

1

Introdução

1.1

Histórico

O parque Gerador da LIGHT é composto de cinco Usinas Hidrelétricas, duas Usinas Elevatórias e cinco reservatórios e está instalado, quase que em sua totalidade, ao longo do rio Paraíba do Sul.

Ao longo dos anos este rio vem sofrendo um processo de assoreamento acelerado devido à desproteção das áreas de entorno, com conseqüente redução do volume útil do reservatório. A grande concentração de indústrias e cidades ao longo do rio vem causando acúmulo de metais pesados, aumento da concentração de nutrientes (N e P) na água e, conseqüentemente, aumento das densidades de algas (Fig. 1) e microorganismos (fitoplâncton e zooplâncton).



Figura 1 – Máquina Limpa Grades retirando algas da Tomada d'Água da Usina de Fontes Nova.

É esta a água utilizada nos circuitos de resfriamento das Usinas que, mesmo após passagem por filtros autolimpantes, continua com grande concentração de impurezas. Os medidores de vazão são impedidos de funcionar devido à obstrução proporcionada por estes detritos, ou mesmo devido à variação da qualidade da água.

Por estas razões, encontra-se grande dificuldade para se supervisionar adequadamente a vazão nos circuitos de refrigeração. Isto acarreta, além de freqüente impedimento de operações remotas destes circuitos, a necessidade de intervenções constantes, nos equipamentos, pelo pessoal da manutenção.

Atualmente, para a supervisão, são utilizadas chaves fim de curso tipo palheta, turbina e ultra-som. No primeiro caso há uma grande necessidade de manutenção devido ao depósito de materiais nos componentes da instrumentação. No segundo e terceiro casos, os resultados não atendem adequadamente ao processo devido a incrustações e existência de sólidos em suspensão. A turbulência provocada pelos detritos também é uma das causas que dificultam a supervisão da vazão. Além disso, outros fatores de menor importância também contribuem, tais como vibrações e comprimentos de trechos retos insuficientes para a instalação de instrumentos de medição.

1.2

Equipamentos para medição de vazão utilizados na LIGHT

Neste item estão relacionados e analisados brevemente os instrumentos para medição de vazão atualmente instalados nas Usinas da LIGHT e os problemas encontrados no uso destes. Maior detalhamento sobre o princípio de funcionamento destes medidores encontra-se mais adiante, no capítulo 2. Os equipamentos são o medidor tipo turbina, a chave de fluxo tipo palheta e o medidor ultrassônico.

Nos medidores do tipo turbina, o volume total do líquido que passa através de uma turbina é proporcional à velocidade do fluido. Verificou-se, nas Usinas da LIGHT, (como pode ser observado na Fig. 2), que o acúmulo de material orgânico existente na água causa o mal funcionamento das turbinas, afetando a rotação das mesmas e, em conseqüência, impactando no resultado do medidor ou, até mesmo, travando o medidor.



Figura 2 – Medidor de Vazão Tipo Turbina - Desmontado para Manutenção.

Na utilização do medidor tipo palheta, onde o fluido atravessa um anteparo denominado palheta, o qual está ligado a uma mola que, por sua vez, aciona um contato seco, de forma semelhante ao que ocorre quando se utiliza o medidor tipo turbina, verificou-se que o acúmulo de material orgânico existente na água causa o mal funcionamento do mesmo. A palheta pode vir a ser travada, além de sofrer desgaste pelo contato com a grande quantidade de sólidos em suspensão existentes na água, conforme ilustrado na Fig. 3.



Figura 3 – Medidores Tipo Palheta – Danificados pelo desgaste provocado pelos sólidos em suspensão existentes na água

Para determinar a vazão dos fluidos com o medidor tipo ultra-som, analisam-se as ondas de som que atravessam um trecho da região do escoamento. As Fig. 4 e 5 ilustram a grande quantidade de sólidos em suspensão existentes na água dos circuitos de resfriamento, o que afeta o tempo de propagação do sinal sonoro entre os sensores, causando erros de medição. Esta é a razão pela qual este equipamento não funciona adequadamente nas Usinas da LIGHT.



