

REFORMA DA TRT (TOP PRESSURE RECOVERY TURBINE)¹

Adilson Campo Ferrarin²

Resumo

A Turbina de topo do Alto Forno é um equipamento de fundamental importância para o aproveitamento da energia do gás de alto forno gerado no processo. A Turbina de topo está instalada no sistema de recuperação de gás do Alto Forno 1 da ArcelorMittal Tubarão, está em operação desde 1996 com a finalidade de gerar energia elétrica e controlar a pressão de topo do Alto Forno. Devido ao desgaste das palhetas causado pelo gás de processo que impulsiona a turbina, foi realizada em 2012 uma grande parada para substituição dos principais componentes da turbina. Nesta oportunidade foi realizada a recuperação do rotor e do estator blade da turbina através do processo de engenharia reversa. Além disso, foi realizada a manutenção nos outros componentes e sistemas periféricos. A reforma realizada objetivou garantir a confiabilidade operacional e a vida útil do equipamento para mais uma campanha operacional, além possibilitar melhor rendimento com menor custo aplicado comparado com a aquisição de novos componentes.

Palavras-chave: Manutenção; Turbina; Engenharia reversa; Energia.

TOP PRESSURE RECOVERY TURBINE REVAMP

Abstract

The Top Pressure Recovery Turbine is an important equipment to recovery the energy of the blast furnace gas generated in the process. The turbine is installed in the gas recovery system of the ArcelorMittal Tubarão Blast Furnace 1, has been in operation since 1996 with the purpose of generating electricity and control the top pressure of the blast furnace 1. Due to wear in the blades caused by the process gas that drives the turbine, a great shutdown for replacement of major components of the turbine was held in 2012. On this occasion a revamp of the rotor and the stator blade of the turbine were performed by reverse engineering process. In addition, the maintenance was performed in others components and peripheral systems of the turbine. The turbine shutdown aimed to ensure the operational reliability and life service of the equipment for another campaign; it also allows a better performance with lower applied cost compared to purchasing new components.

Key words: Maintenance; Turbine; Reverse engineering; Energy.

¹ *Contribuição técnica ao 34º Seminário de Balanços Energéticos Globais e Utilidades e 28º Encontro de Produtores e Consumidores de Gases Industriais, 28 a 30 de agosto de 2013, Vitória, ES.*

² *Engenheiro Mecânico (UFES, 2005) e Especialista de Manutenção Mecânica da Área de Energia da ArcelorMittal Tubarão – Vitória – ES.*

1 INTRODUÇÃO

Em uma usina siderúrgica o Alto Forno é a unidade responsável pelo processo de redução do minério de ferro e fundentes em ferro gusa e neste processo é gerado o gás de Alto Forno (BFG - *Blast Furnace Gas*) que tem sua energia cinética aproveitada para movimentar uma turbina, que é chamada de turbina de topo na qual é acoplada um gerador para geração de energia.

Neste trabalho é descrita uma grande intervenção realizada na turbina de topo do Alto Forno 1 da ArcelorMittal Tubarão, visando à eliminação de problemas detectados em inspeções anteriores e para garantir a estabilidade operacional do equipamento.

No item 2, o trabalho é contextualizado, com a apresentação da ArcelorMittal Tubarão e, mais especificamente, da Área de Energia, responsável pela gestão dos equipamentos que formam a matriz de geração de energia. Este sistema é explorado a seguir, sendo focado a turbina de topo do Alto Forno 1.

No item 3 é apresentado um breve histórico das manutenções executadas nesta turbina e, em seguida, é introduzida, já no item 4, a grande parada realizada em 2012. Neste item são descritas em detalhes as principais atividades realizadas nesta parada.

Adiante, no item 5, é realizado um balanço geral da parada, com os principais pontos de destaque e os desafios enfrentados. O item 6 fecha o artigo, com a conclusão do trabalho.

