



FORNECEDOR ALTERNATIVO AO OEM NO REPARO DE TURBINAS A VAPOR¹

Flávio Henrique Stahlberg Natal ²

Jonas Pedro Caumo ³

Resumo

Os setores siderúrgico, utilidades, papel & celulose, químico e petroquímico brasileiros tem uma vasta aplicação de turbinas a vapor para acionamento de compressores e geradores elétricos de médio e grande porte, entre 15 MWe 50 MW. Diversas plantas em atividade hoje possuem turbo-grupos cujos ciclos de operação se iniciaram nas décadas de 1960, 1970 e 1980. É característica das turbo-máquinas uma elevada campanha. Normalmente os projetos e processos construtivos destes equipamentos permitem uma vida útil de 200.000 horas e um processo de revitalização para extensão de mais 200.000 horas. Isso equivale a aproximadamente 47 anos operacionais. Durante a operação diversos fatores e fenômenos são potenciais causadores de deterioração na *performance* e danos aos equipamentos. Tais fatores estarão presentes em menor ou maior grau durante o ciclo de vida de todos os turbo-grupos, gerando a necessidade de manutenção e monitoração dos mesmos. Uma vez que existe um extenso parque de turbinas a vapor próximas ou acima do ciclo de vida útil, e sendo a absoluta maioria destas importadas e com suas tecnologias descontinuadas pelos fabricantes originais (OEM), tornou-se uma carência no mercado o desenvolvimento de fornecedores nacionais alternativos para grandes reparos e revitalizações. Este trabalho apresenta a metodologia, os resultados da aplicação de engenharia reversa e a utilização de tecnologias nacionais no reparo de turbinas a vapor, desenvolvidos pela TGM Turbinas entre 2003 e 2011.

Palavras-chave: Geração de energia; Turbinas a vapor; Manutenção.

ALTERNATIVE SUPPLIER TO THE OEM REGARDING REPAIRS OF STEAM TURBINE

Abstract

The steel, utilities, pulp & paper, chemical and petrochemical sectors in Brazil have a wide application of steam turbines to drive compressors and electric generators of medium and large sizes, between 15 and 50 MW. Several plants in operation nowadays have turbo-groups whose operational cycles began at 60's, 70's and 80's. It is characteristic of turbo-machines having a high lifetime. Usually the design and construction processes of these devices allow a lifetime of 200,000 hours and a revitalization process for an extension of more 200,000 hours. This is equivalent of approximately 47 years of operations. During the operation a large number of factors and phenomena are potential causes of deterioration of performance and damage to equipment. These factors will be present in greater or lesser degree during the life cycle of all turbo-groups, creating the need of maintenance and monitoring. Since there is a large amount of steam turbines near or above the cycle of lifetime, and being the absolute most of these turbo-groups imported technologies and discontinued by their original manufacturers (OEM), the development of a national alternative suppliers to major repairs and revitalization has become a need in the market. This work presents the methodology, the results of applying reverse engineering and the use of domestic technologies in the repair of steam turbines, developed by TGM Turbinas between 2003 and 2011.

Key words: Power generation; Steam turbines; Maintenance.

¹ *Contribuição técnica ao 33º Seminário de Balanços Energéticos Globais e Utilidades e 27º Encontro de Produtores e Consumidores de Gases Industriais, 22 a 24 de agosto de 2012, Belo Horizonte, MG.*

² *Engenheiro mecânico Engenheiro de Aplicação, TGM Turbinas.*

³ *Engenheiro mecânico, Engenheiro de Projetos, TGM Turbinas.*



1 INTRODUÇÃO

Esse trabalho apresenta o processo de nacionalização da tecnologia de turbinas a vapor importadas, com ciclo de vida avançado e tecnologias descontinuadas pelos fabricantes originais do equipamento (OEM).

Serão analisados os métodos e processos utilizados pela TGM entre 2003 e 2011 para garantir o fornecimento dos reparos dos equipamentos com a confiabilidade e garantias exigidas pela criticidade da operação dos mesmos, através do emprego de tecnologias e recursos nacionais.

Serão expostos os resultados de dois casos de recuperações de turbinas a vapor, cujos reparos envolveram o fornecimento de rotor e palhetamento completos.