Figura 4 – Filtro de água antes da manutenção

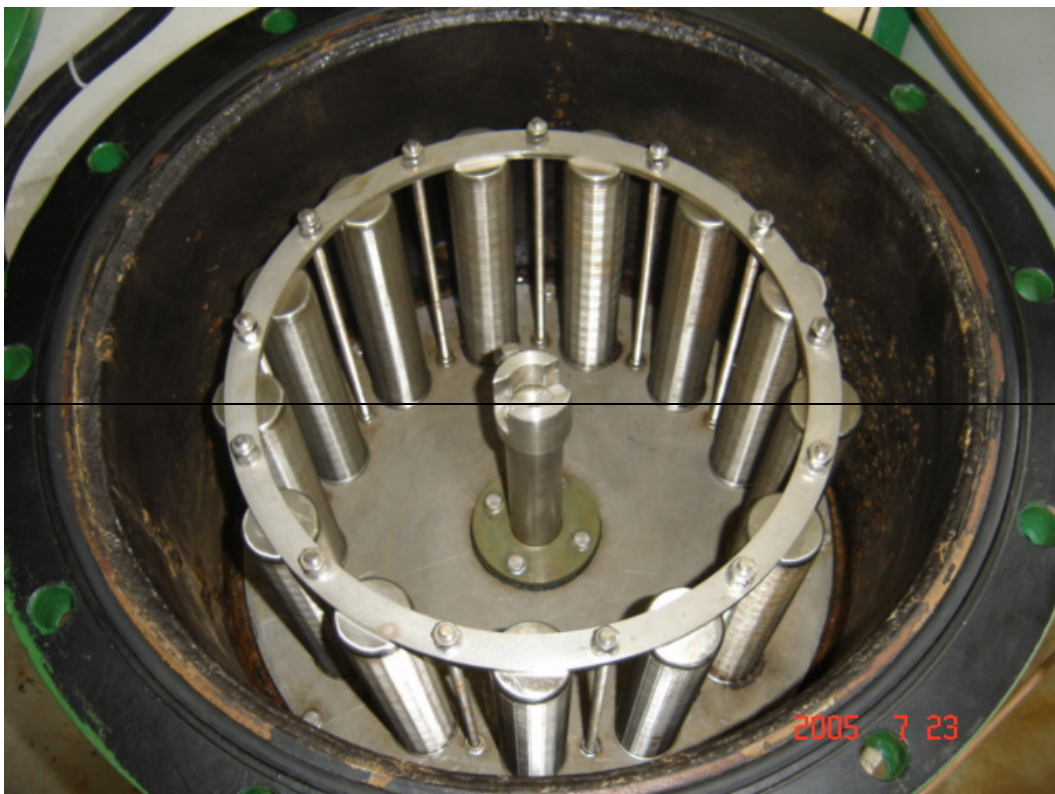


Figura 5 – Filtro de água após a manutenção

1.3

Equipamentos em estudo

Os instrumentos utilizados para medir vazão em circuitos fechados atualmente são, na sua grande maioria, equipamentos que interagem com o fluido, isto é, são intrusivos ao escoamento. Conforme anteriormente mencionado neste trabalho, existem situações em que é indesejável e inadequado se trabalhar com estes tipos de medidores. Pelo fato de ser apresentado um medidor baseado no princípio de desprendimento de vórtices como sugestão para evitar estes inconvenientes nas medições de vazão, neste item são descritos brevemente o método do atual modelo de medição de vazão baseado no desprendimento de vórtices e também o estado da arte do princípio de funcionamento dos sensores que estão sendo aqui propostos para solucionar o problema de medição de vazão de água em usinas hidrelétricas da Light.

No capítulo 2 o funcionamento destes sensores será detalhado.

1.3.1

Medidor tipo Vortex

O princípio de operação do medidor tipo Vórtex é baseado no fenômeno de formação de vórtices, que pode ser observado na Fig. 6, conhecido como “Karman Vortex Street” (Cinturão de Vórtices de Von Karman). Durante um escoamento, quando um fluido atravessa um corpo cilíndrico, pode-se observar na sua esteira uma formação regular de vórtices que se movem nas direções horária e anti-horária com uma frequência constante. Mede-se a frequência de formação destes vórtices, a qual é proporcional à velocidade do fluido. A faixa de incerteza de medição é de aproximadamente 0,75% [13] do valor do fundo de escala do instrumento, considerando que o equipamento seja instalado nas condições ótimas de funcionamento, tais como fluido sem sólidos em suspensão, número de Reynolds menor que 20.000.

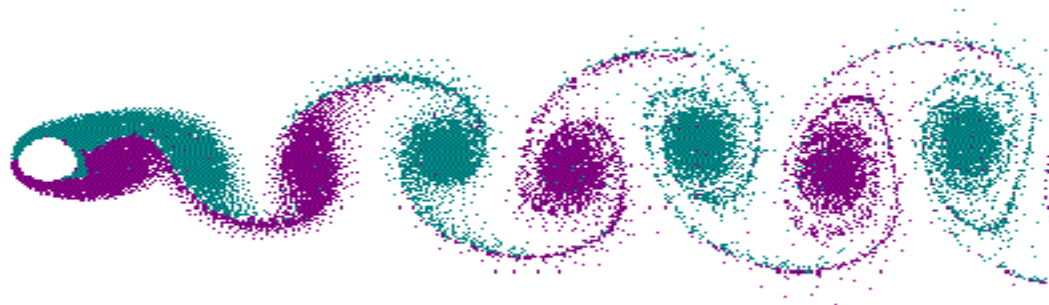


Figura 6 – Cinturão de Vórtices de Von Karman. [6]

1.3.2

Extensômetro Resistivo

O Extensômetro resistivo é o método mais utilizado para medição de tensão e deformação em estruturas (concreto, pontes, trilhos de trens, aviões, etc.). O princípio de operação do extensômetro baseia-se na deformação de um elemento resistivo quando se encontra fixado a um material sujeito a carregamento. A deformação é indicada pela medida da variação da resistência deste elemento sensor. As vantagens para utilizá-los, neste caso, é que estes instrumentos não deterioram, têm pequenas dimensões, custo relativamente baixo, dentre outras. O detalhamento do funcionamento deste sensor será dado no capítulo 2.