2 CONTEXTO PARA O DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

2.1 A ArcelorMittal Tubarão

A ArcelorMittal Tubarão está estrategicamente localizada na região da Grande Vitória, no Espírito Santo, conta com cerca de 4.500 funcionários para uma produção anual em torno de 7,5 milhões de toneladas de aço. Possui uma área total de 13,5 milhões de metros quadrados, sendo 7 milhões de metros quadrados ocupados pela Usina. A Companhia é servida por uma bem aparelhada malha rodo-ferroviária: Estrada de Ferro Vitória-Minas e Ferrovia Centro - Atlântica e Rodovias BR - 101 e BR - 262. Também é ligada a um excelente complexo portuário, contando com o Porto de Praia Mole e com o Terminal de Barcaças Oceânicas. Essa infra-estrutura favorece o recebimento das principais matérias-primas e insumos – principalmente minério de ferro e carvão mineral – e facilita o escoamento dos seus produtos.

Na Figura 1 é mostrado o fluxo produtivo simplificado da usina, partindo das matérias-primas, passando pelas diversas etapas do processo e chegando aos produtos finais cuja proporção está definida em 4 milhões de toneladas por ano de bobinas e 3,5 milhões de toneladas por ano de placas.

2.2 A Área de Distribuição de Energia

A área de Distribuição de Energia é responsável pelo recebimento/distribuição da energia elétrica gerada nas Centrais Termoelétricas e Turbina de Topo do Alto Forno 1, pela captação/tratamento e distribuição de toda a água utilizada na usina (água industrial, água potável, água desmineralizada e água do mar) e também responsável pelo Recebimento e Distribuição dos gases combustíveis – COG, LDG e

BFG, os quais são gerados ao longo do processo produtivo da usina, sendo estes utilizados para a geração de energia elétrica (queima nas caldeiras das Centrais Termoeletricas), e para geração de energia térmica, quando queimado em fornos de rea aquecimento e equipamentos específicos nos processos produtivos da usina.

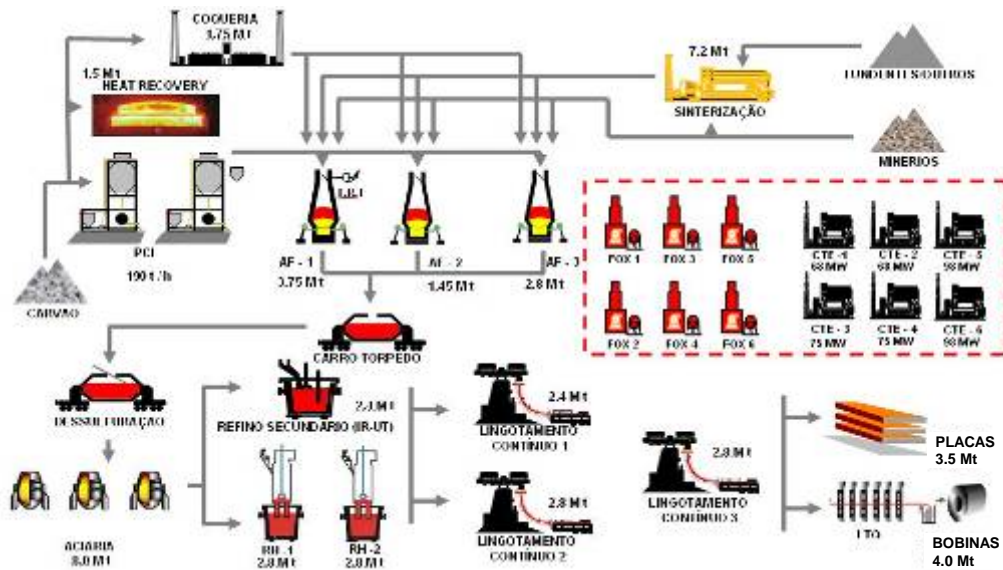


Figura 1 - Fluxo Produtivo da ArcelorMittal Tubarão.

O COG, um gás com alto poder calorífico, é gerado nas baterias durante o processo de coqueificação do carvão mineral, o LDG é produzido/recuperado na Aciaria, e o BFG é gerado durante o processo de redução do minério nos Altos Fornos.

Destes três gases combustíveis gerados, o BFG é o de maior volume, com uma geração de cerca de 1.300 NDam³/h, daí sua grande importância no modelo energético da usina. A energia gerada na Turbina de Topo contribui para que a Área de Distribuição de Energia possa manter o atendimento aos seus clientes e garantir sua continuidade operacional.

