



**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)**

FUNDAMENTOS PARA A MODERNIZAÇÃO COMPLETA DE CENTRAIS HIDRELÉTRICAS

**Pedro Camilo de O. e Silva(*)
ALSTOM**

**Antônio Carlos Padoan Jr.
ALSTOM**

**Mauro Uemori
ALSTOM**

**Ricardo da Costa Rigolin
ALSTOM**

**Karine Almeida
ALSTOM**

**Ricardo Vasconcellos
ALSTOM**

RESUMO

Este trabalho aborda de forma global os aspectos mais importantes ligados à modernização de usinas hidrelétricas, desde o sistema de controle digital e proteção até os sistemas auxiliares, turbina, gerador e regulação. O artigo ilustra as vantagens obtidas para cada sistema. No geral busca-se garantir um melhor rendimento, disponibilidade de geração e adequação ambiental, entre outros benefícios. O processo de modernização é descrito passo a passo, onde o mínimo impacto na operação e produção é desejado. Enfim, o artigo cobre de forma abrangente o que deve ser considerado pelos projetistas e empresas geradoras de energia relativamente a projetos de modernização de hidrelétricas.

PALAVRAS-CHAVE

Modernização, Repotenciação, Reabilitação, Hidrelétrica.

1.0 - INTRODUÇÃO

Sabe-se que em torno de 72% da capacidade de geração de energia elétrica instalada do Brasil corresponde a centrais hidrelétricas. Geralmente em empreendimentos hidrelétricos considera-se uma vida útil de 50 anos. Todavia, os equipamentos e sistemas mecânicos tendem a apresentar problemas operacionais e de manutenção a partir de 30 anos de operação em média (1). Equipamentos eletrônicos e digitais, por sua vez, podem apresentar vida útil menor devido à obsolescência que a evolução tecnológica lhes imprime.

Segundo dados divulgados em (2), existem cerca de 70 usinas hidrelétricas com capacidade maior que 30MW e com mais de trinta anos de operação integradas ao SIN. A média de idade destas usinas é de 47 anos. Esta parcela considerável que está em operação há mais de trinta anos integra um potencial mercado de reabilitação e modernização. É conhecido que dentre as vantagens de repotenciar ou modernizar uma usina estão a de preservar a capacidade de geração do sistema existente e também de compor a expansão da oferta de energia elétrica (2). Porém, muitos pontos podem ser esclarecidos. Ainda que exista uma literatura tratando do assunto, ela é focada principalmente na reabilitação ou repotenciação de turbinas e geradores. Este trabalho, portanto, extrapola esta abordagem realizando uma análise de todos os sistemas pertencentes a uma hidrelétrica: desde o sistema de controle digital e proteção até os sistemas auxiliares, turbina, gerador e regulação.

A primeira parte do artigo introduz de forma geral algumas definições e conceitos básicos sobre o assunto. Em seguida, sistemas passíveis de serem modernizados são apresentados, destacando as peculiaridades e vantagens de se modernizar cada um. Em uma outra seção, o processo para modernizar uma usina é descrito passo a passo. São descritos os diversos cuidados a serem considerados, visando o mínimo impacto na operação, produção, instalação e no comissionamento.

(*) Av. Embaixador Macedo Soares, nº 10.001 – CEP 05095-035 – São Paulo, SP – Brasil
Tel: (+55 11) 3612-7408 – Fax: (+55 11) 3612-8993 – Email: pedro.camilo@power.alstom.com

2.0 - CONCEITOS INTRODUTÓRIOS

Os conceitos de modernização, reabilitação e repotenciação se confundem entre si e uma mesma palavra-chave pode, por vezes, designar ações de cunho diferente. De fato, as definições são similares mas, ainda assim, apresentam distinções importantes de ressaltar antes de se tratar dos sistemas candidatos a um melhoramento.

- **Reabilitação:** O conceito de reabilitação pode ser definido como a substituição ou reconstrução de partes essenciais de um equipamento de forma que o mesmo volte a apresentar suas condições originais de geração de energia. A reabilitação visa à restauração das condições operacionais originais da usina, à redução de problemas operacionais devido à deterioração de seus equipamentos, à facilitação da reposição de peças através do uso de componentes com maior disponibilidade no mercado, a um aumento da vida útil e da confiabilidade da usina e à redução dos custos de manutenção.
- **Modernização:** O conceito de modernização corresponde à inclusão ou substituição de um ou mais componentes por outros mais modernos aumentando a confiabilidade e a lucratividade da operação. A modernização pode ser aplicada a materiais. Neste último caso, ela pode ainda acontecer com ou sem *upgrading*, ou seja, com ou sem aumento significativo de potência ou de rendimento hidráulico. Algumas possibilidades de melhoria através da modernização são automação das unidades geradoras, telecomando a partir da sala de controle, operação à distância, envio de dados on-line para escritórios centrais, redução dos riscos de operação e conseqüente otimização dos custos de operação e manutenção.
- **Repotenciação:** O conceito de repotenciação pode ser traduzido como o aumento significativo da potência máxima ou da eficiência da planta através da substituição de componentes essenciais por outros resultantes de desenvolvimento tecnológico aumentando a energia assegurada, a potência instalada e a receita. Segundo (3), a repotenciação pode ainda ser vista como a elevação da potência máxima de operação, através do aproveitamento de folgas devidamente comprovadas no projeto original. A repotenciação é aplicável a turbinas e geradores e pode proporcionar aumento de potência máxima, aumento de rendimento (por correção do ponto de operação ou por otimização da operação), ou ainda readaptação a novas condições hidrológicas, diferentes das condições presentes quando da execução do projeto inicial.