Os desenvolvimentos das soluções partiram das informações básicas do equipamento, existentes nos manuais de posse dos proprietários, das inspeções em campo e da aplicação da tecnologia própria TGM.

2 METODOLOGIA

Os componentes da turbina a vapor operam em uma condição de alta degradação das suas propriedades de material e forma e elevados níveis de stress térmico e mecânico. Dessa forma pequenos desvios nos processos de produção em relação aos projetos podem reduzir significativamente a confiabilidade e a vida útil do próprio componente e da turbina. Grande parte destes problemas foram estudados e relatados no livro de Sanders.⁽¹⁾

Torna-se necessário assegurar que todo o processo de nacionalização da tecnologia para o fornecedor alternativo ao OEM seja rigorosamente controlado e monitorado.

METODOLOGIA APLICADA AOS FORNECIMENTOS TGM

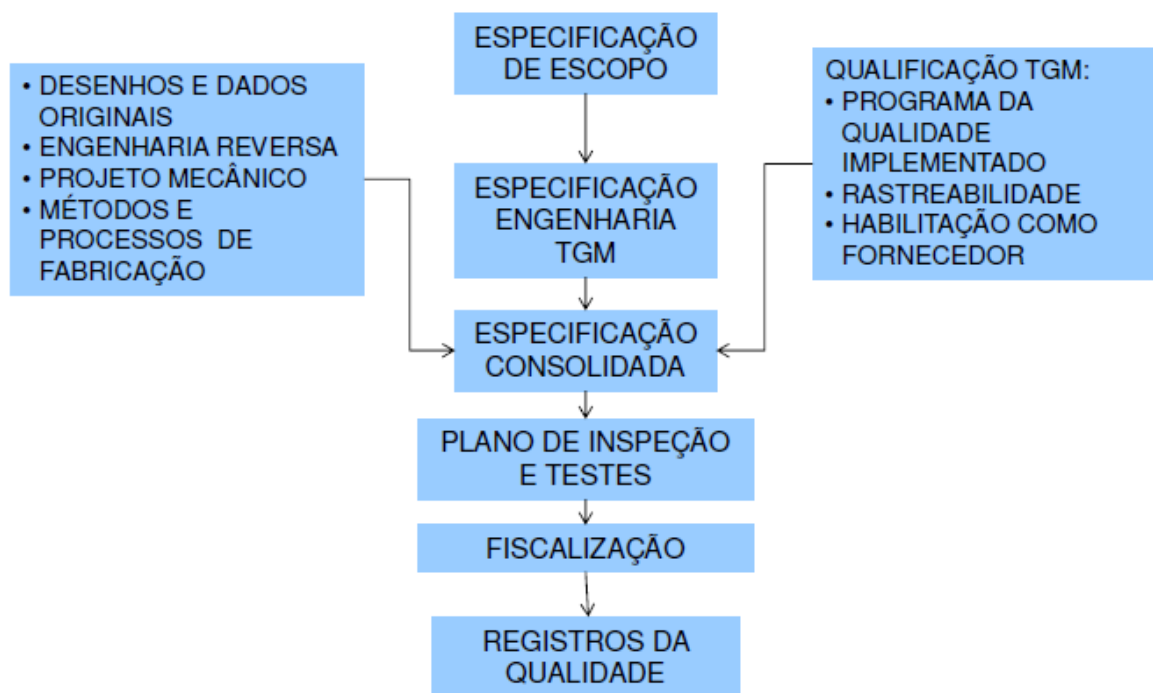




Figura 1. Fluxograma aplicado em fornecimentos executados pela TGM.

O programa de qualidade deve abranger as fases de aquisição de dados, projeto mecânico, especificação e materiais, fabricação e montagem dos componentes:

