos e planos cruzados. Assim, seções irregulares são perfeitamente monitoradas e a faixa de aplicação física destes medidores torna-se maior. A instalação do sistema ultrassônico de medição de vazão em locais fora de padrão das normas atuais tem sido discutida, pois bons resultados vêm sendo encontrados em instalações com particularidades que dificultassem a aplicação dos valores normatizados.

Exemplos destes tipo de instalação vem sido estudados e os resultados apresentados de forma satisfatória. LARREATEGUI e WALSH (2014) (9) analisam uma operação de extensão da usina San Esteban II, na Espanha, usina colocada em operação em 1956, com uma geração total de 240 MW e vazão de 300 m³/s. Ver Figura 10.

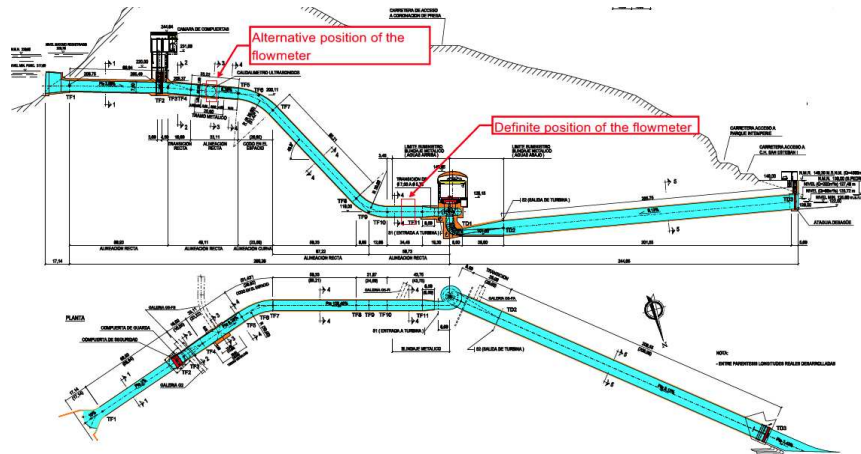


Figura 10. Configuração hidráulica de San Esteban II, destacados os pontos de instalação do sistema acústico. Fonte: LARREATEGUI E WALSH, 2014 (9).

O trabalho em questão selecionou dois pontos atípicos e distintos, de maneira a comparar os resultados de forma qualitativa e quantitativa. Lembrando que a norma IEC60.041 prevê que as instalações devem possuir seção retilínea de no mínimo 10 diâmetros à montante do ponto de instalação e 3 diâmetros à jusante (LARREATEGUI E WALSH, 2014) (9).

Com relação às incertezas associadas às medições de vazão, havia uma incerteza máxima no contrato de 0,5%, podendo ser aferida após a instalação do sistema de medição. A tabela a seguir mostra as fontes de erros e as incertezas associadas. A configuração dos 18 caminhos ultrassônicos resultou em uma incerteza sistemática de 0,396%, sendo, portanto, um resultado satisfatório. Ver Tabela 3.

Tabela 3. Fontes de erros e incertezas associadas à medição da vazão. Fonte: LARREATEGUI E WALSH (2014) (9).

Source / general	Details / comments	partial	total
Geometric installation errors	measurement of path lengths L and L_w ;	0.0042%	
	measurement of acoustic path angles φ	0.0111%	
	measurement of path heights d and conformity with the positions prescribed		
	measurement of D		0,188%
Time measurements errors	time measurement / time resolution	0.0123%	
	non water path time estimation	0.0091%	
	Internal computational precision	0,0010%	
Protrusion error	uncertainty due to flow distortion around the transducers	0.0447%	
Integration error due to the hydraulic condition	existence of traverse flow components time measurement / time resolution	0.1000%	
	flow profile distortions (estimated from above)		
	integration uncertainty		0,250%
	spatial variations of speed of sound	0,1000%	
Errors due to ambient influence	Variation of flow velocity, speed of sound and discharge with time		0,128%
	general		0,100%
	error due to change in dimensions when the conduit is pressurized or experiences a temperature change		0,100%
Total systematic uncertainty			0,396%

6.2 Aplicação para detecção de níveis de sobrevelocidade

Uma outra aplicação complementar para os medidores acústicos por Tempo de Trânsito, instalados na adução de turbinas hidráulicas é a detecção de níveis de sobrevelocidade do escoamento. Na função de perfilador de

velocidade em uma determinada seção, os sinais deste medidor correlacionados com outros parâmetros operacionais - como pressões hidráulicas, níveis d'água, potência elétrica, etc. - podem indicar se o sistema hidromecânico está sobre o efeito de alguma anomalia, como vazamentos, rupturas na linha hidráulica, rejeições de carga no gerador, etc. Estas anomalias refletem rapidamente na distorção do perfil hidráulico, podendo ser avaliadas e integradas aos mecanismos de proteção da unidade geradora, não se limitando somente na análise do "disparo" do conjunto girante. Ver Figura 11.

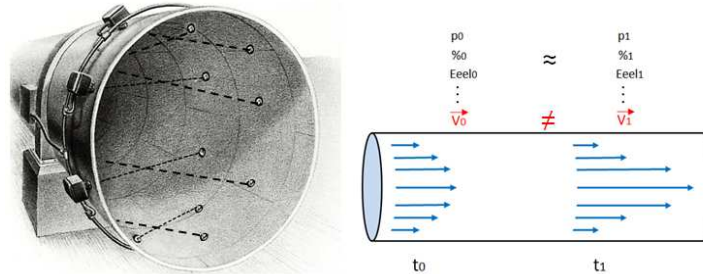


Figura 11 – Aplicação do método acústico para detecção de sobrevelocidade

7.0 - CONCLUSÕES

Ao longo de décadas o monitoramento das parâmetros hidroenergéticos no Brasil, no critério de precisão, foi descartado em função das crenças em um sistema seguro e de abastecimento garantido. A relação entre a água e o empreendimento hidrelétrico vai além das necessidades operacionais, tendo como de suma importância a manutenção dos usos múltiplos da bacia da qual a planta está inserida.