3.0 - SISTEMAS

Ao se analisar uma central hidrelétrica como um todo, conclui-se que diversos sistemas e equipamentos são passíveis de serem modernizados e/ou repotenciados. Os itens subseqüentes apresentam esses sistemas e equipamentos bem como as vantagens de sua modernização.

3.1 Turbina

As modernizações e reabilitações em turbinas hidráulicas têm o objetivo de diminuir as manutenções a serem realizadas, otimizar a operação e estender a vida útil dos equipamentos. Os principais serviços realizados são: troca das buchas existentes por auto-lubrificantes, rebabitação de mancais, troca da vedação do eixo, substituição do sistema de resfriamento por um mais moderno, troca da instrumentação e reparos de cavitação, sendo algumas vezes requerido pelo cliente um material mais duro, o que não elimina o problema de cavitação.

Muitas vezes é necessária a troca do rotor e com isso aproveita-se da oportunidade para requerer-se um perfil mais moderno com ganho de rendimento. A repotenciação possui um nível de complexidade maior quando comparado com a modernização e reabilitação, pois implica em substituição de componentes importantes da turbina, com perfis hidráulicos mais modernos, visando aumento de potência e/ou rendimento. Normalmente, a troca do rotor antigo por um mais moderno pode estar associada ou não às modificações nos perfis de alguns componentes tais como palhetas diretrizes, palhetas fixas do pré-distribuidor e até mesmo tubo de sucção, onde um ganho de rendimento é possível com o redimensionamento destes componentes (9).

Como ponto de partida para um estudo de repotenciação, é essencial o levantamento de todo o histórico operacional da turbina, tal como faixa de queda e potência operacionais, manutenções realizadas, ocorrência de cavitação e trincas, testes de rendimento realizados no campo, etc. Além disso, é necessário que os desenhos dos componentes existentes sejam identificados e fornecidos pelo cliente, para que seja possível uma análise das perdas inerentes a cada componente hidráulico. Na maioria das vezes, devido ao tempo de vida da usina, esses desenhos não estão legíveis, sendo necessárias medições no campo para o levantamento dos perfis existentes. A visita à usina deve ser feita com muito cuidado, com a máquina aberta, para que seja feita uma inspeção visual nas passagens hidráulicas existentes a fim de avaliar o estado atual. As condições de acabamento atuais devem ser levadas em consideração nas análises das perdas. Também, é importante haver forte interação com o cliente antes e durante as análises, com a finalidade de garantir a compreensão de quais são os seus objetivos e também quais são os dados (potência, rendimento) da usina cadastrados no Ministério das Minas e Energia e Eletrobrás.

A repotenciação de uma turbina não implica somente no aumento de potência e/ou eficiência, mas também na solução de problemas tais como vibrações ou cavitação, que possam existir nas usinas agindo como um fator limitante para a operação da turbina.

Para um ganho significativo, é importante que se conheça a vazão e também a curva chave de jusante atuais (usadas nas análises de cavitação). Os principais fatores limitantes a se considerar na repotenciação são:

- As dimensões disponíveis na região do rotor;
- A cota de elevação da turbina com relação ao nível operacional de jusante;
- As máximas aberturas das palhetas diretrizes (e das pás do rotor, no caso das máquinas de dupla regulação);
- As limitações mecânicas de alguns componentes tais como: eixo, acoplamentos, mancais, servomotores, etc;
- A nova rotação de disparo a ser produzida pelo novo rotor.

Todo o processo hidráulico deve ser verificado através das análises CFD (*Computational Fluid Dynamics*), feitas entre o traçado existente e o traçado de referência para o projeto em questão. O cronograma da repotenciação e avaliação do resultado (remuneração) também devem ser levados em consideração. Nas análises CFD, são realizados comparativos entre caixa espiral / semi-espiral, distribuidor e tubo de sucção do traçado existente e do traçado de referência, operando com o novo rotor selecionado pelo fabricante no seu banco de dados dos modelos existentes.

Dependendo da potência instalada, do número de máquinas e da extensão das modificações, é requerido um ensaio de modelo, no qual se fabrica o modelo homólogo às passagens hidráulicas existentes para comparação com o modelo do traçado de referência. Normalmente, os ensaios são feitos com o novo rotor a ser fornecido.