- desenhos e dados originais do equipamento: foram utilizadas as informações contidas nos manuais do proprietário do equipamento como referências das condições dos projetos originais quanto às normas construtivas e condições/limites operacionais;
- engenharia reversa: o processo de engenharia reversa foi utilizado para garantir que as características necessárias aos componentes seriam reproduzidas no processo de produção pelo fornecedor TGM. Foram avaliados nos seguintes itens:
 - dados dimensionais: obtidos através de processo de medição em campo ou nas instalações fabris da TGM dos componentes em uso na turbina;
 - determinação dos materiais originais: a partir de ensaios destrutivos e não destrutivos de amostras analisadas para a definição das ligas originais.
 - equivalência de materiais: a partir dos materiais originais, quando necessário houve a conversão para as normas DIN. Sempre utilizando ligas equivalentes, ou superiores na maioria dos casos, em termos de propriedades mecânicas;
- projeto mecânico: as partir das condições operacionais conhecidas e dos dados provenientes da engenharia reversa, desenvolveu-se o projeto mecânico dos componentes em nacionalização, incluindo:
 - Cálculo termodinâmico: através da utilização de tecnologia própria de cálculo e/ou CFD foram definidas as novas configurações do canal termodinâmico da turbina. O uso de tecnologia própria permitiu a adequação dos perfis de palhetamentos mais atualizados, trazendo ganhos de eficiência quando comparados aos perfis originais mais antigos;
 - cálculo mecânico: os componentes são analisados quanto a sua integridade mecânica tanto para a validação dos projetos originais quanto para as novas características construtivas atualizadas. Foram utilizadas técnicas tais como análise por elementos finitos, diagrama de Campbell, rotordinâmica, entre outros;
 - dimensionais: baseando-se nas dimensões conhecidas das peças originais e aplicando as diretrizes de projeto aos componentes e suas cadeias definiram-se as tolerâncias de fabricação exigidas;
 - especificação de ensaios não destrutivos: foram definidos os ensaios individuais a cada componente e seus cujos critérios de aprovação.
- métodos e processos de fabricação: após as definições do projetos mecânicos foram desenvolvidos os métodos e processos produtivos para a garantia da fabricação dentro dos limites estabelecidos. Foram utilizados tantos os métodos convencionais aplicados nas turbinas a vapor da linha de fabricação TGM, quanto desenvolvidos novos métodos de fabricação específicos destes processos de nacionalização de componentes.



2.1 Programa da Qualidade

A TGM como um fabricante de turbinas a vapor tem um programa de qualidade implementado que abrange todo o processo de produtivo, incluindo:

- procedimentos de controle e rastreabilidade dos materiais utilizados nos componentes;
- plano de inspeção e testes, qualificações exigidas e critérios para aprovação;
- matriz de atribuição de responsabilidades;
- métodos e procedimentos de calibração e controle dos instrumentos de medição;
- métodos e procedimentos de avaliação, registro e plano de ação para não conformidades; e
- métodos e procedimentos de planejamento e controle de produção.