2.3 O Sistema Operacional da TRT

O Alto Forno 1 teve o seu start up em 1983 e tem capacidade anual de produção de 3.600.00t de ferro gusa (liga de ferro-carbono contendo de 4,0 a 4,5 % de carbono). No processo de produção do Alto Forno ocorre a redução da carga metálica (minério, sinter e pelotas) em ferro gusa e neste processo é gerado o gás BFG que é conduzido por um sistema de tubulação para ser utilizado na matriz energética da ArcelorMittal Tubarão.

Neste sistema de tubulação da distribuição do gás BFG na saída do Alto Forno 1 está instalada a Turbina de Topo, que no sistema de recuperação do gás aproveita sua energia cinética para movimentação da turbina. Na Figura 2 é apresentado o fluxo de produção do Alto Forno 1 e geração do BFG.

Durante o processo, as características químicas do gás produzido internamente no Alto-Forno não são alteradas, tendo em vista que a turbina nada mais faz do que expandi-lo controladamente. A pressão cai de aproximadamente 2,5 kg/cm² para 0,09 kg/cm². Com isso, a TRT, além de gerar energia, controla a pressão no topo do Alto-Forno, que antes era controlada por uma válvula específica chamada Septum.

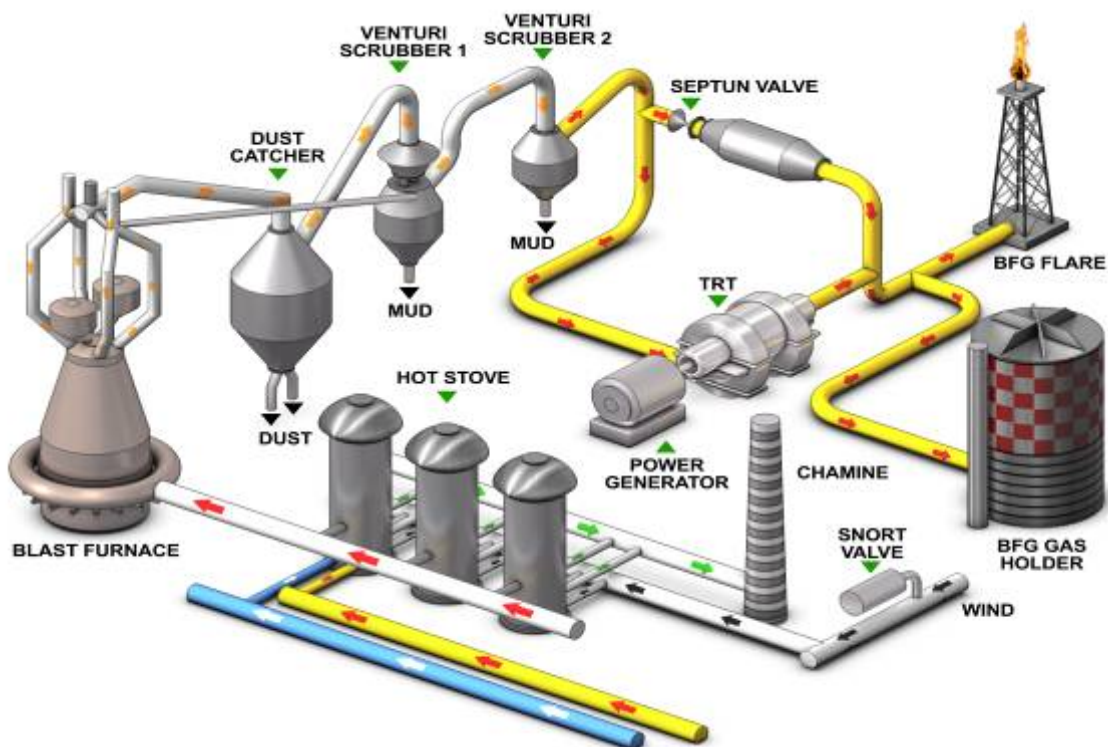


Figura 2 - Fluxo de operação do Alto Forno 1 geração do BFG na ArcelorMittal Tubarão.

2.4 TRT - Turbina de Topo

A Turbina de topo do Alto Forno 1 foi instalada no ano de 1996 e é movida pela energia cinética do gás BFG que passa através de seu rotor.