3.2 Gerador

Durante a definição de uma especificação técnica de modernização do gerador, deve-se contemplar as modernizações que possam garantir a extensão do tempo de vida útil do mesmo, contribuindo para redução da taxa de indisponibilidade da unidade. Assim sendo, os componentes que podem apresentar uma taxa elevada de falhas a partir de um determinado tempo de operação devem ser substituídos por novas tecnologias, que além de garantirem uma extensão de vida útil, podem beneficiar aspectos técnicos, tais como: perdas, temperatura, rendimentos, etc. Dentro desse contexto, o enrolamento é um dos componentes que apresenta os primeiros sintomas de degradação relacionados a: deterioração da isolação, afrouxamento de cunhas levando a vibrações e danos ao sistema de aterramento, degradação do sistema de alívio de tensão, ciclos de temperatura, etc. As possíveis melhorias ligadas ao enrolamento do estator são:

- O novo enrolamento poderá ser formado por barras Roebel ou bobinas de múltiplas espiras, cujo isolamento principal é feito a base de fibra de vidro e mica impregnada com resina epóxi. As barras são impregnadas a vácuo (VPI – Vacuum Pressure Impregnation) através do sistema Micadur®.
- A espessura da isolação pode ser reduzida e a sua rigidez dielétrica aumentada para cerca de 3 kV/mm, possibilitando maior quantidade de cobre além de benefícios para o comportamento térmico do enrolamento.
- A instalação das barras dentro das ranhuras com um sistema especial conhecido como "round packing", que assegura um embutimento perfeito com folga tendendo a zero, aumentando o coeficiente de transmissão de calor e minimizando a formação de descargas parciais dentro da ranhura.
- Melhoramento da pressão radial sobre as barras, evitando movimentos indevidos e minimizando descargas parciais, através do sistema de fixação radial consistente de cunhas, molas onduladas (ripple spring) e calços.
- Proteção contra descargas superficiais aplicada contra o efeito corona, constituída por uma pintura semicondutiva classe F na região que vai dentro da ranhura e na parte das cabeças das barras.
- No caso da substituição do enrolamento do estator de bobinas para barras Roebel, o número de circuitos paralelos é modificado alterando o valor do empuxo magnético desbalanceado cuja consequência deve ser cuidadosamente avaliada.

Ao se substituir o enrolamento, a troca do núcleo do estator também é uma decisão tecnicamente interessante, tendo em vista que o emprego de novas técnicas de projeto e a utilização de materiais tecnologicamente avançados podem melhorar os desempenhos magnético, térmico e mecânico do conjunto. De um modo geral, além do prolongamento da vida útil, a substituição do núcleo permite as seguintes otimizações de projeto:

- Utilização de chapas com menores perdas, envernizamento de lâminas, novo arranjo dos dutos de ventilação, e escadinhas nos pacotes finais, assegurando menores perdas e uma temperatura de operação mais baixa.
- Empilhamento do núcleo de forma contínua, o que garante uma maior rigidez e a eficácia da montagem do conjunto, evitando eventuais problemas de ondulação.
- Garantir uma maior e mais homogênea prensagem em toda a seção do núcleo através do sistema de molas instalado em uma das extremidades dos tirantes, eliminando a necessidade de reaperto dos tirantes do núcleo praticamente durante toda a vida útil da máquina, o que reduz significativamente os custos com manutenção.
- O número de ranhuras poderá ser alterado. No entanto, é extremamente importante que seja feita uma análise de problemas relacionados à vibração da máquina e o TIF (Telephonic Interference Factor) do gerador, principalmente se o fator Q (nº de ranhuras por pólo por fase) passar de um valor fracionário para um inteiro ou fracionário com denominador igual a dois.

- O sistema de fixação do núcleo por meio de cunhas tipo rabo de andorinha possibilita independência no sentido axial, permitindo novos reapertos caso os pacotes de chapas se afrouxem na operação da máquina.
- Alteração do valor do entreferro através da modificação do diâmetro interno do núcleo. No entanto, ao se modificar o entreferro do gerador, dentre outras consequências, a reatância síncrona de eixo direto da máquina pode ser diretamente afetada, assim como a corrente de excitação e perdas superficiais da sapata do pólo.
- Modificando-se o número de ranhuras ou tipo de enrolamento, deve se cuidar para que o fluxo magnético no entreferro seja aproximadamente o mesmo, de modo a manter os torques de curto circuito brusco ou erro de sincronização fora de fase com os valores próximos aos originais.

De um modo geral, a carcaça do gerador não apresenta riscos significativos de falhas. No entanto, ao se substituir o núcleo do estator, inspeções e eventuais reparos, geralmente, são realizados antes da montagem do novo conjunto. Um novo projeto de carcaça idêntico ao original ou modificado para inclusão dos elementos oblíquos poderá ainda ser fornecido, visando redução do tempo de parada da máquina ou de correção de alguma falha.

A substituição do sistema de isolamento do pólo é uma solução técnica e economicamente viável, tendo em vista a mitigação do risco de ocorrências de curto-circuito e o emprego de um sistema mais eficaz, o que prolonga o tempo entre eventuais intervenções no rotor. Pólos novos podem ser fornecidos visando redução do tempo de parada.

