



**XXI SNPTTE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0  
23 a 26 de Outubro de 2011  
Florianópolis - SC

**GRUPO - I**

**GRUPO DE ESTUDO DE GERAÇÃO HIDRÁULICA - GGH**

**METODOLOGIA DE DIAGNÓSTICO PARA MODERNIZAÇÃO DE SISTEMAS DE REGULAÇÃO DE VELOCIDADE DE TURBINAS HIDRÁULICAS**

**Daniel de Oliveira Bonafé (\*)      João Carlos Gomes Moreira      Joaquim Eduardo Pereira**  
**ALSTOM BRASIL ENERGIA E TRANSPORTE LTDA**

**RESUMO**

Com a finalidade de orientar às equipes de manutenção e engenharia dos agentes de geração de energia elétrica, na definição do escopo de modernização do sistema de regulação de velocidade, a ALSTOM desenvolveu uma metodologia própria para diagnóstico do sistema existente e avaliação das alternativas de escopo, identificando a que melhor se às necessidades de seus clientes.

Este trabalho apresenta, além da sistemática desenvolvida para a elaboração da metodologia de diagnóstico do sistema de regulação existente, outros fatores e conceitos envolvidos na modernização deste sistema, tais como: tipos de reguladores existentes, principais tipos de modernização e as etapas do processo de modernização.

**PALAVRAS-CHAVE**

Modernização, Diagnóstico, Regulador de Velocidade, Turbina Hidráulica

**1.0 - INTRODUÇÃO**

Com a estabilidade econômica alcançada nos últimos anos, o Brasil vem se desenvolvendo a passos largos nas últimas décadas. Porém, este crescimento é fortemente dependente da disponibilidade de energia elétrica para ampliação do setor industrial. O parque gerador de energia elétrica brasileiro é formado em sua maioria (67%) de usinas hidrelétricas, sendo que boa parte desse montante é formado por usinas com mais de 40 anos. Para garantir o fornecimento de energia elétrica necessária à continuidade do desenvolvimento brasileiro, é preciso, além de aumentar a oferta de energia com a construção de novas usinas, também garantir a confiabilidade e disponibilidade das usinas existentes, mediante a recapacitação, reabilitação e modernização dos diversos equipamentos e sistemas que compõem uma usina hidrelétrica: turbina, regulador de velocidade, gerador, sistema de excitação, sistemas auxiliares, proteção, sistema de comando e controle, equipamentos de levantamento, sistemas hidromecânicos, e equipamentos de transmissão de energia.

**2.0 - SISTEMAS DE REGULAÇÃO DE VELOCIDADE**

O sistema de regulação de velocidade é o responsável pelo controle de carga/frequência da turbina, através da variação da vazão de água turbinada. Esta variação de vazão é obtida através da abertura/fechamento do(s) órgão(s) de regulação da turbina: distribuidor, pás, defletores e injetores (de acordo com o tipo da turbina).

Entre as principais funções do regulador de velocidade, podemos destacar:

- partida e aceleração do grupo;
- regulação da velocidade durante a operação em marcha em vazio;
- tomada de carga após o acoplamento;
- participação da regulação de frequência da rede (regulagem primária);
- ajuste da carga / frequência (regulagem secundária);
- retorno para marcha em vazio após uma rejeição de carga;
- redução da carga e parada da unidade.

Quanto à natureza dos componentes, os reguladores de velocidade podem ser classificados em 3 tipos:

- Mecânico: são aqueles em que todos os seus estágios são puramente mecânicos;
- Mecânico-hidráulico: são aqueles em que seus estágios são constituídos por elementos mecânicos e circuitos hidráulicos;
- Eletro-hidráulico: são aqueles em que seus estágios são constituídos por circuitos elétricos e hidráulicos.

Atualmente, utilizam-se preferencialmente os reguladores do tipo eletro-hidráulico, que apresentam uma série de vantagens sobre as demais tecnologias:

- Melhor resposta às variações da rede;
- Manutenção simplificada;
- Possibilidade de automatização;

### 2.1 Reguladores de Velocidade Eletro-hidráulico

Os reguladores de velocidade eletro-hidráulico são os mais empregados atualmente em turbinas hidráulicas novas e na modernização de sistemas antigos. Estes reguladores apresentam os seguintes componentes:

#### 2.1.1 Sistema de Controle (Regulador de Velocidade)

O sistema de controle empregado atualmente consiste na utilização de um controlador lógico microprocessado, que através de malhas de controle fechadas realiza o monitoramento e controle da velocidade de rotação da unidade geradora e monitoramento e controle dos órgãos de regulação. A utilização de controladores lógicos representa um grande avanço tecnológico nos reguladores de velocidade, devido à facilidade de parametrização e manutenção e por disponibilizar recursos de análise e diagnóstico mais apurados e completos.