O fluxo de gás BFG passa por uma válvula de entrada (que tem a função de isolar a turbina), uma válvula de fechamento rápido (proteção da turbina), na seqüência entra no duto de admissão, passa pelo primeiro estágio que é o estator blade constituído de palhetas móveis que tem a função de regular a vazão do gás, chega ao primeiro estágio de palhetas do rotor passando pelo diafragma e segundo estágio de palhetas movimentando o rotor a 3600 RPM, conforme mostrado na Figura 3. O rotor da turbina está acoplado a um gerador para geração de energia.

Dados Técnicos:

Start Up: 1996

Modelo: KSA-140HA

Tipo: Expansão Axial

Capacidade: 20MW

Fornecedor Turbina: Kawasaki Heavy

Fornecedor Gerador: Meiden

Vazão de Gás Mínima: 300.000 Nm³/h

Pressão de entrada: 2,5 Kgf/cm²

Pressão de saída: 0,06 Kgf/cm²

Número de Estágios: 2

Rotação nominal: 3600 RPM

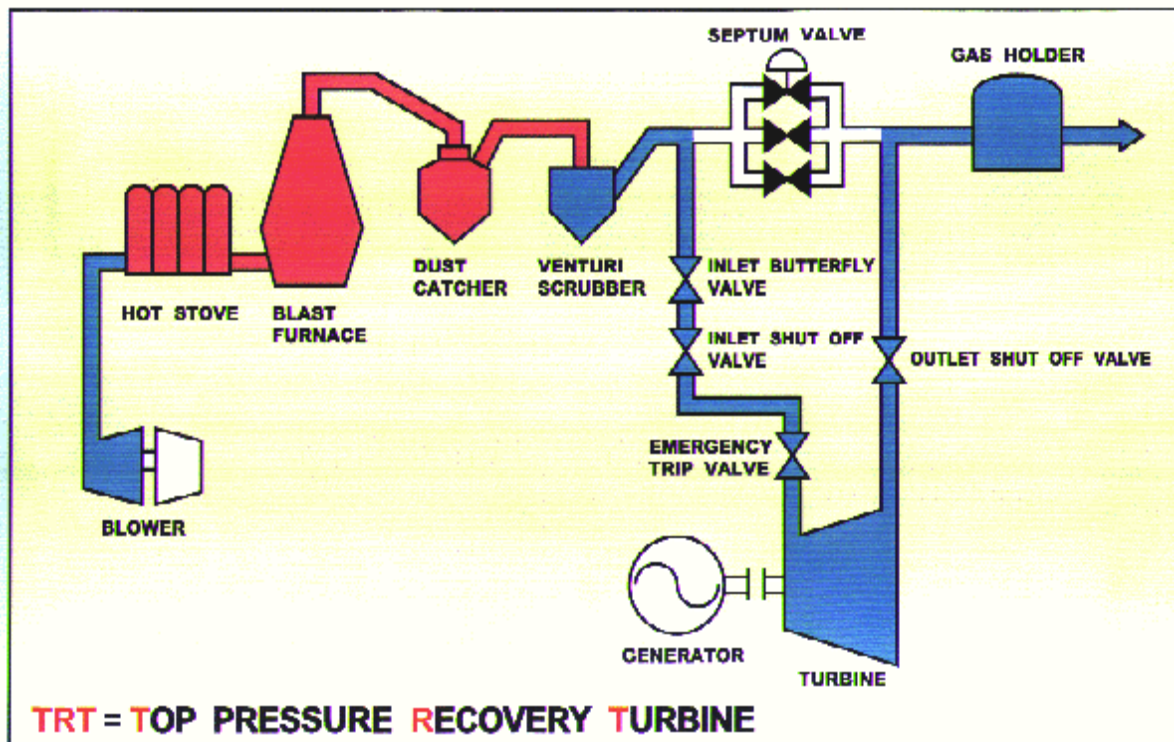


Figura 3 - Fluxo simplificado da instalação da TRT.

Os principais componentes mecânicos da turbina de topo são:

- válvula de bloqueio entrada do gás;
- válvula de emergência, proteção da turbina;
- válvula de by-pass da turbina;
- carcaça da turbina;
- rotor da turbina;
- Estator Blade (controle vazão);
- diafragma (redireciona gás para segundo estágio de palhetas do rotor);
- mancais de deslizamento;
- sistema de selagem de gás;
- sistema de óleo de lubrificação e controle.