3.3 Transformadores elevadores

O tempo de vida útil de um transformador de potência está relacionado ao processo de envelhecimento da isolamento celulósica que depende da acumulação dos ciclos de trabalho em termos de temperatura de operação e desgaste dielétrico, acarretando em perdas de rendimento, além de riscos operativos. Um ponto importante a ser considerado é a necessidade de verificação do estado e do tempo de vida útil através de ensaios na parte ativa, o que definirá as ações a serem tomadas.

A modernização do sistema de ventilação e refrigeração, a substituição ou reprocessamento do óleo e a recuperação da isolamento são procedimentos que podem colaborar para que o transformador melhore o seu rendimento. Estes mesmos procedimentos também podem colaborar para o aumento da potência, inclusive através do aproveitamento de folgas de projeto (algo comum em transformadores mais antigos).

Em alguns casos, pode-se optar pela substituição total por um novo transformador, eventualmente com menores impactos ambientais, menores perdas e maior confiabilidade.

Como vantagens da modernização dos transformadores elevadores, podem-se citar:

- Possibilidade de ganhos na potência nominal ou no rendimento.
- Aumento da confiabilidade e da segurança e redução dos riscos de falhas e acidentes.
- Extensão da vida útil inclusive com a possibilidade de instalação de um sistema de monitoramento para otimizar a manutenção.

3.4 SDSC e Proteção

A automatização, na maior parte das centrais hidrelétricas em operação no Brasil, surgiu da necessidade de dispor um canal de comunicação com centros regionais de controle de despacho de carga. Nesta etapa foram utilizadas remotas com poucos recursos. Em uma segunda fase, as remotas foram substituídas por CLPs conectados aos Sistemas Digitais de Supervisão e Controle. Estes equipamentos permitiram que os dados fossem processados com segurança operacional dos equipamentos e com a execução de seqüências automáticas de acionamento dos equipamentos do processo. Com a evolução tecnológica, os SDSCs tornaram-se cada vez mais potentes em sua capacidade de processamento e armazenamento de dados. De fato, os SDSCs atuais permitem uma série de benefícios, embora se constata que muitos deles ainda são poucos explorados pelos operadores de usinas. O conceito geral é melhorar a performance da usina, aumentar a disponibilidade, reduzir manutenção e custos operativos. Os benefícios de modernizar o SDSC e a proteção (uso de relés digitais com protocolos de comunicação modernos) podem ser caracterizados entre os benefícios funcionais e econômicos seguintes:

- Aumento das possibilidades de conexão / comunicação com outros sistemas. Protocolos de comunicação como Modbus, DNP3, IEC-101, IEC-103, IEC-104, IEC61850 evoluem em busca da interoperabilidade entre equipamentos e sistemas de controle e proteção de diferentes fornecedores. A adequação dos sistemas aos protocolos de comunicação mais recentes gera a diminuição de cabeamento.
- Dados de supervisão e controle facilmente e rapidamente acessíveis. Níveis de alarmes diferenciados. Interfaces gráficas de alta definição. Imagens e comandos customizados conforme necessidade.
- Atualização da lógica de partida e parada, o que pode melhorar a operação e manutenção da usina.
- Alta performance devido à grande capacidade de processamento e redes de comunicação de alta velocidade.
- Grande capacidade de armazenamento de dados históricos / análise pós-operação com possibilidade de consulta a BD históricos via Internet e Intranet.
- Maior confiabilidade e simplicidade de manutenção das proteções digitais em relação a relés eletromecânicos.
- Uso de ferramentas que se beneficiam da rede Ethernet instalada, como acesso remoto, servidor WEB para supervisionar equipamentos, etc.
- Toda a documentação renovada em mídia eletrônica, facilitando o acesso e economizando espaço físico.

- Integração dos sistemas em tempo real e banco de dados relacional com a rede corporativa da concessionária.
- Aumento da disponibilidade e confiabilidade do sistema bem como simplificação a expansão do processo.
- Melhorar custos operativos reduzindo número de operadores.
- Aumentar a eficiência da produção de energia através de programas inteligentes como controle conjunto.
- Ações de manutenção preventivas e preditivas (menor custo que preventiva) facilitada pela maior disponibilidade e acesso a dados históricos. Possibilidade de implementar sistemas dedicados à manutenção.
- Sistemas modernos têm mais facilidade na reposição da maioria dos equipamentos. Mesmo que a evolução da tecnologia conduza à obsolescência rápida dos equipamentos, a redução evolutiva dos preços fica evidente.

Alguns aspectos são importantes a serem considerados previamente ao momento de decidir modernizar o SDSC e as proteções. A saber, deve-se realizar um levantamento do fim da vida útil dos equipamentos atualmente instalados, elaborar criteriosamente os altos custos e limites de manutenção do sistema instalado, bem como constatar as dificuldades em se encontrar peças de reposição e os limites para inserção de novas funcionalidades. Outro aspecto muito importante é escolha de protocolos para os sistemas de comunicação e a adequação às novas filosofias de operação e manutenção. Em um futuro próximo, a norma IEC61850 para hidrelétricas deve se consolidar, mudando radicalmente os processos de engenharia de automação, a comunicação e a confiabilidade de operação do sistema digital. Indubitavelmente a aplicação da norma IEC61850 levará a uma redução de custos globais para o empreendimento, assim como ocorre hoje para subestações.