Os medidores acústicos por Tempo de Trânsito ocupam seu papel de certificação de processos principalmente no setor de Óleo e Gás, onde até então tínhamos fluidos que mereciam grande precisão no levantamento. A aplicação destes medidores em AHEs diversos permite, além da melhor gestão dos Recursos Hídricos, uma melhor aferição das unidades geradoras, podendo pleitear aumentos da sua potência instalada e ganhos financeiros significativos no empreendimento.

Entendia-se por muito tempo que a utilização de medidores acústico por Tempo de Trânsito nos AHEs não era efetivo, devido à fatores técnicos - complexidade da tecnologia - e econômicos - elevado custo de aplicação. Entretanto, a diversidade de fabricantes disponíveis no mercado e modernização das técnicas de operação das plantas - controle e automação - abriram o espaço para a inserção de novas tecnologia que proporcionam melhorias ao sistema energético.

Em alguns países a busca contínua por uma maior eficiência do sistema energético permite que os órgãos reguladoras exijam comprovações de que os AHEs utilizam seus Recursos Hídricos da forma correta. A forma com a qual a informações são geradas deve ter uma precisão aceitável e comprovada, ou seja, as medições como a das vazões transpostas (turbina e vertidas) devem feitas de forma segura e com instrumentação confiável. Este espaço vem sendo ocupado, em muitos casos, pelos medidores acústicos por Tempo de Trânsito, e estudos que proporcionem ampliar sua aplicação - tanto pelas características físicas das instalações, quando pela certificação da metodologia - são cada vez mais comuns.

Enfim, é colocado a importância dos levantamentos reais dos potenciais hidroenergéticos pelos retorno direcionados a setor em geral. Pois, no lado do operador do sistema teríamos informações mais substanciais e seguras que permitam um despacho mais otimizado e pelo agente de geração um melhor conhecimento do seu processo, com maiores garantias de entrega e retorno do financeiro do empreendimento.

8.0 - REFERÊNCIAS

- (1) PSR, 2015. Crise sem tamanho exato. Clipping Canalenergia, disponível em: http://www.canalenergia.com.br/zpublisher/materias/Clipping_imprimir.asp?id=179052&prlink=1
- (2) Andrade L.A., Martinez, C.B., Filho, J.N. e Aguirre, L.A. 2003. ESTUDO COMPARATIVO DOS MÉTODOS DE MEDIÇÃO DE VAZÃO – UMA APLICAÇÃO EM COMISSONAMENTO DE TURBINAS HIDRÁULICAS. CPH UFMG, 2003.
- (3) Rau, T. e Eissner, M. 2014. Experience with Winter Kennedy coefficients on hydraulic identical Units. IGHEM 2014 - International conference on hydraulic efficiency measurements Itajuba, Brasil, 2014
- (4) Souza, Z. e Bortoni, E.C., 2006. Instrumentação para sistemas energéticos industriais. Editora Novo Mundo, 2006.

- (5) ASME TECHNICAL COMMITTEE, American Society of Mechanical Engineers. 1992. "ASME PTC 18: Hydraulic Turbines and Pump-Turbines." *Consolidation of ASME PTC 18-1992 and ASME PTC 18.1-1978*, 1992.
- (6) IEC TECHNICAL COMMITTEE - TC 4 - Hydraulic turbines. 1991. *International Code for the Field Acceptance Tests of Hydraulic Turbines*. Appendix J - ACOUSTIC METHOD OF DISCHARGE MEASUREMENT International Standard IEC 41. CEI/IEC 41: 1991. Geneva, Switzerland.
- (7) LIPTAK, B.G., 2009. Post Oil Energy Technology: The World's First Solar-Hydrogen Demonstration Power Plant. Editora CRC Press, Taylor & Francis Group, Florida.
- (8) ALDEN & RENNASONIC, 2010. How Physical Measurement Techniques Impact Performance and Licensing of Hydropower Plants: Efficiency & Dissolved Oxygen. Alden Webinar Series. Disponível em: <http://www.aldenlab.com/Portals/0/Documents/Webinars/hydro-field-final.pdf>
- (9) LARREATEGUI, A., e J. T. WALSH. "Improving the accuracy on the efficiency measurements in the acceptance tests of hydraulic machines: a nice lesson for manufacturers, utilities, engineers and independent testers." *Em: International Conference on Hydraulic Efficiency and Measurements*. Itajubá, 2014.

9.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Vitor Raimundo Maia Pamplona

Local e ano de nascimento: Itajubá, MG; 1982

Local e ano de graduação: Universidade Federal de Itajubá, Itajubá-MG; 2010

Experiência Profissional: Graduado em Engenharia Hídrica; Mestrando em Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Atuação profissional: Sócio na Empresa Rennasonic Tecnologia Ltda., onde exerce a função de Diretor Técnico, desenvolvendo trabalhos na área de engenharia Hídrica com foco em Máquinas Hidráulicas, como: supervisão e execução de instalações de sistemas para gestão de recursos hídricos; supervisão e execução de ensaios hidrológicos; Gestão de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D).