FIGURA 1 – Regulador de Velocidade ALSTOM – NEYRPICTSLG

#### 2.1.2 Sistema Hidráulico

O sistema hidráulico é formado pelos seguintes componentes: unidade hidráulica, servomotores de acionamento dos órgãos de regulação e acumuladores de pressão. A unidade hidráulica é formada por diversos componentes, entre os quais destacam-se: grupo motobomba, transdutor eletrohidráulico, válvula distribuidora, eletroválvulas de controle.



FIGURA 2 – Unidade Hidráulica

A interface entre o sistema de controle e o sistema hidráulico é realizada pelo transdutor eletrohidráulico. O regulador de velocidade envia um sinal elétrico ao transdutor eletrohidráulico, que acionará o servomotor de comando dos órgão de regulação da turbina. Através de uma realimentação de posição do servomotor, o regulador de velocidade controlará o sinal enviado ao transdutor eletrohidráulico.



FIGURA 3 – Transdutor Eletrohidráulico - ALSTOM TR10

Os acumuladores de pressão comumente utilizados nestas aplicações são: ar/óleo, bexiga e pistão. O tipo do acumulador de pressão a ser empregado depende basicamente da pressão de trabalho do sistema hidráulico e do volume de óleo a ser armazenado.

### 3.0 - MODERNIZAÇÕES EM SISTEMAS DE REGULAÇÃO DE VELOCIDADE

Modernização consiste na utilização de novas tecnologias, materiais, equipamentos e concepção de projeto atualizada, como o objetivo possibilitar uma operação mais segura e confiável, através da automatização do processo. A modernização de sistemas também propicia novos recursos para supervisão (local e remota) e ferramentas de análise e diagnóstico.

A modernização normalmente é realizada quando da recapitação, que é a renovação da vida útil de um equipamento/sistema. A recapitação é motivada por fatores como desempenho insatisfatório, supervisão deficiente, ausência de peças sobressalentes, quebras frequentes, tempo excessivo para manutenção, dificuldades de ajuste, falta de mão-de-obra especializada entre outros.

O processo de modernização dos sistemas de regulação de velocidade consiste, basicamente, na substituição do sistema de controle existente e na manutenção e/ou substituição de componentes do sistema hidráulico.

#### 3.1 Modernização do Sistema de Controle

Normalmente opta-se pela substituição do sistema de controle original por um controlador digital, pois esta substituição possibilita a melhora no desempenho, automatização das seqüências de controle e alterações na concepção original como, por exemplo, a implantação de controle redundante, operação remota e monitoramento online. Além disso, a digitalização do sistema de controle permite a instalação de interface homem máquina mais amigável, com facilidades para ensaios, parametrização, registro e análise de falhas.

#### 3.2 Modernização do Sistema Hidráulico

A modernização do sistema hidráulico pode ser dividida em dois grupos: recuperação/substituição de componentes sem alteração da pressão de trabalho e substituição do sistema, com aumento da pressão de trabalho. A escolha do tipo de modernização que será realizada é uma decisão importante, que exige uma análise minuciosa do sistema existente.

##### 3.2.1 Grupo 1 - Recuperação/substituição de componentes sem alteração da pressão de trabalho

Neste tipo de modernização é realizada a manutenção dos elementos do sistema hidráulico para restabelecer suas características normais de funcionamento, substituindo-se apenas os componentes onde não seja possível o reparo. Também são realizadas as modificações necessárias para adaptação da interface com o novo sistema de controle, basicamente, no atuador eletrohidráulico e no sistema de realimentação de posição dos servomotores.

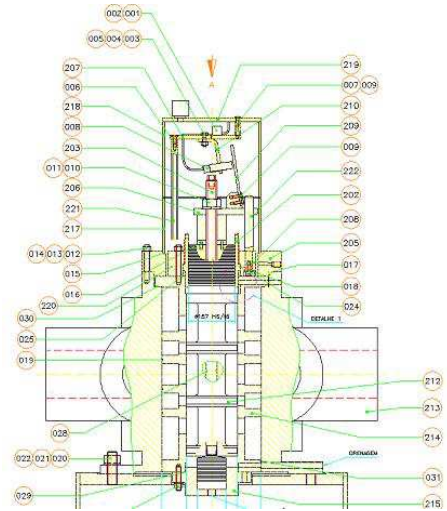


FIGURA 4 – Válvula Distribuidora Modernizada pela ALSTOM em 4 etapas: existente, projeto, ensaio, final