3.5 Sistemas de Regulação de Velocidade e de Tensão

Sendo digitais em sua natureza, os reguladores de velocidade e os AVR's (reguladores de tensão automáticos) modernos combinam altos níveis de performance, flexibilidade, fácil configuração e confiabilidade. Geralmente são abertos a diferentes sistemas de comunicação podendo ser controlados através de sistemas de controle distribuídos, estações de operações dedicadas, terminais locais ou painéis convencionais. Painéis locais ainda facilitam o monitoramento e a configuração destes equipamentos.

A maioria dos reguladores de tensão automáticos modernos em hidrelétricas é projetada para lidar com todos os tipos de esquemas de excitação (estática, compound, brushless, DC). Dentre as vantagens de se utilizar AVR's modernos, podem-se citar:

- Malha de controle digital para tensão, corrente, potência reativa ou tangente phi, estatismo de potência reativa.
- Compensação line drop, seqüência de partida "smooth".
- Limitações de corrente de armadura, sobre/sub-excitação, Volt/Hertz.
- Monitoramento da tensão no estator e de temperatura dos enrolamentos de campo.
- Carregamentos de linhas mortas, partida com conversor de freqüência estático ou "back-to-back".
- Uso de PSS (power systems stabilizers) visando amortecer modos de ressonância elétricos.

Os reguladores de velocidade devem lidar com diversas arquiteturas de controle de velocidade relacionadas aos modelos turbinas hidráulicas como Francis, Pelton ou Kaplan. A recapacitação/modernização da parte hidráulica normalmente é necessária devido ao desgaste natural do sistema, que reduz o desempenho e a disponibilidade. Uma análise prévia dos componentes principais (servomotores, válvula distribuidora, "sump tank", acumuladores de óleo sob pressão e compressores), deve determinar a melhor alternativa de escopo: reforma e modernização dos componentes existentes ou a substituição dos mesmos com aumento de pressão de trabalho. Este aumento permite o fornecimento de um sistema mais compacto e simplificado, substituindo os acumuladores ar/óleo por acumuladores nitrogênio/óleo (do tipo bexiga ou pistão) e eliminando assim o sistema de ar comprimido. Dentre as vantagens de reguladores de velocidade modernos, podem-se citar:

- Malha de controle digital para potência ativa, velocidade e abertura do distribuidor.
- Novos modos de operação, como partida em "black-start".
- Controle remoto e controle conjunto
- Compensação síncrona.
- Melhor performance dinâmica no controle, melhor estabilidade.

3.6 Sistemas Auxiliares Elétricos e Mecânicos

Com o fim da vida útil dos componentes, deve-se considerar a realização de uma reforma como a oportunidade de modernização e readaptação dos sistemas. Existem diversas possibilidades na modernização dos sistemas auxiliares elétricos. A determinação das modificações a serem realizadas depende das solicitações do cliente. No caso de quadros locais, painéis e CCMs, pode-se optar pela substituição total por novos quadros ou ainda somente pela substituição dos componentes internos. Pode-se também considerar a utilização de quadros locais e painéis inteligentes, ou seja, equipados com um CLP local (sistema distribuído para flexibilização da operação). Ainda no caso dos CCMs, a evolução da eletrônica de potência permite hoje a utilização das tecnologias de soft-starters e inversores que permitem uma operação mais suavizada dos motores empregados na usina. Levando-se em conta a vida útil do grupo gerador diesel, pode-se optar pela substituição do mesmo. Deve-se então proceder a uma revisão das cargas do sistema, de forma que o novo grupo seja dimensionado para atender às reais condições

operativas. Podem-se ainda considerar modificações para o sistema de iluminação de emergência, como a substituição de componentes obsoletos ou a extensão do sistema a pontos que o mesmo ainda não atinja.

Os benefícios da modernização dos sistemas auxiliares elétricos de uma usina podem ser caracterizados pelos pontos seguintes:

- Redução dos custos de manutenção pelo fato de se utilizar componentes de maior disponibilidade no mercado.
- Aumento do tempo médio entre falhas (MTBF), da disponibilidade e da confiabilidade operativa da usina.
- Manutenção facilitada, com diminuição do tempo médio de reparo (MTTR) devido à maior simplicidade do sistema e maior acessibilidade a peças sobressalentes.
- Sistemas distribuídos permitem maior flexibilidade e confiabilidade.
- Maior segurança em situações de emergência.