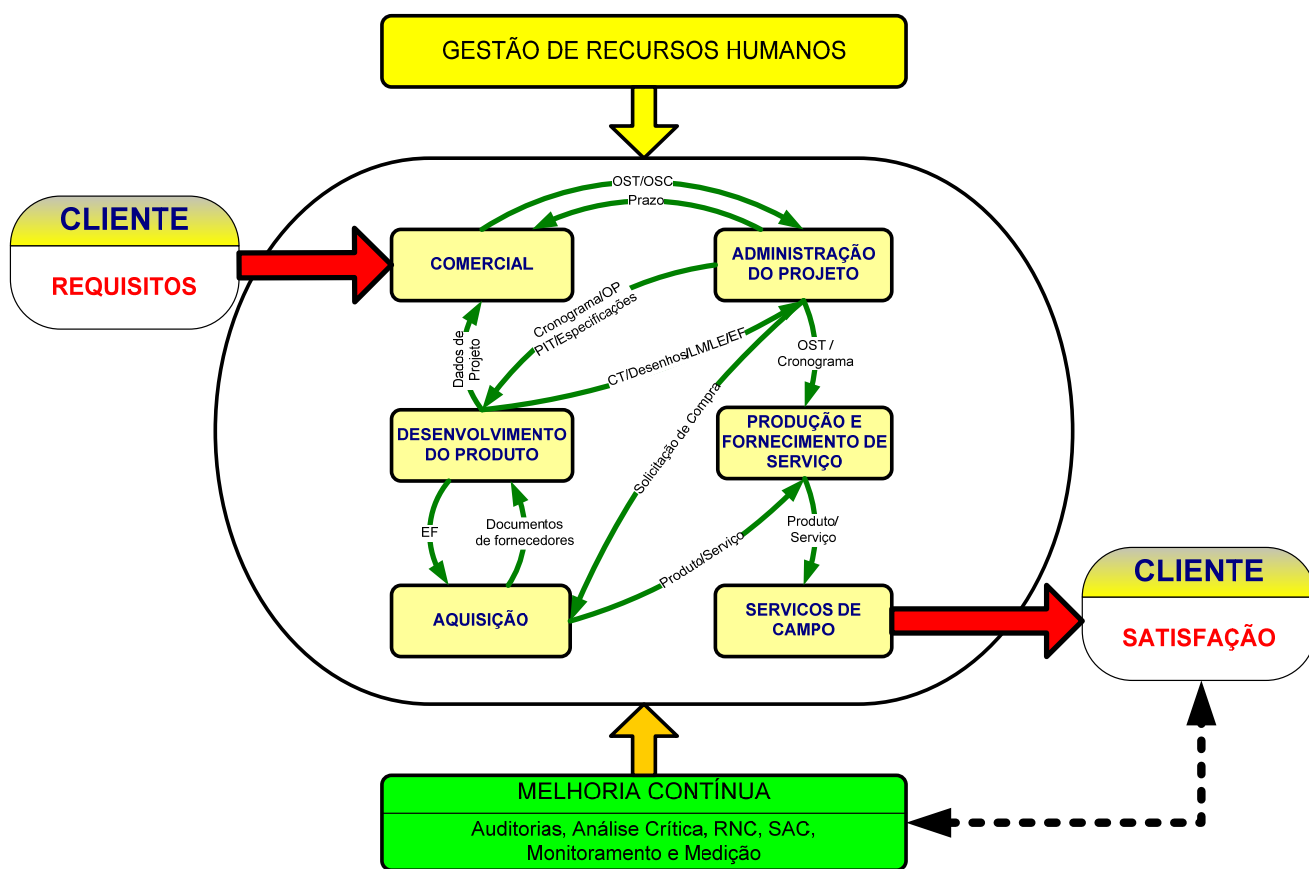


Figura 2. Relação entre os diversos departamentos da empresa e o cliente.



Figura 3: Etapa da engenharia reversa: medição de um disco empalhetado em máquina de medir 3D nas instalações da TGM Turbinas.

3 CASOS APLICADOS

3.1 Turbina de Condensação GHH 20,7 MW – Planta Siderúrgica

A turbina sofreu um dano grave logo após retorno de uma manutenção geral, que exigiu nova abertura para avaliação. A TGM participa da fase de licitação para reparo e apresenta proposta, recebendo a ordem de serviço para execução em caráter emergencial:

- palhetamento do eixo rotor muito danificado, principalmente nas regiões de alta e média pressão;
- palhetamento do porta palhetas de alta pressão totalmente danificado;
- palhetamento do porta palhetas de média pressão totalmente danificado;
- selagens de vapor do rotor amassadas e quebradas;
- selagens de vapor das buchas de labirintos e compensação amassadas e quebradas;
- mancal axial com arraste de material nas pastilhas axiais; e
- anéis de vedação com desgaste.



Figura 4: Detalhe do rotor danificado durante a remoção em campo.]

{

A partir das condições encontradas de extensos danos no equipamento, a TGM apresentou solução para o reparo da turbina com 100% de índice de nacionalização e tecnologia própria. O reparo incluiu:

- remoção da turbina completa e envio para as instalações fabris da TGM;
- aplicação do processo de engenharia reversa do conjunto;
- desenvolvimento do projeto mecânico dos novos componentes, utilizando-se de perfis de palhetas móveis e fixas de tecnologia TGM;
- reaproveitamento do eixo e montagem do novo palhetamento e selagem de vapor de fabricação TGM;
- reaproveitamento da carcaça da turbina;
- fabricação de novos conjuntos de porta-palhetas;
- revisão e recuperação de todos os acessórios da turbina;
- montagem da turbina e fábrica e registro das folgas finais;
- modernização dos sistemas de controle e proteção originais por sistema atualizado – regulador eletrônico;
- expedição e montagem em campo; e
- testes de *performance* do conjunto turbina e soprador conforma ASME PTC 6.⁽²⁾