### 3.2.2 Grupo 2 - Substituição do sistema, com aumento da pressão de trabalho

Neste caso, o sistema hidráulico é completamente substituído: servomotores de acionamento dos órgãos de regulação, tubulações, unidade hidráulica, atuador eletrohidráulico e acumuladores de pressão. Devido ao aumento da pressão de trabalho, os novos equipamentos terão dimensões menores, resultando em otimização do espaço utilizado. Surge porém uma importante decisão a ser tomada: qual será a nova pressão de trabalho? Esta decisão terá impacto significativo em todo o sistema, principalmente nos acumuladores de pressão. Acumuladores do tipo ar/óleo são recomendados para pressões de até 7,0MPa e acima desta pressão, utiliza-se os acumuladores do tipo bexiga ou do tipo pistão. A escolha da pressão de trabalho do novo sistema hidráulico deve levar em consideração critérios como: volume dos novos servomotores, volume de óleo que será armazenado nos acumuladores de pressão, intervenção necessária em outros equipamentos acionados pelo sistema hidráulico do regulador, como por exemplo, válvula de guarda da turbina.

## 4.0 - O PROCESSO DE MODERNIZAÇÃO

O processo de modernização de sistemas de regulação de velocidade deve ser realizado de maneira estruturada, onde existem algumas etapas que devem ser seguidas para se obter o resultado positivo esperado. Este processo pode ser dividido nas seguintes etapas:

- a. Diagnóstico do sistema existente – consiste no levantamento de informações sobre o sistema existente, tais como: características do sistema (pressão, temperatura de operação, tempo de intermitência, volume dos servomotores, tempos de manobra etc); deficiências operativas, taxas de falha e indisponibilidade; relatórios de manutenção etc.

- b. Identificação das necessidades desejadas para o novo sistema – nesta etapa deve-se listar as melhorias desejadas em relação ao sistema existente, necessidades operacionais e requisitos dos órgãos regulamentadores (ANEEL, ONS etc);
- c. Definição do escopo de fornecimento – esta tarefa depende fortemente das etapas anteriores, pois aqui será desenhado o novo sistema a ser instalado. Além dos resultados das etapas anteriores, deve-se também levar em consideração outros critérios como: tempo de máquina parada para modernização e custo de implantação.
- d. Processo de aquisição – nesta etapa será elaborada a documentação técnica e comercial que norteará todo o processo de modernização do sistema de regulação de velocidade.

## 5.0 - METODOLOGIA DE DIAGNÓSTICO DO SISTEMA DE REGULAÇÃO

Entendendo que o processo de definição do escopo para a modernização de sistemas de regulação de velocidade é uma tarefa complexa onde existem diversos aspectos que impactam diretamente no seu sucesso, a ALSTOM desenvolveu uma metodologia de diagnóstico do sistema de regulação de velocidade existente, com o objetivo de auxiliar as equipes de engenharia, operação e manutenção seus clientes nesta atividade e posteriormente na definição do escopo mais adequado à modernização do sistema de regulação.

Esta metodologia de diagnóstico consiste na aplicação de um “Questionário de Análise e Diagnóstico”, onde são obtidas informações sobre o sistema de regulação existente na usina e através de uma ponderação dos dados obtidos é possível identificar as reais necessidades de manutenção e melhoria de forma individualizada para cada equipamento/sub-sistema existente.

### 5.1 Desenvolvimento da Metodologia de Diagnóstico

Para o desenvolvimento desta metodologia, foi utilizada toda a experiência da ALSTOM nas áreas de engenharia, fabricação, montagem e comissionamento para o fornecimento de soluções para usinas novas ou em modernizações, realizadas nos mais diversos equipamentos e sistemas, em especial no sistema de regulação de velocidade.

O primeiro passo foi elaborar um “check list” para identificação do sistema de regulação de velocidade existente, através do levantamento de informações sobre o sistema de regulação de velocidade existente na usina. Este “check list” dividiu o sistema de regulação de velocidade nos seus diversos equipamentos/sub-sistemas componentes, tais como: grupo motobomba, válvulas de controle, sistema de intermitência, sistema de resfriamento do óleo, atuadores e válvula distribuidora, tanque reservatório, acumuladores de pressão, sistema de ar comprimido, tubulações, servomotor(es) de acionamento do(s) órgão(s) de guarda da turbina, servomoto(res) de acionamento da válvula de guarda da turbina (válvula esfera ou válvula borboleta), realimentação de posição do(s) servomotor(es), sistema de controle (regulador de velocidade), realimentação de rotação.