Em algumas usinas mais antigas, certos sistemas auxiliares mecânicos, hoje comumente empregados, não estão presentes ou se encontram em condições operativas degradadas. Alguns desses sistemas estão em relação direta com requisitos ambientais que são levados em conta atualmente de forma mais rigorosa. Pode-se citar, por exemplo, sistemas de tratamento de esgoto e separação de água e óleo. Outros auxiliares mecânicos relacionam-se com o bem estar e a segurança das equipes que trabalham na usina. Trata-se aqui de sistemas de água potável, ventilação e ar condicionado. Além disso, pode-se citar como sistema auxiliar mecânico passível de modernização o sistema de drenagem, importante para a segurança operativa da usina. Há também a possibilidade de utilização de instrumentação mais moderna, como transdutores digitais. Podem-se citar como vantagens da modernização de sistemas auxiliares mecânicos:

- Adequação a critérios e normas ambientais estabelecidos posteriormente à construção da usina, através da modernização ou instalação de sistemas de tratamento de esgoto e de separação de água e óleo.
- Aumento da confiabilidade através da utilização de novas tecnologias para transdutores e para a partida das bombas do sistema de drenagem.
- Melhoria das condições locais para as equipes que operam a usina (água potável, ar condicionado).
- Possibilidade de redução das equipes, uma vez que o sistema digitalizado permitirá acesso facilitado a informações essenciais à operação e manutenção da usina.

3.7 Equipamentos Hidromecânicos

Referente aos equipamentos hidromecânicos da usina, pode-se considerar a modernização das instalações do sistema hidráulico e das vedações das comportas. Há também a possibilidade de utilização de um sistema de controle e proteção integrado ao SDSC da usina. Assim sendo, obtêm-se as seguintes vantagens:

- Maior facilidade de operação e monitoramento através do SDSC.
- Aumento da confiabilidade e da segurança da usina como um todo.

4.0 - PROCESSO GERAL

Todo o processo de modernização se constitui em um projeto multidisciplinar, que requer a participação conjunta das equipes de técnicos e de engenheiros tanto do cliente quanto do fornecedor, além dos consultores. Um projeto de modernização e/ou repotenciação apresenta diversos aspectos que devem ser analisados com atenção.

4.1 Identificação da Oportunidade

Segundo (4), diferentes critérios podem levar a um projeto de modernização, dentre os quais:

- Declínio de disponibilidade da unidade, levando a aumento de custos e queda de ganhos.
- Potencial para melhoria de performance, considerando os avanços tecnológicos desde a concepção da planta.
- Mudanças nas condições operativas ao longo do tempo.
- Oportunidade de automação da planta, permitindo operação não assistida e controle à distância.
- Redução da capacidade de produção, causada por diminuição da disponibilidade de água ou ainda por reparos temporários que conservam equipamentos em condições limitadas de operação.
- Falhas em equipamentos principais, visto que paradas não programadas podem levar a perdas econômicas consideráveis que serão proporcionais ao tempo de reparo dos equipamentos em falha.

É importante observar que a modernização de equipamentos principais da usina ou a modificação de parâmetros externos e critérios operativos podem causar impactos sobre outros sistemas da planta (4). Assim sendo, faz-se importante uma abordagem global e criteriosa de forma a avaliar o projeto de modernização como um todo. Por exemplo, no caso de repotenciação de uma turbina, é preciso reavaliar:

- Eixo da unidade devido ao aumento de torque.
- Enrolamento e núcleo do estator e enrolamento de campo do gerador devido ao aumento da potência.
- Barramento de saída, disjuntor de máquina, transformador elevador e linhas correspondentes.

- Condições operativas e nominais dos transformadores de corrente e equipamento de medição e faturamento, além dos ajustes do sistema de proteção.
- Sistema de refrigeração do gerador, de forma a se readequar às novas condições nominais.

Assim, fica claro que um estudo judicioso se faz necessário desde o início do projeto de modernização de forma a se identificar a interdependência dos equipamentos e sistemas, permitindo que os benefícios da modernização reflitam as prioridades da usina. Faz-se também importante a integração do fornecedor com as equipes de operação e manutenção da usina, para que se conheçam as principais limitações e necessidades do sistema.

4.2 Viabilidade e Planejamento

O estudo de viabilidade deve considerar diversas alternativas de estratégia para o projeto de modernização, levando em conta os reparos e trocas a serem realizados, a implantação de novos sistemas, bem como critérios relativos às equipes de operação e manutenção da planta. Através de comparação e de uma análise criteriosa das alternativas, o planejamento do projeto deverá refletir a melhor combinação de alternativas de forma a se obter os melhores resultados operacionais e econômicos.

Um projeto de modernização apresenta custos ligados à compra e à instalação dos novos equipamentos e sistemas, às perdas de caráter econômico devidas à parada da unidade, aos gastos com planejamento, engenharia, supervisão e inspeção do projeto, entre outros. Esses gastos devem ser confrontados às possibilidades de ganho. É importante que se considere tais ganhos no longo prazo, levando-se em conta o novo ciclo de vida da planta. Vale observar, por exemplo, que um aumento de rendimento relativamente pequeno pode levar a um considerável acúmulo de ganhos no longo prazo, capaz de dar retorno satisfatório sobre o investimento em modernização. Devem ainda ser avaliados os ganhos potenciais com a possibilidade de redução dos custos e das equipes de operação e manutenção, bem como um provável aumento da disponibilidade.