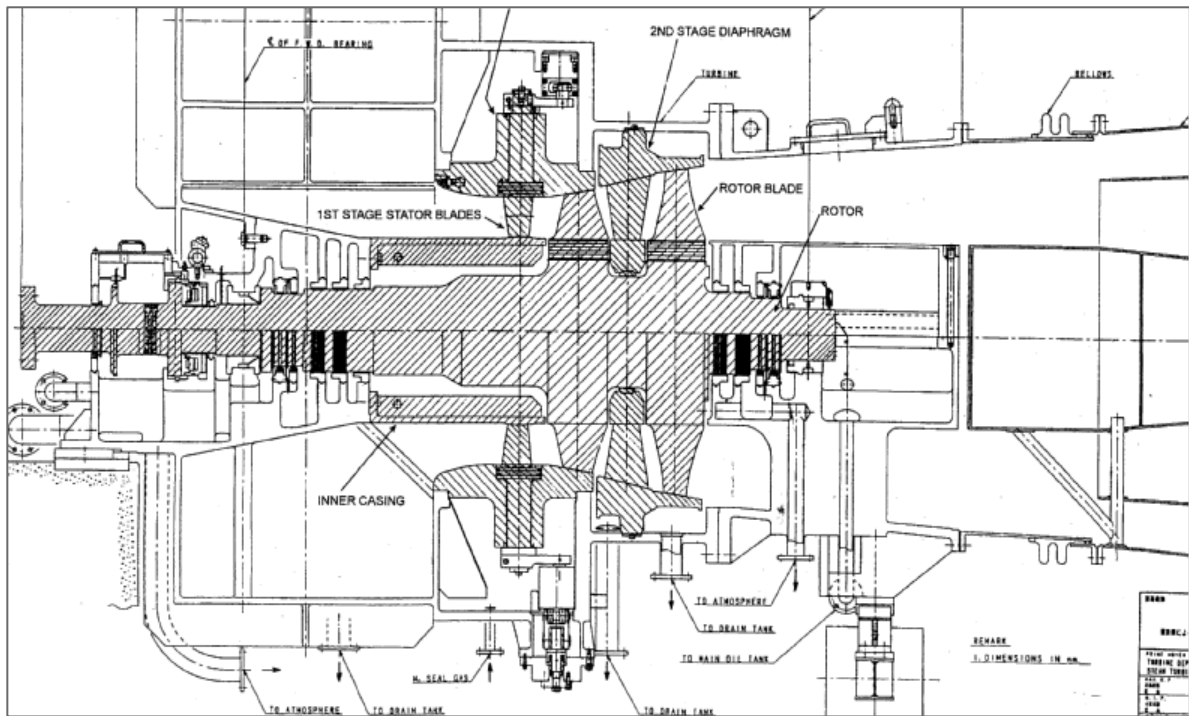


Figura 4 – Vista em corte da TRT.

3 HISTÓRICO DE MANUTENÇÃO DA TRT

3.1 Plano de Inspeção e Manutenção

A Área de Manutenção da Energia possui um plano de manutenção preditiva e preventiva específico para a Turbina de Topo que é executado da seguinte forma:

- Inspeções sensíveis e preditivas específicas realizadas com frequência pré-determinadas;
- A cada 3 meses em conjunto com as paradas programadas do Alto Forno são realizadas pequenas intervenções, inspeções internas e atividades de limpeza;
- A cada 4 anos ocorre uma parada programada por um período de 7 dias para manutenção, inspeção, regulagem e troca de componentes. Esta parada pode ter sua duração e/ou escopo de atividades modificadas em função do resultado das inspeções de rotina.

3.2 Histórico de Grandes Paradas para Manutenção

- **1998:** Manutenção Garantia – Primeira revisão geral de garantia.
- **2002:** Manutenção geral – Identificado desgaste por erosão nas palhetas do rotor e estator blade.
- **2006:** Grande reforma – Substituído o rotor, estator blade e diafragma. Conjuntos novos adquiridos da Kawasaki.
- **2008:** Manutenção geral – Inspeção nos novos conjuntos instalados.
- **2012:** Grande reforma - Substituído o rotor, estator blade e diafragma. Os conjuntos que saíram da parada em 2006 foram reformados através do processo de engenharia reversa.