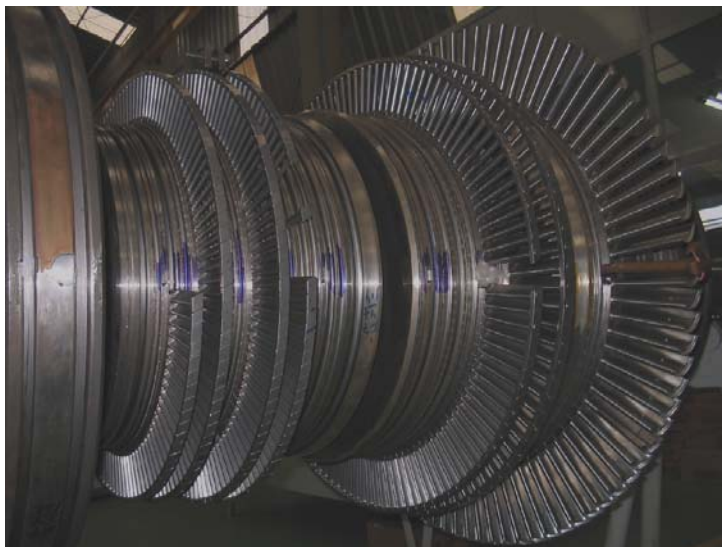


Figura 5: Rotor durante a recuperação, montagem de palhetas.

3.2 Turbina de Contra-pressão BBC 23 MW – Planta Papel & Celulose

Esta turbina foi fornecida originalmente em 1977, com um conjunto rotor e porta-palhetas sobressalentes. Passou por um acidente operacional que inutilizou um rotor / porta-palhetas. A partir daí operou com o conjunto sobressalente original, que após 8 anos de operação também apresentou danos que causavam limitação operacional.

A TGM recebe a ordem de serviço para o reparo geral da turbina, a partir de uma solução baseada em inspeções do conjunto rotor inutilizado no acidente operacional, enquanto a turbina operava com limitações operacionais com o conjunto rotor/porta-palhetas disponível. O projeto prevê também o aumento de potência máxima e eficiência da turbina.

3.2.1 Estratégia do reparo da turbina:

- Fase I: turbina em operação:
 - aquisição de dados existentes nos manuais do equipamento e no histórico da manutenção;
 - engenharia reversa a partir dos componentes inutilizados no acidente operacional;
 - atualização do projeto termodinâmico para as novas condições, onde a potência máxima e eficiência foram melhoradas;
 - desenvolvimento do projeto mecânico dos seguintes componentes: rotor completo, porta-palhetas, sistema de selagem de vapor; elementos de fixação e reparos de válvulas e acessórios;
 - fabricação dos componentes projetados; e
 - preparação da parada da turbina.
- Fase II: turbina em parada de manutenção:
 - Execução da para conforme planejado para instalação dos novos componentes incluindo: desmontagem da turbina e inspeções dimensionais para permitir a usinagem das condições finais de ajustagem dos componentes fabricados; inspeções e revisão geral do equipamento;



término da ajustagem dos componentes conforme dimensional real da turbina; montagem em campo; e teste de *performance*.

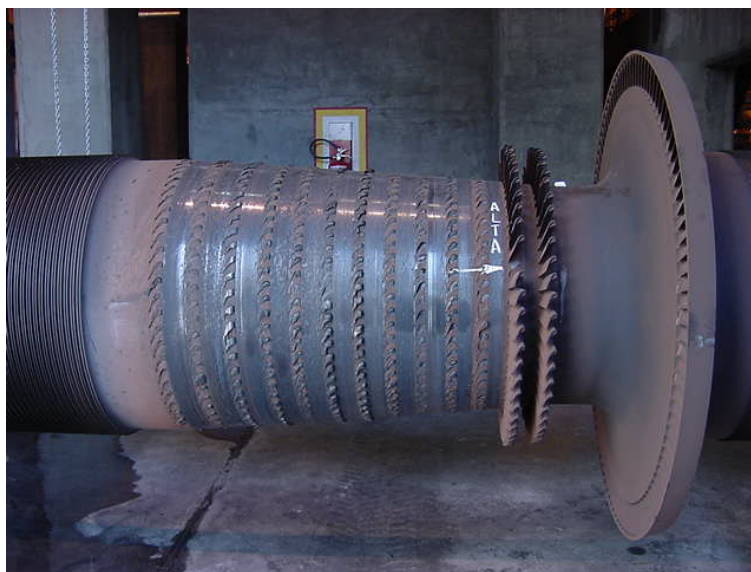


Figura 6: Rotor danificado utilizado na engenharia reversa.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Turbina de Condensação GHH

Atualmente esta turbina já acumula aproximadamente 60.000 horas operacionais após o reparo executado pela TGM, cumprindo as expectativas de ciclo de manutenção e *performance* esperadas.