Deve-se então definir o escopo do projeto, ou seja, a descrição clara dos sistemas, equipamentos e componentes a modernizar, bem como as ferramentas, modelos e testes a serem realizados com essa finalidade. Esse escopo também deve indicar a seqüência das atividades do projeto e dimensionar adequadamente as equipes de maneira que não sejam constatadas somente em campo eventuais necessidades de fornecimento e de profissionais. O planejamento da seqüência de atividades deve levar em conta que parte dos serviços de modernização pode ser realizada sem a necessidade de desligamento da unidade geradora, sobretudo para sistemas que são duplicados e permitem a realização de manutenção sem a redundância durante o período de transição. Há ainda atividades que permitem a implantação de novos equipamentos compartilhando o mesmo espaço físico dos antigos, sem a necessidade de desligá-los para a instalação dos novos.

O escopo e a estratégia do projeto são definidos de acordo com uma série de análises e levantamentos técnicos bastante criteriosos. Uma vez que se tem o escopo definido, não é tecnicamente recomendado suprimir reformas ou substituições de equipamentos ou sistemas individualmente, tendo como critério exclusivo a redução de investimentos e custos imediatos. Ações desta ordem tendem a gerar lacunas no projeto que têm seu reflexo na fase de implantação, levando a dificuldades e atrasos que podem ter como consequência final perdas econômicas consideráveis. Qualquer decisão neste sentido deverá ser bem avaliada, levando-se em consideração também os diversos aspectos técnicos do projeto a fim de minimizar os impactos. Como alternativa à necessidade de cortes, pode-se estudar previamente a viabilidade técnica da implantação do projeto de modernização por etapas.

4.3 Desenvolvimento, Execução e Implantação

O planejamento do projeto, definindo um cronograma de trabalho desde a concepção básica e detalhada até o comissionamento dos sistemas modernizados, deverá levar ao estabelecimento de uma estratégia de implantação dos sistemas visando o mínimo impacto na operação e produção da usina. É aconselhável tentar fazer coincidir a substituição dos equipamentos com as paradas programadas das máquinas. É igualmente importante que se busque efetuar as verificações e os testes integrados em fábrica de maneira bastante cautelosa, de forma a minimizar ao máximo o tempo de implantação e de correção em campo. Por exemplo, no caso de reforma de painéis pode-se detectar previamente possíveis necessidades de ajustes e eliminar imprevistos de campo através da pré-produção de conjuntos em fábrica que servem de protótipo. Estes simplificarão a substituição de componentes, reduzindo o tempo de implantação.

Antes do desligamento da unidade, é conveniente que se realize o processo de descomissionamento ou seja, uma série de ensaios e verificações dos equipamentos. Este processo tem como finalidade a verificação da situação e da performance das partes existentes de modo a constatar possíveis problemas e necessidades de intervenções ainda não detectados nas fases anteriores. No gerador, recomenda-se: ensaio de aquecimento, medição de vibrações dos mancais e núcleo do estator, levantamento das curvas características, medição de perdas, vazão de ar e água, verificação dimensional do diâmetro do estator, diâmetro do rotor, entreferro e outros que não constam dos desenhos e que sejam necessários ao projeto da modernização do gerador. Em turbinas, o descomissionamento tem o objetivo de verificar parâmetros de operação, tais como: níveis de vibração, temperatura de mancais, potência máxima, curso de servomotores, abertura máxima de palhetas diretrizes, abertura mínima e máxima de pás (no caso de máquinas de dupla regulação), ensaio de rendimento relativo

("Index Test"), etc. O "Index Test", é um ensaio simples e econômico, muito utilizado nos projetos de repotenciação. É realizado antes e depois da troca do rotor e/ou modificações hidráulicas, se possível com a mesma instrumentação e em quedas líquidas próximas, visando posterior comprovação do ganho de rendimento obtido.

Por fim, a instalação e o comissionamento dos sistemas e equipamentos modernizados devem seguir a estratégia definida na fase inicial do projeto, de modo que o processo seja concluído com o mínimo impacto sobre a operação e, conseqüentemente, sobre a receita da usina. Além disso, nas diversas fases de implantação e transição, a adoção de práticas em total conformidade com as normas vigentes é um requisito básico, de modo a garantir a segurança dos equipamentos e sistemas bem como a integridade física das equipes. Os responsáveis pelas atividades devem estar bem integrados e ter o pleno domínio do funcionamento da planta. É fato que durante as diversas fases de implantação podem ser constatadas novas necessidades de intervenções, não previstas antecipadamente. Para possibilitar aos gestores a tomada de decisão no menor espaço de tempo, evitando interrupção das atividades, é preciso definir previamente regras claras para tratamento de possíveis necessidades e solicitações extra-escopo. A FIGURA 1 ilustra de forma resumida o processo como um todo.