Na parada geral para manutenção ocorrida em 2002 foi identificado desgaste nas palhetas do rotor e nas palhetas do estator blade causado pelo fluxo de gás ao passar pelas palhetas conforme mostrado na Figura 5.



Figura 5 – Desgastes identificado nas palhetas durante a parada de 2002.

A partir desta identificação foi realizado um trabalho junto ao fabricante Kawasaki sendo adquirido conjunto novo do rotor, estator blade e diafragma com produto de proteção (Sermatech 725) aplicado em sua superfície para melhorar a resistência a erosão e também evitar agregação de material nas palhetas.

Esses conjuntos foram substituídos durante a grande parada para manutenção no ano de 2006.



Figura 6 – Novos conjuntos de rotor e estator blade da turbina de topo instalados na reforma de 2006.

4 A GRANDE PARADA DE 2012

A grande parada da turbina de topo ocorreu de abril a setembro de 2012 em conjunto com a grande reforma do Alto Forno 1 da ArcelorMittal Tubarão.

Era conhecida a necessidade de substituição do conjunto de rotor e estator blade da turbina nesta parada de 2012, pois nesta data os conjuntos montados em 2006 estariam completando 6 anos contínuos de operação. É característica deste tipo de equipamento que a vida útil destes componentes gire em torno de 6 a 8 anos dependendo do grau de sujeira do gás.

Para a substituição destes conjuntos foi realizada consulta junto ao fabricante para reforma dos conjuntos que haviam sido retirados de operação no ano de 2006, porém o fabricante condenou esses conjuntos devido ao alto nível de erosão em suas palhetas. Só restaram duas opções para a troca dos conjuntos, aquisição de novos conjuntos junto ao fabricante ou pesquisar opções para reparo dos conjuntos com desgastes.

Foi pesquisada no mercado empresas especializada neste tipo de reparo, sendo realizado estudo de viabilidade técnica e econômica para dar suporte à decisão a ser tomada, abaixo tabela com resultado do estudo.

Tabela 1 – Resultado estudo de viabilidade para recuperação do rotor e estator blade da turbina

OPÇÃO	CUSTO	RISCO
Aquisição de novos conjuntos junto ao fabricante	US\$ 3.200.000	Zero
Reforma do conjunto com desgaste através do processo de engenharia reversa	US\$ 800.000	Risco inerente ao processo de engenharia reversa (falha projeto/ montagem/ garantia do mesmo desempenho)

Diante do resultado do estudo realizado foi definido pela recuperação através do processo de engenharia reversa do conjunto com desgaste.

4.1 Reforma do Rotor da Turbina

Para a reforma do rotor foi realizada a desmontagem completa do rotor da turbina para estudo detalhado da forma de fixação das palhetas, realização de ensaios específicos para definição das ações de reparos a serem tomadas.

Foram realizados os seguintes ensaios no rotor:

- Limpeza e jateamento, Inspeção dimensional e run-out mecânico, Balanceamento dinâmico, Desmontagem das palhetas, Ensaio não destrutivo por líquido penetrante no eixo e nas palhetas, Ensaio não destrutivo por ultra som no eixo, Ensaio não destrutivo por partícula magnética nas palhetas e Estudo do método de fixação das palhetas.



Figura 7– Desmontagem das palhetas e ensaio de líquido penetrante eixo.

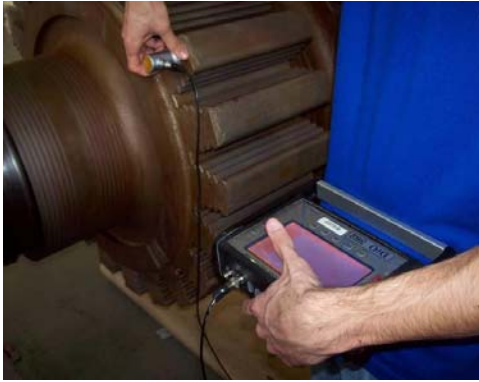


Figura 8– Ultra som no eixo e ensaio de líquido penetrante nas palhetas.