Prazo: A turbina foi posta em marcha 08 meses após o recebimento da ordem de serviço pela TGM.

Condições operacionais após o reparo: O teste de *performance* demonstrou que a turbina ultrapassou os valores garantidos em contrato, na tabela abaixo:

Tabela 1: Valores de *performance* garantidos em contrato

CONDIÇÕES ORIGINAIS FABRICANTE : GHH	CONDIÇÕES APÓS MODERNIZAÇÃO FABRICANTE : TGM
✓ Pressão de vapor na entrada = 42,2 bar eff.	✓ Pressão de vapor na entrada = 42,2 bar eff.
✓ Temperatura de vapor na entrada = 440°C	✓ Temperatura de vapor na entrada = 440°C
✓ Pressão da tomada E1 = 3,53 kp/cm2 abs	✓ Pressão da tomada E1 = 3,53 kp/cm2 abs
✓ Consumo de vapor tomada E1 = 4,42 t/h	✓ Consumo de vapor tomada E1 = 4,42 t/h
✓ Pressão da tomada E2 = 1,054 kp/cm2 abs	✓ Pressão da tomada E2 = 1,054 kp/cm2 abs
✓ Consumo de vapor tomada E2 = 4,85 t/h	✓ Consumo de vapor tomada E2 = 4,85 t/h
✓ Pressão de vapor na saída = 0,08 bar abs	✓ Pressão de vapor na saída = 0,08 bar abs
✓ Potência nominal = 15.500 kW	✓ Potência nominal = 15.800 kW
✓ Rotação nominal = 4.150 rpm	✓ Rotação nominal = 4.150 rpm
✓ Consumo de vapor = 64,9 t/h	✓ Consumo de vapor = 64,9 t/h
✓ Consumo específico de vapor = 4,187 kg/kWh	✓ Consumo específico de vapor = 4,107 kg/kWh
✓ Potência máxima = 20200 kW	✓ Potência máxima = 20700 kW
✓ Consumo total de vapor = 88,7 t/h	✓ Consumo total de vapor = 88,7 t/h
✓ Consumo específico de vapor = 4.307 kg/kwh	✓ Consumo específico de vapor = 4.285 kg/kwh



Figura 7: Rotor recuperado pronto para expedição.

4.2 Turbina de Contra-pressão BBC

Atualmente esta turbina já acumula aproximadamente 15.000 horas operacionais após a instalação dos novos componentes fabricados pela TGM, cumprindo as expectativas de ciclo de manutenção e *performance* esperadas.

- *Prazos:*
 - Fase I turbina em operação: o processo de engenharia reversa, projeto, compra de materiais e fabricação dos componentes foi de 250 dias corridos; e
 - Fase II turbina em parada para manutenção: o período de parada foi de 45 dias corridos.
- *Condições operacionais após o reparo:* O teste de *performance* foi conduzido conforme procedimento interno TGM, cujas referências são as normas:
 - DIN 1943 – 02/1975: Thermal Acceptance Tests of Steam Turbines;⁽³⁾
 - DIN 1952 – 1982: Measurement of Fluid Flow by Means of Orifice Plates, Nozzles and Venturis;⁽⁴⁾ e
 - VDI 2040 – 1971: Calculation Principles for Measurement of Fluid Flow Using Orifice Plates, Nozzles and Venturi Tubes.⁽⁵⁾



Figura 8: Rotor novo na usinagem final.

Os resultados dos testes demonstraram que a turbina atingiu os valores garantidos em contrato, conforme as Tabelas 2 e 3.