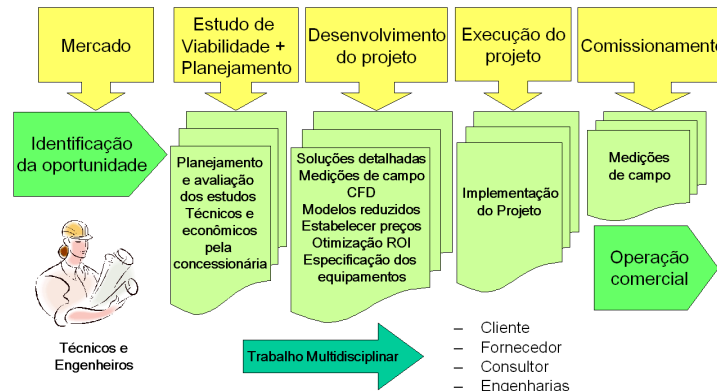


FIGURA 1 – Visão global do processo de modernização

5.0 - CONCLUSÃO

O artigo cobre de forma abrangente os aspectos importantes relativos à modernização de centrais hidrelétricas a serem considerados pelos projetistas e empresas geradoras de energia. Primeiramente foram expostos os diversos equipamentos passíveis de serem modernizados bem como as vantagens e aspectos relacionados. Muitos benefícios são conhecidos e devem ser criteriosamente estudados visando otimizar os ganhos operacionais e econômicos. Vale lembrar que no que diz respeito a equipamentos digitais e automação, poucos dos recursos disponíveis são realmente explorados e conhecidos. Na descrição do processo de modernização fica evidente que se trata de um trabalho multidisciplinar onde a viabilidade técnica e econômica do projeto depende fortemente de uma estratégia elaborada com critérios rigorosos. Neste caso é viável fazer a modernização de uma usina com um mínimo de impacto na operação e produção. Apesar dos consideráveis gastos iniciais, é preciso ter em mente que as vantagens de uma modernização e o retorno dos investimentos são observados em médio e curto prazo.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) AMBIOCONSULT LTDA.– “Relatório de Análise Ambiental Programa de Modernização de Usinas Hidrelétricas de Furnas Centrais Elétricas S.A. – FASE I” – Julho de 2008.
- (2) EPE. “Considerações sobre Repotenciação e Modernização de Usinas Hidrelétricas” – Série Recursos Energéticos Nota Técnica Den 03/08 – Rio de Janeiro, Junho de 2008.
- (3) SANTOS, Cícero Mariano P. – “Reflexões sobre a Modernização do Parque Hidrogerador diante dos Avanços Tecnológicos e dos Instrumentos Regulatórios”, XVII SNPTEE, Uberlândia, 19 a 24 de outubro de 2003.
- (4) IEEE Std 1147-1991 – “IEEE Guide for the Rehabilitation of Hydroelectric Power Plants” – Junho de 1991.
- (5) W. Morgante, T. Kunz, M. Uemori – “Repotenciação da Usina de Elevação de Racoon Mountain (USA)”, XVIII SNPTEE, Curitiba, 16 a 21 de outubro de 2005.
- (6) M. Uemori, P. Oda, J. Beffa, F. Sá – “Reabilitação, Modernização e Futura Repotenciação das Máquinas de Ilha Solteira”, XVIII SNPTEE, Curitiba, 16 a 21 de outubro de 2005.
- (7) P. R. Oda, C. A. Mariano, E. Morales, F. Sá, M. Uemori, W. Oliveira – “Redução do Empuxo Magnético Desbalanceado do Rotor da UG11 da UHE Ilha Solteira”, XX SNPTEE 2009, Recife, 22 a 25 de nov. de 2009.
- (8) IEC 62256 – “Hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines - Rehabilitation and performance improvement” – Janeiro de 2008.
- (9) O. Veter, F. Czerwinski, D. Robert – “Rehabilitation : A Great Opportunity for Improving Energy Production of Ageing Hydro-Electric Power Plants”, Hydrovision Russia - Março 2010

7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Pedro Camilo de O. e Silva nasceu em Sete Lagoas, Minas Gerais, em 1984. É Engenheiro Eletricista formado pela Universidade Federal de Itajubá (jan/2007) e obteve o grau de Mestre em Engenharia Elétrica pela *Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne* (EPFL), Suíça, em 2009. Pedro se juntou à Alstom Hydro Brasil em 2007, onde atuou na área de Balance of Plant (Sistemas Auxiliares Elétricos) e se dedica hoje à área de Sistemas de Controle.



Antonio C. Padoan Jr. nasceu em Taubaté, São Paulo, em 1979. É Engenheiro Eletricista formado pela Escola de Engenharia de São Carlos (2002) onde obteve também o título de Mestre em Engenharia Elétrica (2005). Obteve o título de Mestre em Engenharia Mecânica pela *Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne* (EPFL), Suíça, em 2008. Hoje trabalha na área de engenharia de sistemas da Alstom Hydro Brasil.



Mauro Uemori nasceu em São Paulo, São Paulo, em 1955. É engenheiro Eletricista formado pela Escola Politécnica da USP (1978). Mauro se juntou à Alstom Hydro Brasil em 1979, onde atuou na área de cálculo elétrico e orçamentos de geradores e hoje atua na área de engenharia como Expert em geradores.



Ricardo da Costa Rigolin



Karine Almeida



Ricardo Vasconcellos