Através da análise dos resultados das inspeções descrita acima foram definidas as seguintes recuperações a serem realizadas:

- recuperação da face frontal da raiz das palhetas do 1º estágio (as palhetas do rotor foram reaproveitadas após recuperação da raiz);
- recomposição do diâmetro do eixo na região entre os estágios e selagem de gás por solda de arco submerso e usinagem (o diâmetro do eixo nesta região estava abaixo do especificado);
- polimento na região dos mancais;
- fabricação das placas de travamento das palhetas (levantamento dimensional das travas por escaniamento e fabricadas novas palhetas);
- montagem e travamento das palhetas com a resina de fixação aprovada nos testes realizados;
- aplicação de coating protetivo Sermatech 725;
- balanceamento dinâmico em alta rotação.

As raízes das palhetas do rotor são do modelo árvore e são encaixadas no rotor que tem o mesmo perfil (macho/fêmea), uma das etapas mais importante na reforma do rotor foi o estudo do projeto de fixação das palhetas, após o processo de desmontagem foi observado que as palhetas são fixadas por uma trava mecânica fixada em sua base e por uma liga de epóxi que preenche as folgas existentes entre as palhetas e o rotor. Foram realizados testes na mesma condição operacional do rotor com várias resinas até a identificação da resina apropriada para a fixação das palhetas.



Figura 9– Testes realizados para definição da resina de trava das palhetas.



Figura 10 – Rotor da turbina recuperado.

Todas as recuperações previstas para o rotor foram realizadas com sucesso.

4.2 Reforma do Estator Blade

Semelhante ao trabalho realizado no rotor, o estator blade foi totalmente desmontado sendo realizados vários testes e ensaios para definição dos reparos a serem executados.

Para o estator blade foram definidos os seguintes reparos:

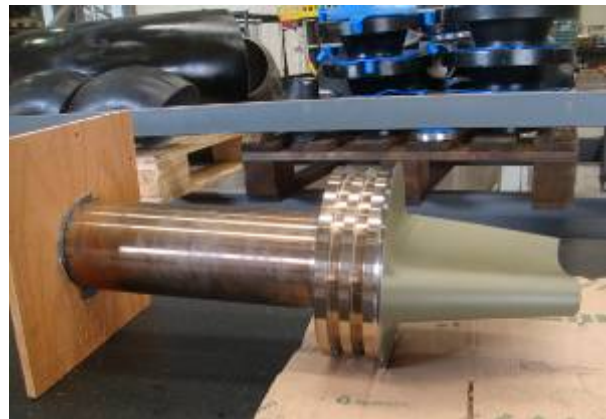
- recuperação dos pontos de desgastes da carcaça através de procedimento de solda;
- usinagem das regiões com desgaste nos diâmetros internos e região dos bicos injetores de água;
- correção e ajuste do plano de juntas;
- repasse de todas as roscas de fixação dos componentes;
- decapagem química e passivação da câmara de aspensão;
- aplicação de Coating protetivo Sermatech 725 nas superfícies expostas das palhetas e carcaça; e
- levantamento dimensional, elaborado desenhos e fabricados pinos guias, buchas, calços axiais das palhetas, discos de escora, anéis e bicos injetores de água.

O estator blade é composto de um conjunto de 16 palhetas e diferentemente do rotor, no estator blade as palhetas apresentaram desgastes severo não sendo possível o seu reaproveitamento. Foi realizada Engenharia reversa para definição de material, tratamento térmico, propriedades mecânicas requeridas e foi realizado o levantamento dimensional e desenho da palheta através de escaneamento 3D para fabricação das palhetas.

As palhetas foram fabricadas a partir dos desenhos e informações desenvolvidas na engenharia reversa, em aço inoxidável 17-4PH sendo fabricadas em Houston EUA.



a



b

Figura 11 – a - Palheta velha com desgaste; b - Palheta nova



a



b

Figura 12 – Carcaça – a - antes recuperação; b - após recuperação.



Figura 13 – Conjunto do estator blade recuperado e montado.

Para a furação, montagem e ajuste das palhetas no ângulo correto de trabalho foi necessário fabricar um dispositivo para posicionamento das palhetas conforme orientação do manual do equipamento.