1.3.3

Acelerômetro

O princípio básico de funcionamento no qual está fundamentado o acelerômetro é o sistema de massa e mola. As molas, enquanto trabalham dentro da sua região linear, são governadas pela lei de Hooke, segundo a qual o deslocamento da mola é proporcional à força nela aplicada. Outro princípio físico envolvido é a segunda lei de Newton, que relaciona força com massa e aceleração. Desta forma, utilizando-se estas duas leis, verificou-se que é possível medir aceleração a partir da medição do deslocamento de uma massa.

O sistema utilizado pelo acelerômetro para medir o deslocamento utiliza 3 placas, separadas entre si por uma distância conhecida, onde as placas da

extremidade permanecem numa posição fixa enquanto a placa central pode se mover. Quando há movimentação do sistema, a placa central, que é equivalente a uma massa que se desloca, muda sua distância relativa às outras duas placas, modificando as capacitâncias do sistema, pois a capacitância é inversamente proporcional à distância entre as placas. A diferença entre as capacitâncias da placa central e as placas da extremidade está relacionada à aceleração do sistema.

A variação de capacitância é disponibilizada com sinais de saída do acelerômetro em milivolts e em frequência. O detalhamento do funcionamento deste sensor será dado no capítulo 2.

1.4

Objetivos

O desafio do projeto aqui apresentado foi realizar a medição de vazão em circuitos de água de Usinas hidrelétricas da LIGHT, utilizando um equipamento de instalação externa à tubulação, ou seja, não intrusivo. Assim, pretende-se que sejam evitados os problemas de acúmulo de materiais e incrustações, bem como facilitar a operação e instalação do novo medidor, diminuindo as paradas dos circuitos de refrigeração e aumentando, por consequência, a disponibilidade dos geradores.

Neste intuito, foram pesquisados dois tipos de medidores, um utilizando um extensômetro resistivo, onde se mede a força atuante sobre uma tubulação provocada pelo movimento do fluido e, outro, utilizando acelerômetros, cujos sinais detectados podem ser associados à formação e desprendimento de vórtices, semelhantemente ao que ocorre no medidor do tipo Vórtex, cujo princípio de funcionamento foi descrito anteriormente.

1.5

Metodologia

Consiste de 4 partes básicas; visando a projetar um sistema a partir de componentes comercialmente disponíveis no mercado.

Parte 1: Diagnóstico

Nesta fase, foram colhidos dados dos medidores de vazão atualmente instalados nas Usinas, suas condições de operação e os problemas de manutenção, determinando as características necessárias ao medidor a ser desenvolvido.

Parte 2: Projeto

Com base nas características determinadas na primeira fase, um projeto conceitual do sistema de medição foi feito utilizando componentes do mercado, com características de baixo custo e manutenção, e alta confiabilidade.

Parte 3: Construção e Calibração

O projeto executivo forneceu elementos para adquirir os componentes e montar os medidores. A calibração foi feita nos laboratórios da PUC-Rio.

Parte 4: Teste

O medidor aprovado nos testes em laboratório foi colocado numa usina e submetido a teste de desempenho.

1.6

Estruturação deste trabalho

Nesta dissertação, o trabalho foi dividido em 5 capítulos, os quais permitirão o completo entendimento da medição de vazão em circuitos de água de Usinas hidrelétricas da LIGHT, utilizando um equipamento de instalação externa à tubulação:

Os capítulos apresentam os seguintes tópicos:

1º) A medição de vazão nas Usinas Hidrelétricas da LIGHT, onde o foco está nas dificuldades encontradas e nos desafios para desenvolver um sistema de medição.

2º) Fundamentos teóricos para entendimento do princípio de funcionamento de alguns medidores de vazão existentes no mercado, apresentação de exemplos e dos sistemas de medição de vazão sugeridos nesta dissertação.

3º) Metodologia Experimental, onde está descrita a bancada de testes, como foi feita a instalação dos sensores e colhidos os dados da pesquisa, e qual o

método utilizado para cálculo da incerteza de medição. Também são apresentados os dados técnicos dos sensores utilizados.

4º) Apresentação e discussão dos resultados obtidos, indicando as diferenças observadas, além dos cálculos das incertezas para algumas medições.

5º) Conclusões e recomendações.