Tabela 2: Pontos de garantia do contrato

Garantias Especificadas		Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3
Potência	MW	20,0	13,1	23,5
Fluxo de Vapor Vivo	t/h	210	150	250
Fluxo de Extração	t/h	75	50	100

Sendo as condições:

Pressão de vapor vivo = 47 bar abs (no coletor gama)
 Temperatura de vapor vivo = 430°C (no coletor gama)

Tabela 3: Resultados do teste de performance

ANALISE DOS RESULTADOS									
		Ponto 1		Ponto 2		Ponto 3			
		Manual	Automatico	Manual	Automatico	Manual	Automatico		
Fatores de correção	K1	0,0402	0,0284	0,0286	0,0190	0,0402	0,0222		Pressão vapor vivo
	K2	0,0194	0,0208	0,0203	0,0212	0,0194	0,0181		Temperatura de vapor vivo
	K3	0,0440	0,0081	0,0128	0,0023	0,0440	0,0184		Vazão Vapor Vivo
	K4	-0,0011	-0,0051	-0,0008	-0,0032	-0,0011	-0,0059		Pressão extração
	K5	0,0071	0,0060	0,0010	0,0010	0,0071	0,0043		Pressão escape
	K6	0,0236	0,0316	0,0247	0,0200	0,0236	0,0212		Vazão de extração
Potencia Corrigida (MW)				Manual	Automatico				
	Ponto 1			21,65	20,70	Potencia Corrigida = Potencia Medida* (1+ K1+ K2+ K3+K4+K5+K6)			
	Ponto2			13,48	13,22				
Ponto 3			25,69	24,45					
Potencia de Garantia (MW)	Nom.	19,15	20,62	19,77	Potencia Garantia = (2*P1+ P2+ P3)/4 (garantia= 19,15 MW)				
Intervalo devido incerteza	Min.	18,56	Max.	19,74	Incerteza	3,10%			

5 CONCLUSÕES

Os casos apresentados neste trabalho, assim como outros projetos de mesmas características desenvolvidos pela TGM Turbinas entre 2003 e 2011, nos permitem concluir:



- O processo de nacionalização de tecnologias descontinuadas pelos fornecedores originais (OEM) para desenvolvimento de um fornecedor alternativo nacional foi efetivo;
- A engenharia reversa utilizada permitiu a identificação dos requisitos obrigatórios para a funcionalidade dos componentes da turbina, suprimindo a área de projeto termodinâmico e mecânico com as informações necessárias para garantir a equivalência e/ou a melhoria das condições originais dos componentes reprojatados;
- A tecnologia 100% nacional e própria da TGM Turbinas atende plenamente as exigências de projeto para os grandes reparos e repotenciamentos das turbinas a vapor industriais do parque de máquinas brasileiro;
- Todos os materiais utilizados nos casos apresentados, sejam fundidos, forjados ou laminados são oriundos do próprio mercado nacional, garantindo um índice de nacionalização de 100% nestes projetos, atendendo e superando as normas originais ou equivalentes de fornecimento;
- Todos os métodos e processos de fabricação foram desenvolvidos e executados pela TGM Turbinas e suas empresas parceiras, demonstrando que a disponibilidade do parque fabril nacional, especificamente no polo de desenvolvimento da agroindústria na região de Sertãozinho/SP (sede da TGM), tem plenas condições de atender a demanda de reparos e fabricações para o parque de turbinas a vapor industriais brasileiro;
- Existem soluções disponíveis no mercado nacional para o reparo e repotenciamento de turbinas a vapor de tecnologias recentes ou defasadas, igualando-se aos padrões de fornecimento internacionais;
- Os projetos executados pela TGM Turbinas tiveram sua eficácia comprovada pelos testes de *performance* e pelas horas operacionais acumuladas, de forma a consolidar a TGM Turbinas como um fornecedor alternativo ao Fabricante Original do Equipamento (OEM) nos reparos, atualizações tecnológicas, manutenções e adequação das condições operacionais de turbinas a vapor industriais.

REFERÊNCIAS

- 1 SANDERS, W. P. Turbine Steam Path Maintenance and Repair Volume Two. Estados Unidos: PennWell, 2001.
- 2 ASME PTC 6-1996: Performance Test Code 6 on Steam Turbines. Estados Unidos: The American Society of Mechanical Engineers, 1996.
- 3 DIN 1943, 02/1975: Thermal Acceptance Tests of Steam Turbines. Alemanha: Beuth Verlag GmbH, 1975.
- 4 DIN 1952, 1982: Measurement of Fluid Flow by Means of Orifice Plates, Nozzles and Venturis. Alemanha: Beuth Verlag GmbH, 1982.
- 5 VDI 2040, 1971: Calculation Principles for Measurement of Fluid Flow Using Orifice Plates, Nozzles and Venture Tubes. Alemanha: VDI, 1971.