Todas as recuperações previstas para o estator blade foram realizadas com sucesso.

5 BALANÇO GERAL DA REFORMA

O bom planejamento para realização das atividades e o estudo de viabilidade técnica e econômica foram fundamentais para o sucesso da realização do projeto. A parceria com empresas de alto nível tecnológico foi fundamental para a realização das atividades, com exceção das palhetas do estator blade que foram fabricadas nos USA todas as demais atividades foram realizadas no Brasil.

Durante a reforma da turbina também foram realizadas revisão geral em todo sistema de óleo de controle e óleo de lubrificação, foram substituídas todas as selagens de óleo e gás, revisão em todas as válvulas de controle e bloqueio, reparo geral nas tubulações, revisão em todo sistema elétrico e revisão geral no Gerador.

Conforme mostrado no gráfico da Figura 14 o rendimento da turbina melhorou consideravelmente após a reforma com ganho em torno de 3,5 MW de geração de energia, consolidando o sucesso da realização do projeto de recuperação do rotor e estator blade pelo processo de engenharia reversa.

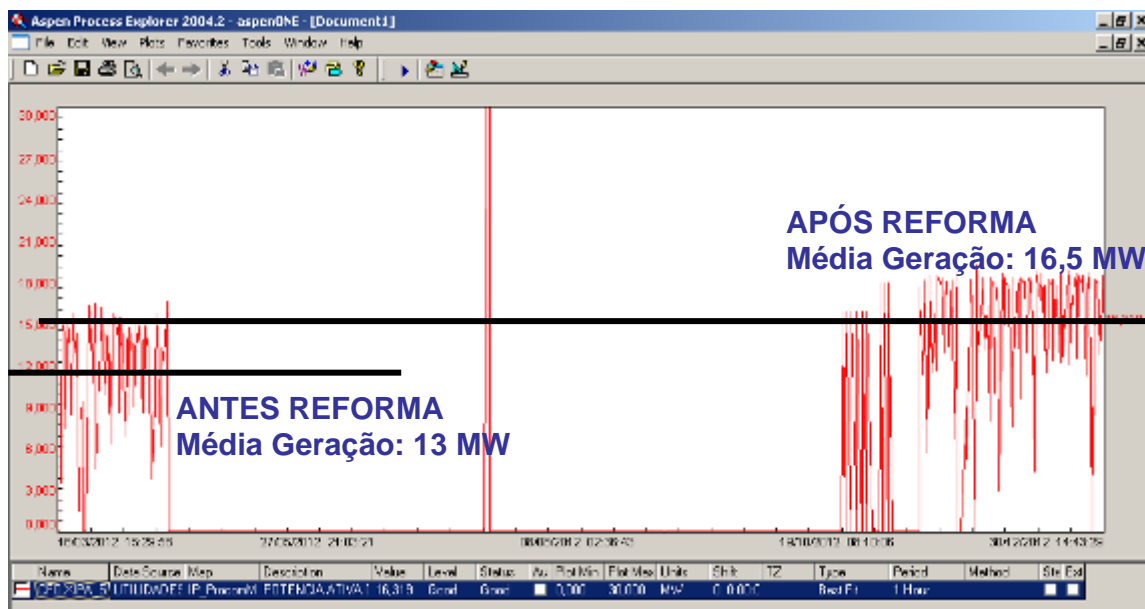


Figura 14 – Geração de energia antes e após reforma.

6 CONCLUSÃO

Todas as principais atividades de reparo do rotor e do estator blade da turbina de topo foram realizadas com sucesso. Durante as etapas de reforma foram identificados pequenos desvios que foram corrigidos sem nenhum prejuízo ao projeto.

Como ponto positivo, vale o destaque o alcance da meta de conclusão das atividades sem nenhuma ocorrência de acidente e vale destacar também no projeto o ganho de US\$ 2.400.000 comparando os custos de reparo com o de aquisição de conjuntos novos.

Com todos os riscos envolvidos em projetos de engenharia reversa pode se destacar o sucesso total desta recuperação nos aspectos técnico, financeiro e operacional uma vez que após o retorno operacional da turbina o equipamento apresentou ganho de rendimento.