No segundo passo realizou-se um levantamento histórico das modernizações realizadas em sistemas de regulação de velocidade nos últimos 10 anos, identificando-se algumas características da modernizações ocorridas, entre as quais podemos citar:

- escopo pretendido pelo cliente para os sistemas de controle e hidráulico;
- principais problemas existentes nos sistemas a serem modernizados;
- necessidades de adaptações em outros sistemas/equipamentos decorrente da modernização do regulador;
- dificuldades para execução das atividades de modernização;
- quantidade e qualidade das informações disponíveis sobre o sistema existente;
- clareza técnica das informações contidas nos editais;
- cronograma pretendido pelo cliente, para execução da modernização, etc.

Como terceiro passo, utilizando-se o levantamento histórico realizado e a experiência da ALSTOM em projetos/modernizações realizadas, criou-se respostas padronizadas do tipo alternativas a, b, c, d ou SIM/NÃO, para eliminar (ou reduzir) a incerteza e subjetividade da resposta (dependente da percepção/experiência de quem respondesse).

No quarto passo as possíveis respostas foram pontuadas, de acordo com critérios, como status atual, facilidades/dificuldades para manutenção, tecnologia empregada, limitações de operação, documentação disponível etc.

Como quinto passo, foram criadas recomendações de escopo (recuperação parcial, recuperação total, substituição) para cada equipamento/sub-sistema, de acordo com a pontuação obtida no “check list” e uma recomendação de escopo global, baseada nas recomendações de escopo de cada equipamento/sub-sistema.

O sexto passo, foi a elaboração de uma ferramenta computacional denominada “Questionário de Análise e Diagnóstico”, que compilou os passos anteriores integrando-os no Relatório Final de Diagnóstico e Sugestão de Escopo de Modernização”.

## 6.0 - CONCLUSÃO

Para que a modernização do sistema de regulação de velocidade alcance o resultado desejado, que é a incorporação de novas tecnologias e recursos que otimizem a operação e manutenção do mesmo, deve-se cumprir uma sequência de atividades que iniciam com um diagnóstico do sistema existente e passam pela definição do escopo, elaboração da especificação técnica e encerram com a implantação e colocação em serviço.

A metodologia de diagnóstico do sistema de regulação, apresentada neste trabalho foi desenvolvida a partir da experiência da ALSTOM adquirida em diversas modernizações realizadas, com os mais diversos tipos de sistemas e escopos de fornecimento.

Através de um diagnóstico preciso, imparcial e completo do sistema existente, será possível a avaliação das alternativas de escopo, identificando a que melhor se adapta às necessidades do cliente, maximizando o resultado final e minimizando os recursos empregados.

O envolvimento das equipes de engenharia, operação e manutenção das usinas na elaboração do diagnóstico é de extrema importância para garantir a qualidade das informações fornecidas pelo cliente.

A realização de ensaios e medições durante a fase de diagnóstico e o descomissionamento do sistema existente antes da modernização são atividades que devem ser realizadas sempre que possível, pois além de garantirem a precisão do diagnóstico realizado, possibilitam quantificar os ganhos obtidos com a modernização do sistema.

## 7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) LOPES, Paulo et al.; Speed Governor Assessment Program Based on Furnas Hydro Power Plant Modernization Experience. HYDRO 2010. Lisboa, 2010.

(2) EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. Considerações sobre Repotenciação e Modernização de Usinas Hidrelétricas. Nota Técnica DEN 03/08. Rio de Janeiro, 2008.

## 8.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Daniel de Oliveira Bonafé  
Engenheiro Eletricista, graduado em 2000 pela EFEI – Itajubá/MG  
Coordenador Técnico de Projetos na área de Technical Marketing & Tendering  
Alstom Brasil Energia e Transporte Ltda, desde 2007 e entre 2000-2004.  
Itapebi Geração de Energia – UHE Itapebi, entre 2004 e 2007

João Carlos Gomes Moreira  
Engenheiro Eletricista, graduado em 1980 pela PUC – Porto Alegre/RS  
Engenheiro Especialista na área de Technical Marketing & Tendering  
Alstom Brasil Energia e Transporte Ltda, desde 1994.

Joaquim Eduardo Pereira  
Engenheiro Eletricista, graduado em 1976 pela UNITAU – Taubaté/SP  
Expert em Regulação de Velocidade para Turbinas Hidráulicas nas áreas de Engenharia e Technical Marketing & Tendering  
Alstom Brasil Energia e Transporte Ltda, desde 1976.